

ПОБУДОВА ТА МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ЗАГОТОВКИ

У роботі розглянута можливість автоматизації одного з ключових елементів технологічного процесу виготовлення листових товстостінних деталей із рифтами методом штамповки, а саме транспортування й позиціонування заготовки. Автоматизація процесу виготовлення товстолстових деталей, у тому числі й одержуваних за допомогою процесів вільного формоутворення, з конструкційних і спеціальних сталей є актуальним завданням сучасного машинобудування. Склад і послідовність основних операцій узагальненого технологічного процесу автоматизованого виготовлення таких деталей є відомими, можуть мати декілька класичних рішень, але очевидно, що ключовим моментом є етап виготовлення деталі із заготовки, оскільки можливість його автоматизації та керування ним у реальному часі є вирішальною ланкою системи автоматизації всього процесу загалом. Таке бачення щодо вирішення зазначеного питання та його подальше дослідження й моделювання в умовах наявного обладнання реальних вітчизняних виробництв, що залишилися тепер у робочому стані, дало можливість побудови запропонованої структури автоматизованої системи позиціонування заготовки.

Запропонована структура системи автоматизованого переміщення й позиціонування заготовки та виготовленої деталі на всіх етапах технологічного процесу її виготовлення, який базується на застосуванні рольгангу без приводу. Розроблена функціональна схема й алгоритм роботи авторизованої системи транспортування та позиціонування заготовки, проведено її моделювання в середовищі Labview. Результати моделювання виявили можливість реалізації процесу за допомогою гравітаційного рольгангу без приводу з рушієм, який здійснює переміщення заготовки. Створений віртуальний прилад для моделювання процесу переміщення об'єкту вздовж робочого поля з контролюванням його положення за допомогою дискретних датчиків, довів можливість підібрати раціональні величини заданих швидкостей на різних ділянках для усунення небажаних перехідних процесів і мінімізації часу доставки об'єкта до заданої ділянки робочого поля.

Ключові слова: системи автоматичного керування технологічним процесом, моделювання, вільне формоутворення, листове штампування.

CONSTRUCTION AND SIMULATION OF THE AUTOMATED BILLET POSITIONING SYSTEM

This work considers the possibility of automating one of the key elements of the technological process of manufacturing thick-walled sheet parts with rifts by the stamping method, namely, transportation and positioning of the workpiece. Automation of the manufacturing process of thick-sheet parts, including those obtained by means of free forming processes, from structural and special steels, is an urgent task of modern mechanical engineering. The composition and sequence of the main operations of the generalized technological process of automated manufacturing of such parts is known and may have several classic solutions, but it is obvious that the key point is the stage of manufacturing the part from the blank, since the possibility of its automation and its control in real time is a crucial link of the automation system of everything process as a whole. Such a vision regarding the solution of the mentioned question and its further research and modeling in the conditions of the existing equipment of real domestic productions, which remained for the time being in working condition, made it possible to build the proposed structure of the automated workpiece positioning system.

The proposed structure of the system of automated movement and positioning of the workpiece and the manufactured part at all stages of the technological process of its manufacture, which is based on the use of a roller conveyor without a drive. The functional scheme and algorithm of work of the authorized system of transportation and positioning of the workpiece were developed, and its simulation was carried out in the Labview environment. The simulation results showed the possibility of implementing the process using a gravity roller conveyor without a driver that moves the workpiece. The created virtual device for simulating the process of moving an object along the working field with monitoring its position with the help of discrete sensors proved the possibility of choosing rational values of specified speeds in different sections to eliminate unwanted transient processes and minimize the time of delivery of the object to a given section of the working place.

Key words: systems of automatic control of the technological process, modeling, free forming, sheet stamping.

Постановка проблеми

Сучасне машинобудування характеризується безперервним ускладненням виробів, зростанням вимог щодо їх надійності, якості й техніко-економічних показників. У номенклатурі листових деталей, які виготовляються вагобудівними та автомобільними підприємствами, у зв'язку з виробництвом броньованої техніки виникла значна потреба в товстолістових деталях, виготовлених із конструкційних і спеціальних сталей. Значна частина таких деталей має елементи жорсткості. Запровадження виробництва цих деталей стикнулося з низкою складнощів, пов'язаних із нестійкістю процесу формоутворення, недостатністю в наявного обладнання зусилля штамповки, утворення гофру й порушення суцільності матеріалу заготовки під час деформації.

