

В. І. Перепелиця**ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РУХУ РІЖУЧОГО ОРГАНУ
АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ
ЗАГОТОВОК ЦЕГЛИ**

В представленій роботі зазначено основні проблеми розвитку виробництва цегли, визначено найбільш економічно ефективний метод виготовлення цегли, наведено схему поетапного формування цегли пластичним методом та визначено етап на якому першочергово потрібно проводити модернізацію обладнання для виготовлення цегли. З'ясовані основні експлуатаційні та якісні характеристики будівельної цегли. Обґрунтована актуальність удосконалення технологічного обладнання для формування заготовок цегли. Проаналізовано конструкцію та принцип роботи деяких вітчизняних автоматів для різання глиняного бруса на заготовки цегли, а також визначено їх основні переваги та недоліки. Запропоновано варіант удосконалення ланки формування цегли виробничої лінії шляхом заміни механічної конструкції на автоматизований пристрій, побудований по принципу мехатронної системи. Складено гідравлічну схему автоматизованого пристрою для формування заготовки цегли. Розроблено математичну модель динаміки руху ріжучого органу цього пристрою, яка представлена системою диференціальних рівнянь, що містить рівняння балансу сил та потоків. Проведено імітаційне дослідження динаміки руху основного виконавчого органу автоматизованого пристрою для формування цегли в середовищі MATLAB Simulink, в результаті якого було отримано залежності прискорення, швидкості та координата руху ріжучого органу, а також тиску в насосній станції від часу. Крім того, було визначено залежність переміщення ріжучого органу від часу за зміни маси ріжучого елемента та при зміні сили технологічного навантаження. В процесі дослідження було виявлено час досягнення ріжучим органом глиняного бруса і час його повного переміщення та зафіксована величина тиску в насосній станції. Також було визначено залежності впливу найбільш вагомих факторів на динаміку руху ріжучого органу пристрою для формування заготовок сирової цегли. Такими факторами виявились: приведена маса (в цілому інерційність) рухомих частин ріжучого органу; технологічне навантаження; сила тертя, що виникає в процесі руху ріжучих органів пристрою.

Ключові слова: пристрій для формування цегли, швидкодія привода, математична модель, витрати робочої рідини, тиск, потужність, сила тертя, навантаження при різанні цегли.

Вступ і актуальність теми

Останнім часом в Україні спостерігається збільшення обсягів будівництва, що стабілізувало виробництво будівельних матеріалів, зокрема і керамічної будівельної цегли. На території нашої країни розташовано понад 200 підприємств з виробництва цегли. Найбільші з них знаходяться на території Київської, Сумської, Львівської, Донецької, Житомирської, Івано-Франківської областей. Однак значну частину ринку становлять і малі виробники, на підприємствах яких досі функціонує застаріле обладнання, що не дозволяє отримати продукцію високої якості, яка змогла б конкурувати із зарубіжною. Також, слід зазначити, що виготовлення цегли має високі енергетичні затрати, що у комбінації із використанням застарілого обладнання підвищує її кінцеву вартість та зменшує конкурентоспроможність.

Основними проблемами розвитку виробництва цегли є:

1. Неповна завантаженість технологічних потужностей.
2. Відстала технологія виробництва.

Найпоширеніший і найбільш економічно ефективний метод виготовлення цегли це метод пластичного формування із м'якої глини, яке проходить в декілька етапів (Рис. 1).