Засвоєння виробництва нової номенклатури деталей потребує в найкоротші терміни створення науково обґрунтованих рекомендацій щодо проектування технологічних процесів, штамів, оснастки й інструментів. Одним із ефективних шляхів вирішення означених завдань є автоматизація як окремих складників технологічного процесу, так і всього процесу загалом. Тому питання автоматизації технологічного процесу виготовлення товстостінних деталей із рифтами методом штампування є актуальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У роботах [1; 2] представлено в першому наближенні склад і послідовність основних операцій узагальненого технологічного процесу автоматизованого виготовлення таких деталей. Значне місце в цьому процесі належить операціям транспортування й позиціонування заготовок. Причому за результатами розгляду технологічних і механічних особливостей виготовлення таких деталей, представлених у працях [3; 4], усі означені операції виконувалися вручну. Очевидно, що впровадження автоматичної системи, яка б дала змогу здійснювати синхронізоване переміщення та позиціонування заготовок і виготовлених деталей на всіх етапах процесу (включаючи вхідний і вихідний контроль параметрів заготовки й виготовленої деталі), суттєво поліпшило б швидкість і якість функціонування виробництва.

Мета дослідження

Метою роботи є розгляд структури системи автоматизованого переміщення та позиціонування заготовки й виготовленої деталі на всіх етапах технологічного процесу її виготовлення, який базується на застосуванні рольгангу без приводу.

Для досягнення мети пропонується вирішити наступні завдання:

- розробити функціональну схему системи переміщення та позиціонування заготовки (деталі);
- розробити алгоритм і технологічну послідовність дій під час реалізації процесу переміщення та позиціонування заготовки на рольганговій системі без приводу.

Виклад основного матеріалу дослідження

Процес транспортування заготовок (деталей) за допомогою рольгангу є добре відомим і не потребує додаткових коментарів. У цьому разі йдеться про застосування гравітаційного рольгангу (без приводу), рух заготовки вздовж якого із заданою швидкістю (прискоренням) забезпечується зовнішнім рушієм. Позиціонування заготовки здійснюється за допомогою напрямних, установлених перед входом у робочу зону й оптично-електронних датчиків контролю розміщення заготовки в робочій зоні.

На рис. 1 представлена функціональна схема пропонованої системи переміщення та позиціонування заготовки на ділянці формоутворення деталі (на матриці штампу 3).

Алгоритм роботи системи, побудованої за синтезованою функціональною схемою, подано на рис. 2.

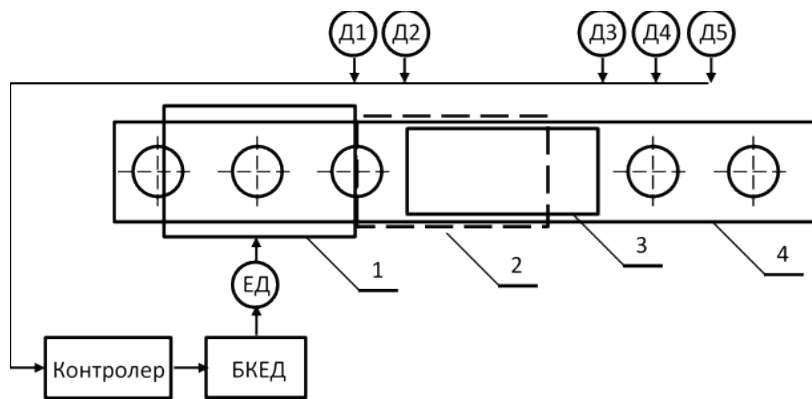


Рис. 1. Функціональна схема: 1 – рушій; 2 – заготовка; 3 – матриця; 4 – рольганг; Д1, Д2, Д3, Д4 – оптично-електронні датчики положення; Д5 – датчик тиску системи «виштовхування» деталі з матриці; ЕД – електричний двигун рушій; БКЕД – блок керування ЕД