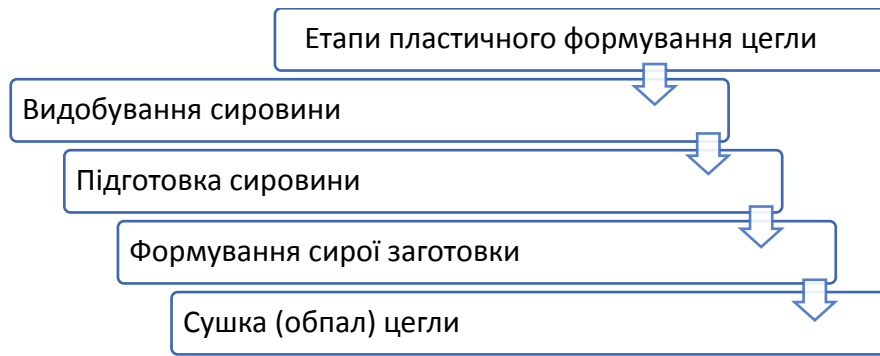


Рис. 1. Етапи пластичного формування цегли

На нашу думку модернізацію виготовлення цегли в першу чергу слід проводити на етапі формування сирої заготовки. На цьому етапі найважливішою характеристикою є правильність розмірів заготовок та швидкість їх виготовлення. Формується вона таким чином: сирий брус з глини, що знаходиться на конвеєрі автоматично ріжеться на заготовки певного розміру. На більшості підприємств із виготовлення цегли сировинна база знаходиться поруч і це мінімізує витрати на доставку. Разом із недорогими трудовими ресурсами до яких не пред'являються високі кваліфікаційні вимоги, такі підприємства можуть розраховувати на суттєвий економічний ефект при забезпеченні якості продукції, яка є конкурентною на ринку України.

Формування із суцільного глиняного бруса одиничної заготовки цегли, що здійснюється за допомогою конструкції механічного пристрою негативно впливає на її геометричні розміри. Вважається, що саме міцність і правильна геометрична форма є основними експлуатаційними та якісними характеристиками будівельної цегли. Завдання удосконалення технологічного обладнання для формування заготовок цегли, на сьогоднішній день для підприємств України є актуальним.

Аналоги технологічного обладнання для формування цегли

На вітчизняному ринку аналогами досліджуваного обладнання є такі пристрої як: багатострунний різальний автомат МРА-14/3 Сумської фірми «Техно-Біо-Енерго-Сервіс» та універсальний різальний автомат PL 505 побудований на ПАТ «Харківський машинобудівний завод «Плінфа».

Багатострунний різальний автомат МРА-14/3 призначений для різання мірного бруса при виробництві цегли. Він складається з рами, приводів, вхідного стрічкового столу, нижнього штовхача, валів накочення, підйомного столу, струнотримачів з натягнутими струнами, верхнього штовхача, механізму струноочистки, і вихідного столу, конвеєра відбору браку. Перевагами МРА-14/3 є висока продуктивність роботи, формування чотирнадцяти заготовок цегли за різання, невеликий цикл різання одного бруса 8 – 12 с. До недоліків можна віднести його великі габаритні розміри, велику масу, фіксовану кількість сформованих виробів за різання, наявність додаткового (підйомного) столу в конструкції різального автомата та необхідність додатково обрізати глиняний брус потрібного розміру на попередній операції.

Автомат різальний PL505 призначений для безперервного різання бруса на вироби заданої довжини і передачі їх на подальше обладнання. Різання здійснюється тільки зверху вниз. Після кожного різання проводиться чистка струн. Завдяки оригінальній і продуманій конструкції автомат PL505 має наступні особливості: розрізна каретка з надійною системою роликів напрямних; тримачі розрізних струн з системою роликів напрямних і розрізними струнами розташованими діагонально; датчики обриву струни; різання здійснюється за допомогою кривошипно-шатунного механізму і сервоприводу, розташованого у верхній частині різального автомата. Перевагами PL505 є його універсальність, що дозволяє формувати від 1 до 6 виробів за різання, а також можливість

виготовлення не лише цегли стандартних розмірів, але й вузько-форматної цегли та плитки. Автомат має малий час циклу різання – 4 с. Недоліками цього обладнання є надзвичайно великі габаритні розміри та висока встановлена потужність 7,8 кВт.

Вихідні передумови

Нижче пропонується варіант удосконалення багатострунного різального автомату для формування цегли виробничої лінії шляхом заміни механічної конструкції на автоматизований пристрій, побудований за принципом мехатронної системи, функціональна схема якого представлена на рис. 2.

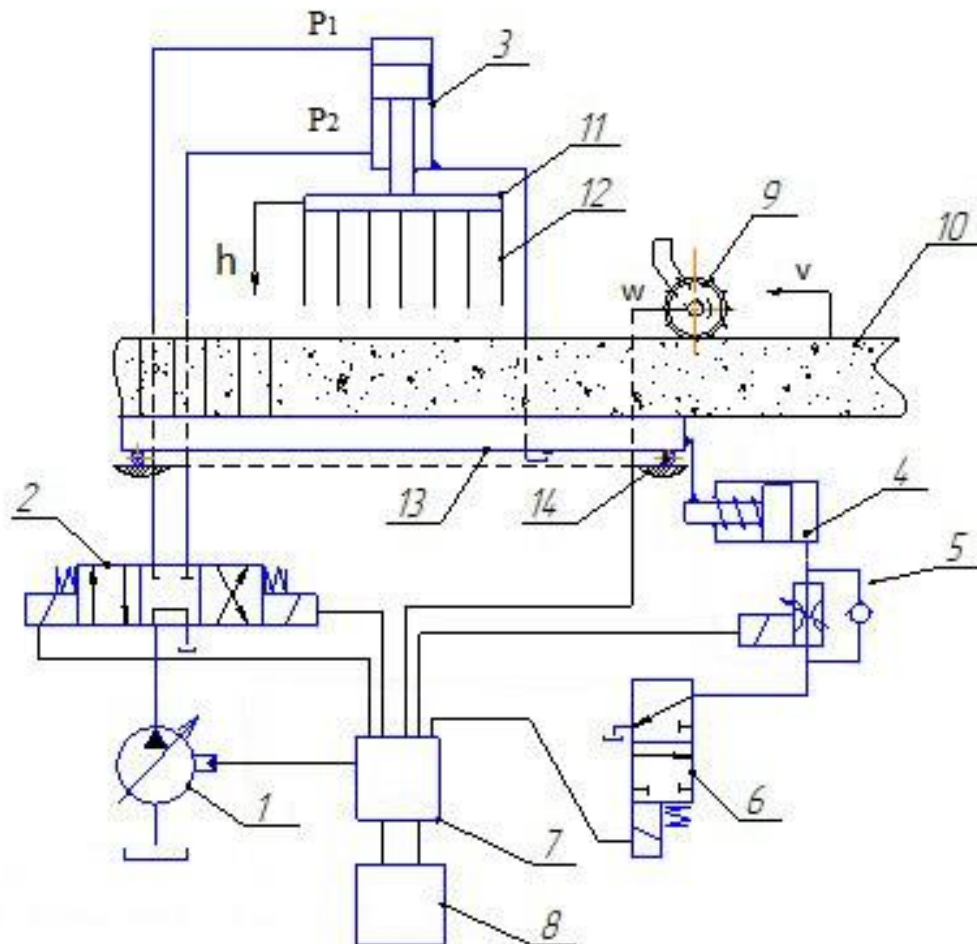


Рис. 2. Гідравлічна схема автоматизованого пристрою для формування заготовки цегли

Пристрій складається з таких елементів: 1 – насос змінної продуктивності з дистанційним керуванням; 2 – основний 3-х позиційний 4-х лінійний розподільник з електромагнітним керуванням; 3 – гідроциліндр основного робочого руху; 4 – гідроциліндр допоміжний; 5 – регулятор потоку з пропорційним керуванням та зворотнім клапаном; 6 – 2-х позиційний 3-х лінійний розподільник з електромагнітним керуванням; 7 – контролер; 8 – автономний блок живлення; 9 – датчик руху; 10 – глиняний брус; 11 – траверса; 12 – різальні елементи; 13 – рухома основа; 14 – опори кочення

Автоматизований пристрій для формування заготовок цегли працює наступним чином. По мірі руху глиняного бруса 10 датчик 9 відраховує розмір n-ої кількості заготовок цегли (в залежності від кількості ріжучих органів 12) і подає електричний сигнал на блок керування 7, формує сигнали на розподільники 2 та 6. Робоча рідина від насоса 1 направляється через розподільники 2 та 6 на виконавчі гідроциліндри 3 та 4. Гідроциліндр 3 приводить в рух траверсу 11 з ріжучими елементами 12 для формування заготовок цегли. Гідроциліндр 4

одночасно з цим забезпечує синхронізацію руху основи 13, яка розташована на опорах кочення 14, з рухом глиняного бруса 10. Така схема руху забезпечує відсутність відносного руху між виконавчими органами різання та глиняним брусом, що гарантує правильну геометрію зразків цегли під час його розрізання [1].