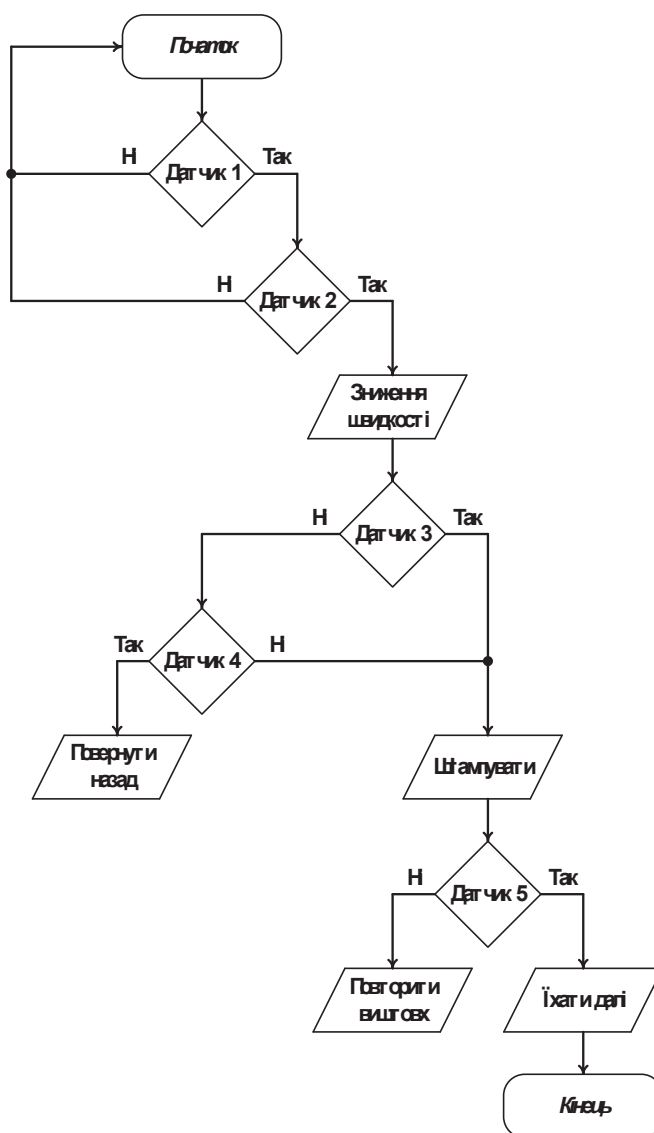


Рис. 2. Алгоритм роботи системи переміщення та позиціонування заготовки (деталі)

Датчик Д1 сигналізує про наявність заготовки в початковій позиції руху. Коли спрацює датчик Д2, блок керування електричним двигуном рушій 1 (БКЕД) (рис. 1) починає

зменшувати швидкість переміщення заготовки 2 у зону формоутворення (до матриці 3). Закон означеної зміни визначається контролером, виходячи з умов забезпечення оптимального позиціонування заготовки в робочій зоні. Після спрацьовування датчика Д3 подається команда на запуск штампу (тобто на переміщення пуансону і здійснення процесу формоутворення деталі). Датчик Д4 є необхідним для забезпечення можливості повернення заготовки до робочої зони в разі її проходження далі, ніж це передбачається технологічним циклом. Датчик Д5 формує сигнал про виштовхування готової деталі з матриці після завершення процесу формоутворення, що забезпечує можливість її подальшого переміщення рольгангом за допомогою рушія.

На рис. 3 показано технологічний цикл виготовлення деталі у вигляді швидкості переміщення заготовки рольгангом від часу. Фактично, рис. 3 віддзеркалює тахограму роботи електродвигуна ЕД (рис. 1). Для простоти ілюстрації процесу прийнято, що швидкість за сигналом датчика Д2 зменшуватиметься стрибком у два рази.

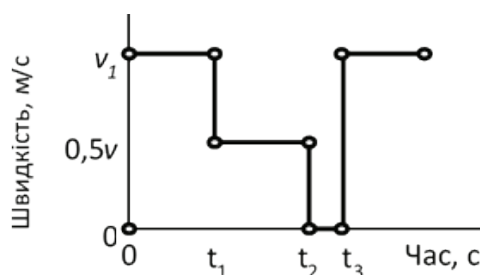


Рис. 3. Тахограма роботи електроприводу переміщення заготовки по рольгангу

Згідно з тахограмою (рис. 3), у проміжок часу з 0 t_1 заготовка переміщується зі швидкістю v_1 . У момент часу t_1 спрацьовує датчик Д2 і швидкість стрибком змінюється до $0,5v_1$, забезпечуючи можливість точнішого позиціонування заготовки в робочій зоні (матриці). Для цього електропривод рушія, який відповідає за переміщення заготовок уздовж рольгангу й виконується на основі асинхронного електричного двигуна ЕД, повинен працювати під керуванням векторного перетворювача частоти [5].