Основна частина дослідження

Як згадувалось вище, на етапі формування сирій заготовки цегли, найважливішими характеристиками є правильність геометричних розмірів заготовок та швидкість їх виготовлення. Тому основними завданнями дослідження є визначення тривалості перехідного процесу та робочого ходу автоматизованого пристрою для формування заготовок цегли.

Динаміка руху ріжучого органу пристрою розглядається при уставленому режимі роботи насоса змінної продуктивності і представляє собою систему диференціальних рівнянь (1), яка містить рівняння балансу сил та потоків [2, 3, 4].

$$m_{np} \frac{d^2 h}{dt^2} + b \frac{dh}{dt} + F_{mp}(v,p,p1,\tau) + F_{mex} = p1 \cdot S1 - p2 \cdot S2 ;$$

$$Q_H = S1 \cdot \frac{dh}{dt} + \mu \cdot f_{кл} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} + k \cdot W_n \frac{dp_1}{dt} + k_{2.mp} \cdot W_{2.mp} \frac{dp_1}{dt}; \quad (1)$$

де m_{np} , h – відповідно, приведена маса та координата руху ріжучого органу; b – коефіцієнт в'язкого тертя; $F_{mp}(v,p,p1,\tau)$ – сила тертя; F_{mex} – технологічне навантаження; p_1 – тиск насосної станції; p_2 – тиск зливу; S_1 , S_2 – відповідно, площа поршневої та штокової порожнин гідроциліндра; Q_H – подача насосної станції; $Q_{кл}$ – витрата через запобіжно-переливний клапан; k – коефіцієнт податливості робочої рідини; W_n – об'єм напірної магістралі; $k_{2.mp}$, $W_{2.mp}$ – відповідно, коефіцієнт податливості та об'єм гнучкого рукава; μ – коефіцієнт витрати; $f_{кл}$ – площа робочого вікна клапана; ρ – густина робочої рідини.

Дослідження цієї моделі виконувалось в середовищі MATLAB Simulink. Імітаційне моделювання виконано для приводу ріжучого органу. Імітаційна модель системи диференціальних рівнянь (1) показана на рис. 3.

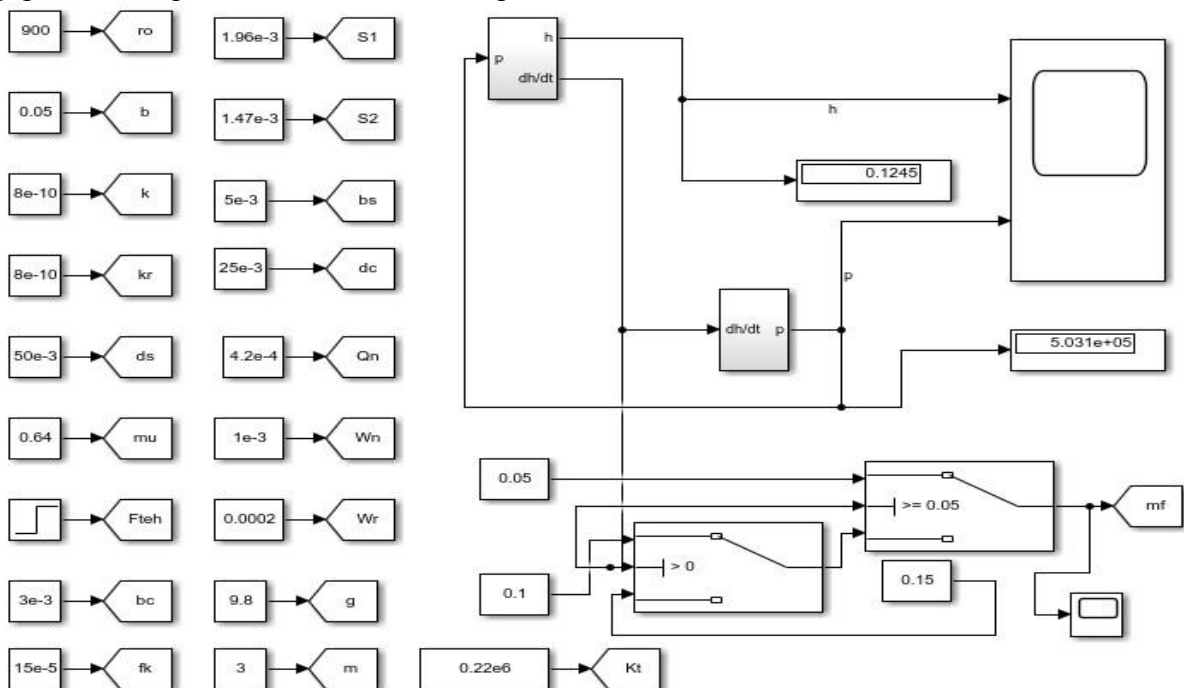


Рис. 3. Загальний вигляд системи в середовищі MATLAB Simulink

Сила тертя F_{mp} , що входить до складу рівняння балансу сил є одним із найважливіших негативних факторів, що безпосередньо впливає на швидкість руху ріжучого органу технологічного обладнання. Математична інтерпретація цієї величини представлялась «падаючою» характеристикою [5, 6] в залежності від часу нерухомості виконавчого органу. Для цієї моделі силу тертя приймаємо за сталу величину.

Сила технологічного навантаження F_{mex} , що виникає під час розрізання сирого глиняного бруса, визначалась за допомогою формули Ньютона, як опір руху ріжучих струн у середовищі сирій глини густиною $\rho_{гд}$ зі швидкістю v .

$$F_{mex} = C_x \cdot \rho_{гд} \cdot S_x \cdot v^2,$$

де S_x – площа проекції тіла ріжучих органів, перпендикулярна до напрямку руху; $\rho_{гд}$ – густина сирій глини; v – швидкість руху ріжучих органів; C_x – коефіцієнт опору тіла в середовищі, який є функцією числа Рейнольдса і залежить від форми тіла.

В складі рівняння балансу потоків складова $k_{z.mp} \cdot W_{z.mp} \cdot \frac{dp_1}{dt}$ представляє об'єм робочої рідини, що витрачається на заповнення об'єму при деформації гнучкого рукава. Пружні властивості гнучкого рукава представлялись реологічною моделлю з урахуванням статичного $E_{ст.z.mp}$ та динамічного $E_{д.z.mp}$ модулів пружності [7, 8, 9].

Задавшись тим, що максимально допустимий час на робочий рух ріжучого органу за відомої довжини руху штока гідроциліндра не повинен перевищувати одну секунду, а швидкість різання, відповідно, повинна перевищувати 0,25 м/с і вирішивши систему диференціальних рівнянь відносно швидкості ріжучого органу було отримано залежності величин, що описують рух виконавчого органу пристрою для формування сирих заготовок цегли, до яких належать: прискорення – a (рис. 4), швидкість – v (рис. 5) та координата руху ріжучого органу – h (рис. 6), а також тиск на виході насоса – p (рис. 7).

Початкові значення змінних: $a_0=0$ м/с², $v_0=0$ м/с, $h_0=0$ м, $p_1(0)=0$ Па.

Показані залежності отримані за наступних величин: $m_{np}=3$ кг, $b=0,05$ Н·с/м; $F_{mp}=50$ Н; $p_1=20$ МПа; $p_2=0,5$ МПа; $S_1=0,00196$ м²; $S_2=0,00147$ м²; $Q_H=0,00042$ м³/с; $k=6 \cdot 10^{-10}$ м²/Н; $W_H=0,001$ м³; $\mu=0,64$ м/с; $f_{кл}=15 \cdot 10^{-5}$ м²; $\rho=900$ кг/м³; $k_{z.mp}=8 \cdot 10^{-10}$ м²/Н; $W_{z.mp}=2 \cdot 10^{-4}$ м³; $v=0.3$ м/с; $C_x=9$ м/с; $\rho_{гд}=1750$ кг/м³; $S_x=10,5 \cdot 10^{-3}$ м².