Проведемо спрощене моделювання об'єкта керування (рис. 4). Якщо на об'єкт масою m діє зовнішня сила F , то маємо прискорення $a_m = F / m$. На початку руху об'єкт набирає швидкість ($v < v_z$ – менше заданої величини), сила збігається з напрямом руху об'єкта й величина прискорення буде додатною ($a = +a_m$). Коли об'єкт набере задану швидкість ($v = v_z = const$), то, нехтуючи тертям ковзання, матимемо $a=0$, тобто об'єкт рухається за інерцією з постійною швидкістю [5]. Оскільки під час моделювання час змінюється з деяким кроком dt , то крок зміни швидкості становитиме $dv = a \cdot dt$ і критерієм набору швидкості буде виконання такої умови:

$$-a_T \cdot dt / 2 \leq (v - v_z) \leq a_T \cdot dt / 2.$$

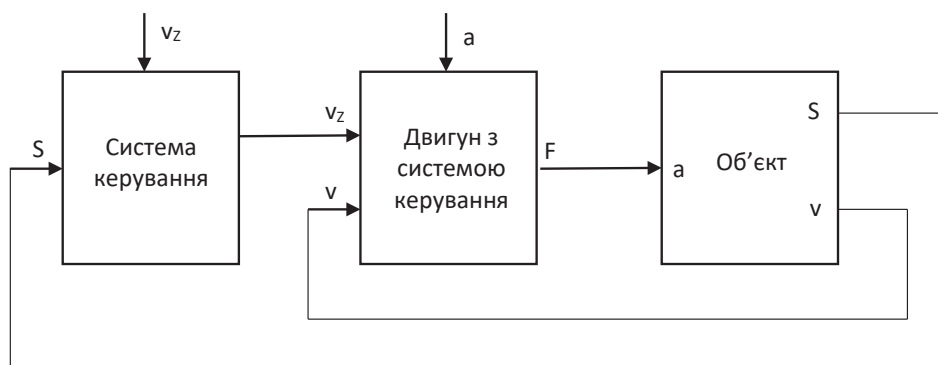


Рис. 4. Структурна схема віртуального приладу

Коли об'єкт перевищить задану швидкість ($v > v_z$), то зовнішня сила F буде виконувати гальмівну дію й величина прискорення буде від'ємною ($a = -a_m$).

Тобто формула закону зміни прискорення матиме такий вигляд:

$$a = \begin{cases} a_T, & \text{якщо } (v - v_z) < 0; \\ 0, & \text{якщо } -a_T \cdot dt / 2 \leq (v - v_z) \leq a_T \cdot dt / 2; \\ -a_T, & \text{якщо } (v - v_z) > 0. \end{cases}$$

Реалізацію цих умов залежності величини прискорення об'єкта від значення поточної швидкості в середовищі Labview виконаємо за допомогою двох вкладених структур Case Structure (рис. 5).

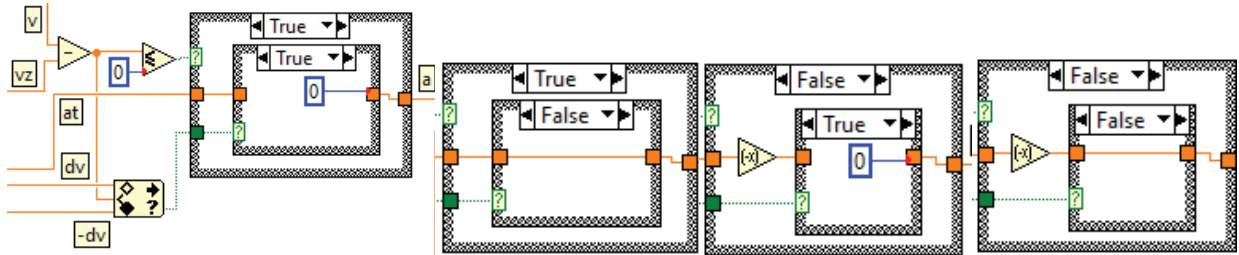


Рис. 5. Завдання величини прискорення

Величину переміщення та швидкості будемо розраховувати за відомими формулами кінематики:

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}, \quad v = v_0 + at,$$

де $t = dt$, s_0 та v_0 – попередні значення ітерацій шляху та швидкості умовного циклу. Розрахунок за формулами реалізовано за допомогою структури Formula node (рис. 6).

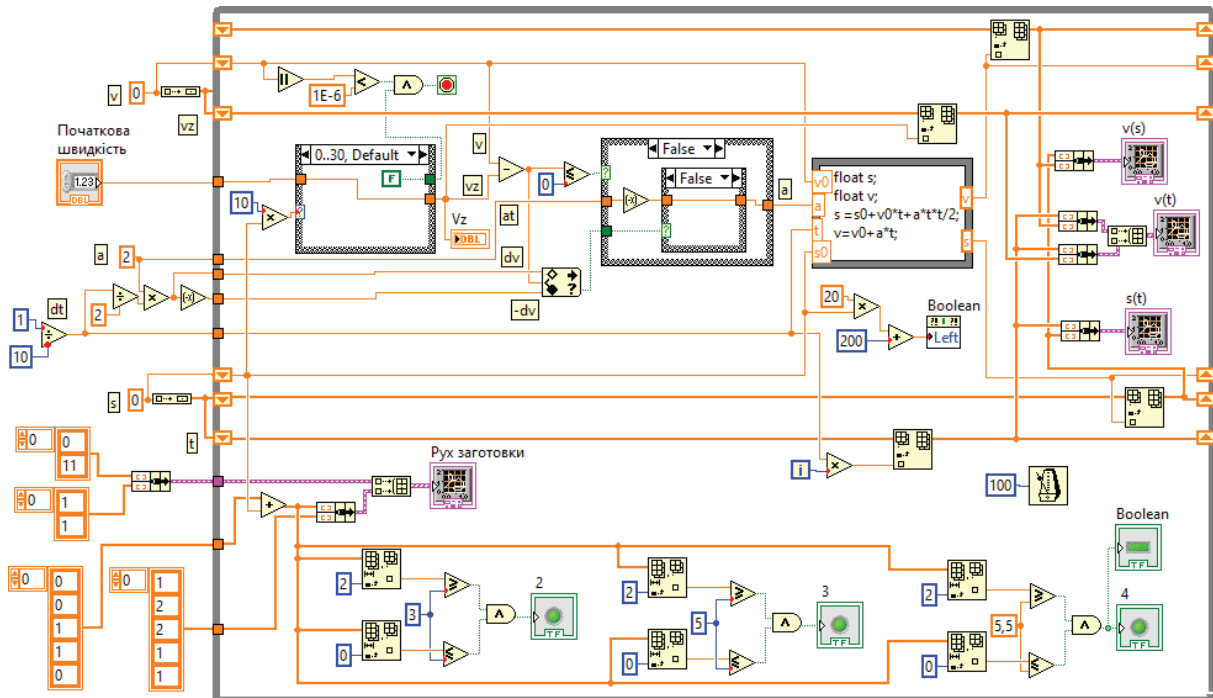


Рис. 6. Блок-діаграма віртуального пристрою

Величина заданої швидкості v_z залежить від пройденого шляху, що контролюється чотирма датчиками, які знаходяться в контрольних точках. Визначена послідовність спрацювання

датчиків за заданим алгоритмом, що знаходиться в пристрої керування, змінює значення заданої швидкості [6]. Маємо такі етапи:

- у разі спрацювання першого датчика об’єкт починає рух, поступово набирає швидкість до величини v_{z1} з прискоренням a . Обмеженням є спрацювання другого датчика, який знаходиться на відстані s_1 ;
- у разі спрацювання другого датчика об’єкт зменшує швидкість, рухаючись за інерцією, до величини v_{z2} ;
- у місці зупину розташований датчик 3 на відстані s_2 ;
- датчик 4 розміщується за датчиком 3 на відстані s_3 і сигналізує про просування об’єкта далі запланованого місця. При цьому задана швидкість змінює напрям до величини $(-v_{z3})$.

Залежність заданої швидкості від відстані буде мати вигляд:

$$v_z = \begin{cases} v_{z1}, & \text{якщо } 0 \leq s < s_1; \\ v_{z2}, & \text{якщо } s_1 < s \leq s_2; \\ 0, & \text{якщо } s_2 < s \leq s_3; \\ -v_{z3}, & \text{якщо } s_3 < s. \end{cases}$$

Реалізацію цих умов залежності заданої швидкості від відстані в середовищі Labview виконаємо за допомогою структури Case Structure, у якій створено чотири вікна з указаними числовими діапазонами (рис. 7). Межі діапазонів визначають місця розташування датчиків на шляху об’єкта [7]. Уважається, що об’єкт буде встановленим на задане місце, якщо спрацював датчик 3 за неактивного датчика 4 і швидкість руху об’єкта дорівнює 0.