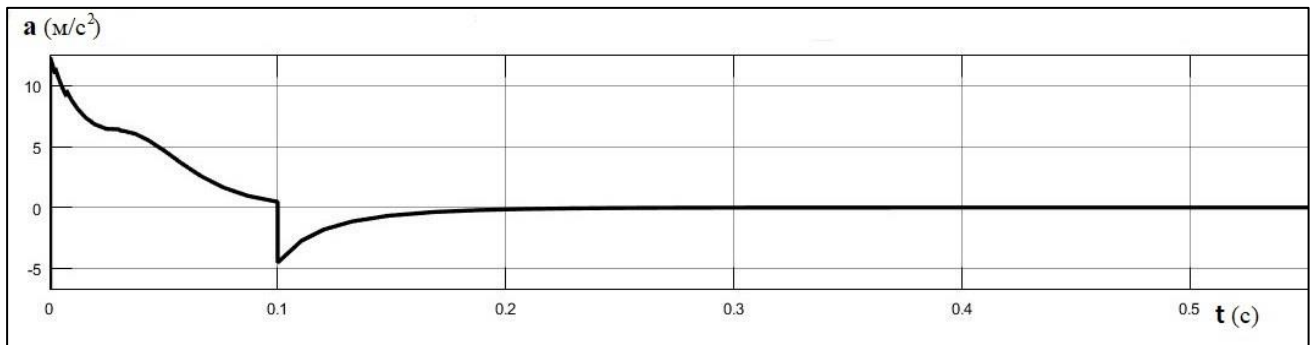


Рис. 4. Залежність прискорення ріжучого органу від часу

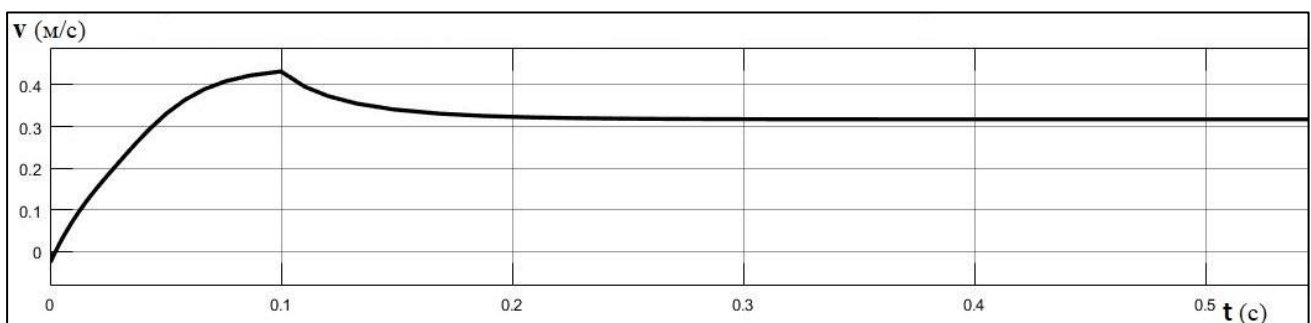


Рис. 5. Залежність швидкості ріжучого органу від часу

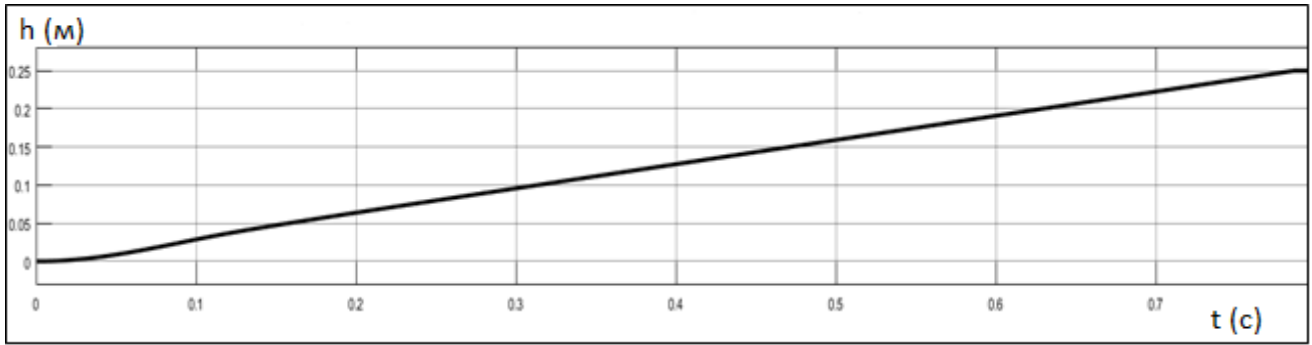


Рис. 6. Залежність координати руху ріжучого органа від часу

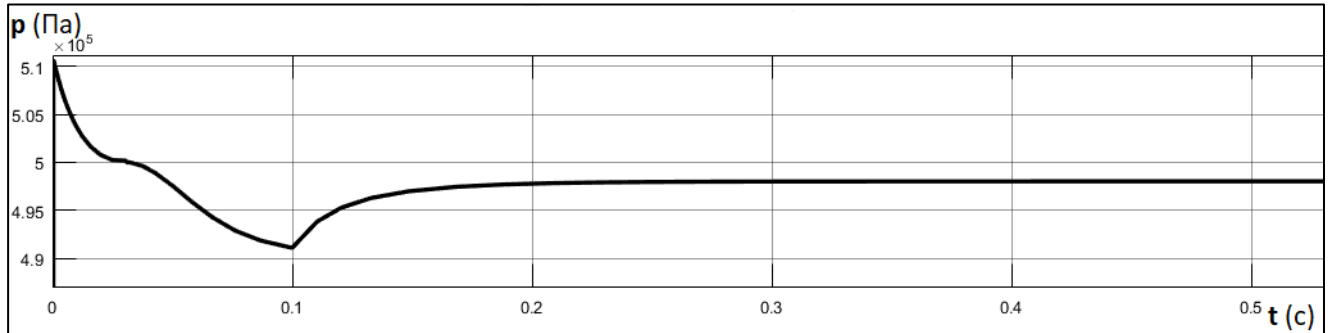