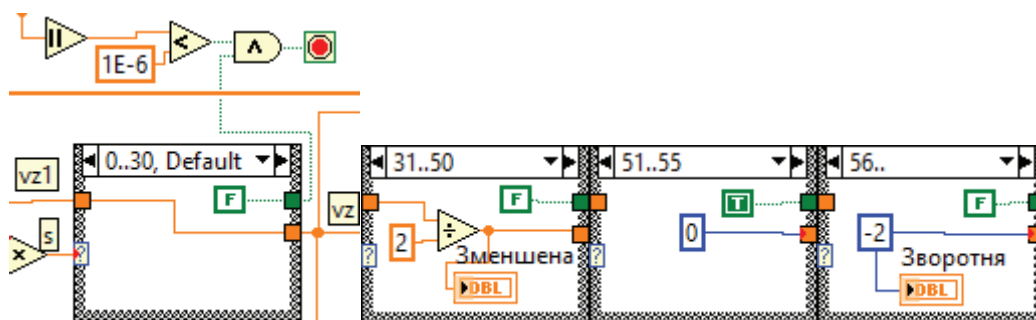


Рис. 7. Залежність заданої швидкості від відстані й умови зупинки віртуального приладу

Візуалізація руху об’єкта виконана за допомогою XY Graph, на якому об’єкт символічно зображено у вигляді прямокутника, що рухається повз датчики-індикатори, які розташовані на необхідних відстанях. У разі спрацювання датчика індикатор змінює свій колір на зелений. На полі графіка також розташований числовий індикатор, який динамічно відображає величину заданої швидкості (рис. 8).

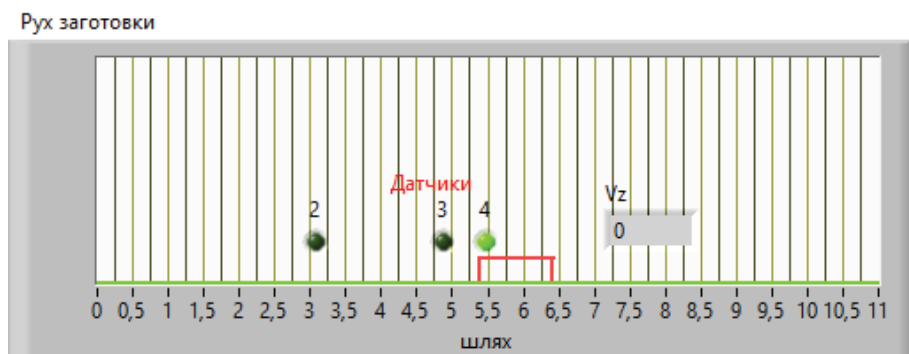


Рис. 8. Візуалізація руху об’єкта

Також реалізовано динамічне відображення в часі графічних залежностей швидкості й переміщення об'єкта. Для більш наглядного графічного представлення напрямку руху об'єкта також будується залежність швидкості від пройденого шляху (рис. 9).

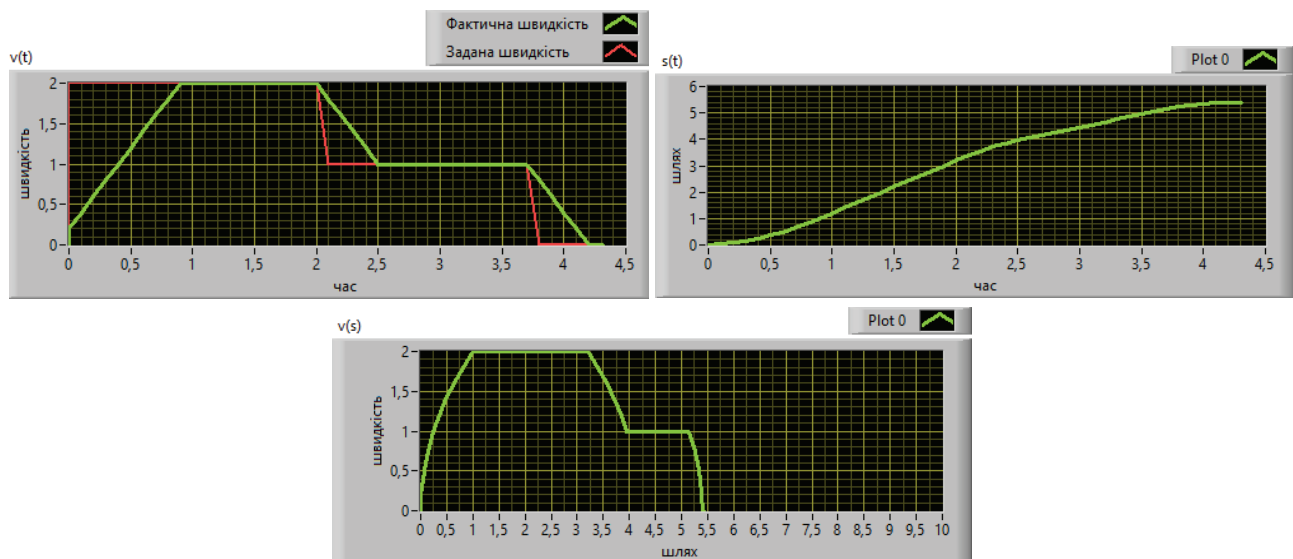


Рис. 9. Динамічне відображення в часі графічних залежностей $v(t)$, $s(t)$ та $v(s)$

Загальний вигляд лицьової панелі користувача створеного віртуального приладу наведено на рис. 10.

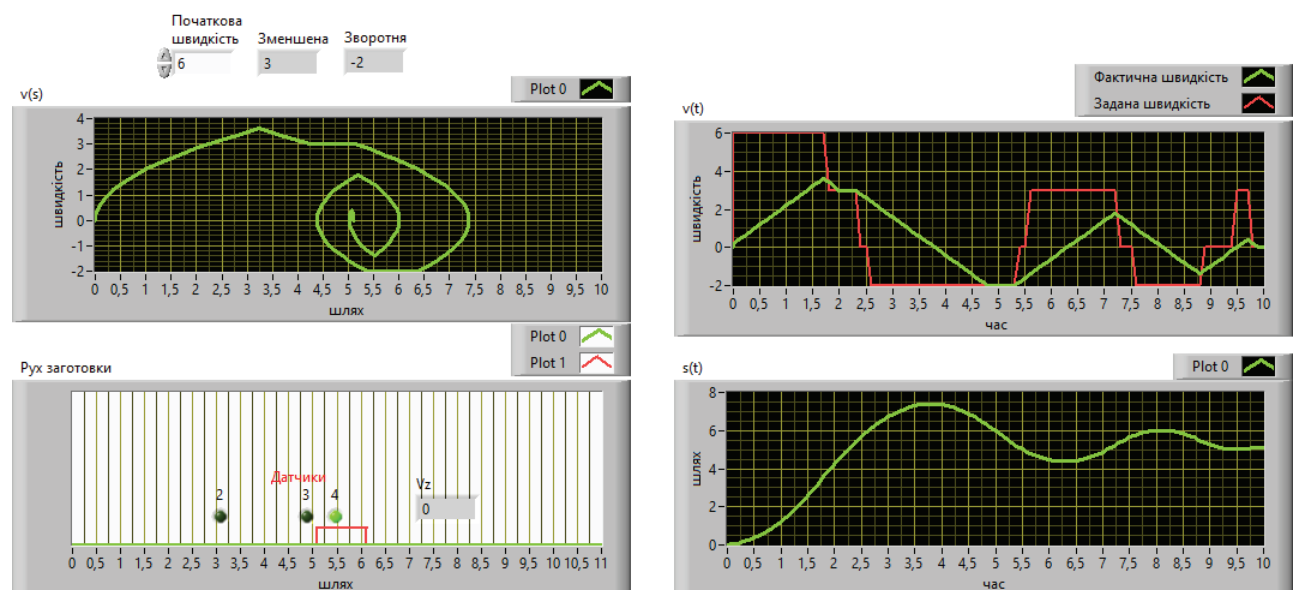


Рис. 10. Лицьова панель користувача

Висновки

У роботі розглянуто структуру системи автоматизованого переміщення та позиціонування заготовки й виготовленої деталі на всіх етапах технологічного процесу її виготовлення. У процесі виконання сформованої мети роботи розроблено функціональну схему системи переміщення та позиціонування заготовки, алгоритм і технологічну послідовність дій під час реалізації процесу переміщення та позиціонування заготовки на рольганговій системі без приводу. Також створено віртуальний прилад для моделювання процесу переміщення об'єкта вздовж

робочого поля з контролюванням його положення за допомогою дискретних датчиків, який дає змогу підібрати раціональні величини заданих швидкостей на різних ділянках для усунення небажаних перехідних процесів і мінімізації часу доставки об'єкта до заданої ділянки робочого поля.