Рис. 7. Залежність тиску в насосній станції

Залежність переміщення ріжучого органу від часу за зміни маси ріжучого елемента та за зміни сили технологічного навантаження на нього показані на рис. 8.

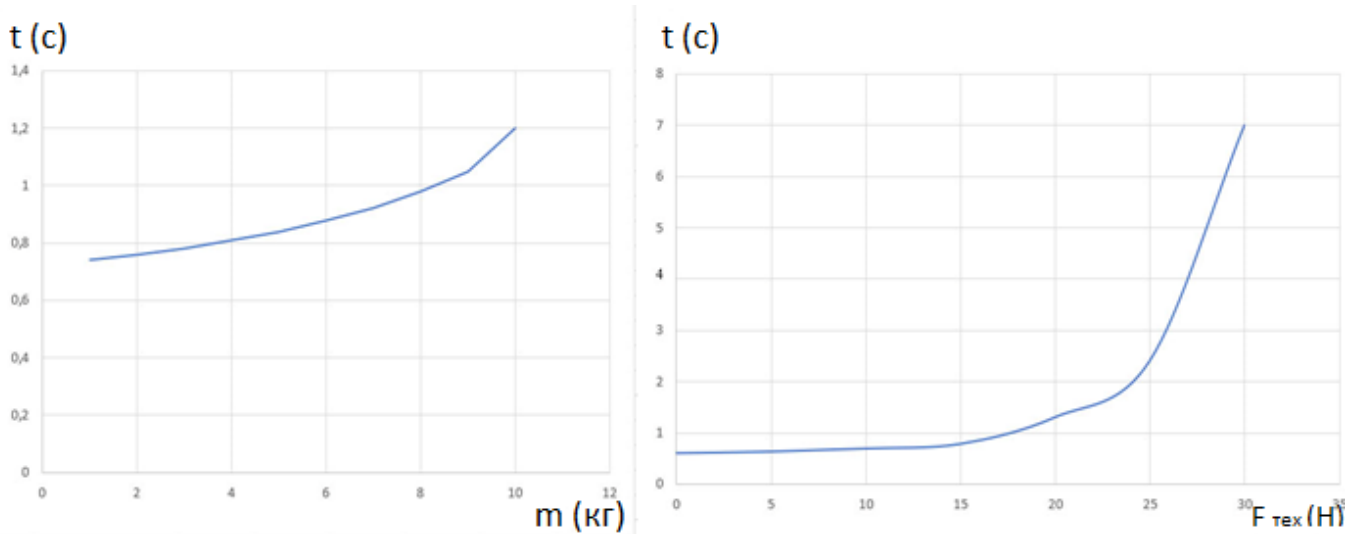


Рис. 8. Залежність часу переміщення ріжучого органу за зміни маси ріжучого елемента та сили технологічного навантаження