Список використаної літератури

1. До визначення параметрів системи автоматичного керування технологічним процесом вільного формоутворення / Д.В. Моспан та ін. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. Кременчук : КрНУ, 2022. Вип. 3–4 (59). С. 64–69. DOI: 10.30929/2072-2052.2022.3-4.59.64-69
2. Моспан Д.В. Автоматизація технологічного процесу формоутворення деталей з прямолінійними рифтами. *Сучасний стан наукових досліджень і технологій в промисловості*. Харків, 2023. Вип. 2(24). С. 150–158.
3. Черниш А.А. Удосконалення технології формування великогабаритних товстолистових деталей з елементами жорсткості з обмеженням осередку деформації : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05. Кременчук, 2017. 164 с.
4. New Solution For Plastic Deformation Process Intensification / D. Mospan et al. *Metallurgist*. 2022. Vol. 65. Issue 11–12. P. 1108–1116. DOI: 10.1007/s11015-022-01253-x
5. Моспан Д.В., Невлюдов І.Ш., Роменський В.І. До питань адаптації математичних моделей для систем управління технологічним процесом холодного листового штампування. *Технологія приборостроєння*. Харьков, 2020. № 1. С. 3–7.
6. Mospan D., Nevliudov I., Sychova O., Novoselov S. Multithreaded Software Control Of Industrial Manipulator Movement. *Modern electrical and energy systems / Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, October 20–22*. Kremenchuk, 2022. P. 319–325. DOI: 10.1109/MEES58014.2022.10005675
7. Development of a method for determining the optimal control trajectory for the periodic processes / D. Mospan et al. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019. Vol. 3. P. 59–68. DOI: 10.21303/2461-4262.2019.00900

References

1. Mospan, D.V., Nevliudov, I.S., Dragobetskii, V.V., & Kostin, V.V. (2022). To determine the parameters of the automatic control system of the technological process of free molding – [To determine the parameters of the automatic control system of the technological process of free molding]. *Electromechanical and energy-saving systems*. Vol. 3–4(59). P. 64–69. DOI: 10.30929/2072-2052.2022.3-4.59.64-69 [in Ukrainian]
2. Mospan, D.V. (2023). Automation of the technological process of forming parts with rectilinear rifts – [Automation of the technological process of forming parts with rectilinear rifts]. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. Vol. 3(25). P. 150–158. [in Ukrainian]
3. Chernysh, A.A. (2017). Udoskonalennia tekhnolohii formuvannia velykohabarytnykh tovstolystovykh detalei z elementamy zhorskosti z obmezheniam oseredku deformatsii – [Improvement of the technology of forming large-sized thick sheet parts with roughness elements with limitation of the center of deformation] : Candidate's thesis. Kremenchuk. 164 p. [in Ukrainian]
4. Mospan, D., Dragobetskii, V., Shapoval, A., Shchetynin, V., Agrat, R. & Shlyk, S. et al. (2022). New Solution For Plastic Deformation Process Intensification. *Metallurgist*. Vol. 65. Iss. 11–12. P. 1108–1116. DOI: 10.1007/s11015-022-01253-x [in English]
5. Mospan D.V., Nevliudov I.S. & Romenskiy V.I. (2020). Do pytan adaptatsii matematychnykh modelei dlia system upravlinnia tekhnolohichnym protsesom kholodnoho lystovoho shtampuvannia – [To the issues of adaptation of mathematical models for control systems of the technological process of cold sheet stamping]. *Technology of Instrumentation*. Vol. 1. P. 3–7. [in Ukrainian]

6. Mospan, D., Nevludov, I., Sychova, O. & Novoselov, S. (2022). Multithreaded Software Control Of Industrial Manipulator Movement. *International Conference MODERN ELECTRICAL AND ENERGY SYSTEMS / Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine, October 20–22*. P. 319–325. DOI: 10.1109/MEES58014.2022.10005675 [in English]
7. Mospan, D., Lutsenko, I., Oksanych, A., Oksanych, I., Fomovskaya, O. & Serdiuk, O. (2019). Development of a method for determining the optimal control trajectory for the periodic processes. *EUREKA: Physics and Engineering*. Vol. 3. P. 59–68. DOI: 10.21303/2461-4262.2019.00900

Моспан Денис Владиславович – к.т.н., доцент кафедри комп’ютерної інженерії та електроніки Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, e-mail: denis.mospan@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5473-7874.

Юрко Олексій Олексійович – к.т.н., доцент кафедри комп’ютерної інженерії та електроніки Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, e-mail: yurkoalexe@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8244-2376.

Mospan Denys Vladyslavovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Computer Engineering and Electronics of the Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, e-mail: denis.mospan@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5473-7874.

Yurko Oleksii Oleksiiiovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Computer Engineering and Electronics of the Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, e-mail: yurkoalexe@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8244-2376.