Висновок

В процесі дослідження виявлено, що перехідні процеси в системі відбуваються за час 0,1 с. ще до початку різання. Повністю переміщення ріжучого органу виконується за 0,78 с., що входить в межі поставленого часу. Величина тиску в насосній станції при цьому становить $5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$. Визначено залежності впливу найбільш вагомих факторів на динаміку руху ріжучого органу пристрою для формування заготовок сирової цегли. Такими факторами виявились – приведена маса $m_{пр}$ (в цілому інерційність) рухомих частин ріжучого органу; технологічне навантаження $F_{тех}$; сила тертя $F_{тр}$, що виникає в процесі руху ріжучих органів пристрою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пурдик В. П. Адаптивний гідропривод обладнання для формування заготовок цегли / В. П. Пурдик, В. Г. Сапожник // Матеріали ХХІІ міжнарод. наук. техн. конф. «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці», Черкаси-Київ, 23 – 26 травня 2017 р. – С. 123 – 124.
2. Kozlov L. Digital PD controller for dynamic correction of the differential component coefficient for mechatronic hydraulic system / L. Kozlov // Tehnomus journal: Proceedings of the XVIIth International Conference «New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies». – Suceava, Romania. – 2013. – С. 120 – 125.
3. Козлов Л. Г. Про можливість покращення динамічних характеристик мехатронного привода мобільної машини / Л. Г. Козлов // «Гідро- та пневмоприводи машин – сучасні досягнення та застосування». ІІ Міжнародна науково-технічна конференція 15 – 16 листопада 2016 р. : збірник тез доповідей. – Вінниця : Т. П. Барановська, 2016. – С. 122 – 116.
4. Попов Д. Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем / Д. Н. Попов. – М. : Машиностроение, 1976. – 424 с.
5. Баденков П. Ф. Резина – конструкционный материал современного машиностроения / П. Ф. Баденков, В. Ф. Евстратов, М. М. Резниковский. – М. : Химия, 1967. – 326 с.
6. Бусаров Ю. П. Математическая модель гистерезиса внешнего трения / Ю. П. Бусаров, М. С. Островский // Машиностроение. – 1976.– № 5. – С. 51 – 82.
7. Experimental study on dynamic pipe fracture in consideration of hydropower plant model / K. Ishikawa, Y. Kono, A. Haga [et al.] // Annual Journal Water Science and Engineering. – 2009. – № 2 (4). – P. 60 – 68.
8. Модуль объемной упругости резиновых шлангов с металлическими оплетками / В. Н. Прокофьев, И. А. Лузанова, В. Г. Выборнов [и др.] // Механика машин. – 1975. – № 49. – С. 47 – 55.
9. Пурдик В. П. Експериментальне дослідження динамічних характеристик гнучких рукавів високого тиску / В. П. Пурдик, М. Ю. Поздняков // XIV Міжнародна науково-технічна конференція АС ПГП. Промислова гідравліка і пневматика, м. Одеса 18 – 19 вересня, – 2013. – С. 130.
10. Башта Т. М. Гидропневмопривод и гидропневмоматика / Т. М. Башта. – К. : Машиностроение, 1972. – 320 с.
11. Черных И. В. Simulink: среда создания инженерных приложений / И. В. Черных. – М. : Диалог, 2003. – 236 с.

Стаття надійшла до редакції 20.12.2020.

Стаття пройшла рецензування 24.12.2020.

Перепелиця В'ячеслав Ігорович – аспірант кафедри «Технологій та автоматизації машинобудування», e-mail: pvi_92@ukr.net.

Вінницький національний технічний університет.