

4. Mulligan I.J. A model-based vision system for manipulator position sensing / I.J. Mulligan, A.K. Mackworth, P.D. Lawrence // Proc. of the Workshop on Interpretation of 3D Scenes. – IEEE, 1989. – P. 186-193.
5. Калабин Е. Копать с умом. Системы управления экскаваторами Topcon 3Dxi / Е. Калабин // Строительная техника и технологии. – 2007. – № 2. – С. 106-112.
6. Leica PowerDigger 3D. The future of excavating. [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: <http://www.leicageo-systems.com/downloads123/z/machine/PowerDigger3D/brochures/PowerDigger3DBROen.pdf>
7. Seward D. LUCIE the robot excavator-design for system safety / D. Seward, F. Margrave // Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation. – IEEE, 1996. – Vol. 1. – P. 963-968.
8. Shaban E.M. Development of an automated verticality alignment system for a vibro-lance / E.M. Shaban, S. Ako et al. // Automation in Construction. – 2008. – Vol. 17. – № 5. – P. 645-655.
9. Murakami T. Precision Angle Sensor Unit for Construction Machinery / T. Murakami, M. Kato, M. Ota // SAE Technical Paper. – 1997. – №. 972782.
10. Precision Rotary Potentiometer. [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: <http://www.fernsteuergeraete.de/en/product-range/precision-rotary-potentiometer.html> – Title from screen.
11. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
12. Saaty T.L. Decision making with Dependence and Feed back / The Analytic Network Process. Pittsburgh: PWS Publications, 2000. – 370 p.
13. Система 3D X53i для экскаваторов [Электронный ресурс]. – Режим доступу: URL: https://topcon.pro/stroitelstvo/Excavator_system_X53/
14. Trimble CCS900 [Electronic Resource]. – Mode of access: URL: http://www.intelligentcompaction.com/downloads/TPF/GAIC_OpenHouse_Trimble.pdf
15. Система 2D X62 для экскаватора [Электронный ресурс]. – Режим доступу: URL: https://topcon.pro/stroitelstvo/2D_X62_system/
16. Описание системы Leica Geosystems [Электронный ресурс]. – Режим доступу: URL: https://ngc.com.ua/info/digg_all.html
17. Датчики угла наклона. [Электронный ресурс]. – Режим доступу: URL: <https://teko-com.ru/katalog/datchiki-ugla-naklona-inklinometr/>

УДК 621.879.3

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄМНОГО ГІДРОПРИВІДУ ЕКСКАВАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ

К.т.н. О.В. Ярижко¹, Н.П. Пенкіна²

1. Харківський національний автомобільно-дорожній університет
2. Харківський державний автомобільно-дорожній коледж

У статті розглядається приклад імітаційного моделювання складних технічних систем, що об'єднують в собі динаміку механічної підсистеми экскаваторного обладнання та об'ємного гідропривіду.

В статті рассматривается пример имитационного моделирования сложных технических систем, которые объединяют в себе динамику механической подсистемы экскаваторного оборудования и объемного гидродвижения.

The article discusses an example of simulation modeling of complex technical systems that combine the dynamics of the mechanical subsystem of excavator equipment and a volumetric hydraulic drive.

Ключові слова: імітаційна модель, робоче обладнання экскаватора, механічні системи, SimScare, SimHydraulics, SimMechanics.

Вступ

Гідравлічний привід сучасних будівельних і дорожніх машин досить складний, і моделювання всього приводу в повному обсязі потребує значних зусиль і витрат часу [1]. Однак підвищення якості проектування при одночасному скороченні термінів і витрат можливо тільки при використанні сучасних технологій, комп'ютерної техніки та програмного забезпечення.

SimHydraulics - це окрема бібліотека пакета Simulink середовища MATLAB, призначена для моделювання гідравлічних систем з використанням компонентів, що враховують вплив реальних фізичних характеристик і величин, що зв'язують всі блоки моделі. При цьому, основний підхід для моделювання заснований

на передачі фізичної енергії від блоку до блоку з урахуванням фізичних розмірностей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В літературі [2-6] запропоновано кілька моделей динаміки об'ємного гідроприводу. У значній кількості робіт, наприклад [2-3], як правило послідовність моделювання робочих процесів гідравлічних приводів містить в собі складання математичної моделі на основі диференціальних та алгебраїчних рівнянь, яким потім вводяться у комп'ютер, шляхом її набору із стандартизованих блоків модуля Simulink програми MATLAB, з подальшим розв'язанням численними методами.

В роботах [4-6] обґрунтовується моделювання робочих процесів гідравлічних систем в середовищі фізичного моделювання SimHydraulics. Наведені приклади компонування блок-схем зі стандартних елементів бібліотеки (золотниковий розподільник, гідронасос, гідроциліндр, запобіжні та зворотні клапани, гідрозамки і інші). Однак в цих роботах не розглядається вплив перемінних у часі зовнішніх сил, які є реакцією при перехідних процесах в багатоланкових механічних системах.

Мета і задачі роботи. Мета роботи - розробка імітаційної моделі об'ємного гідроприводу механічної системи (робочого обладнання экскаватора) в пакеті MATLAB & SimHydraulics для дослідження динаміки перехідних процесів багатоланкових механічних об'єктів.

В роботі вирішуються наступні задачі:

1. Розробити фізичну імітаційну модель об'ємного гідроприводу робочого обладнання экскаватора в пакеті

SimHydraulics. 2. Використовуючи реальні технічні характеристики гідроапаратури екскаватора Борекс 2201, перевірити працездатність розробленої моделі та знайти силові характеристики виконавчих механізмів. 3. За допомогою складеної моделі отримати режими перехідних процесів зміни значення узагальнених координат характерних точок гідроциліндрів керування стрілою, рукояті, ковша та швидкості їх зміни.

Гідропривід робочого обладнання екскаватора

Методику побудови блок-схеми математичної моделі механічної підсистеми робочого обладнання екскаватора в позначеннях SimMechanics було розглянуто в роботі [7]. Об'ємний гідропривід екскаватора Борекс 2201 (рис. 1) складається з двох окремо замкнутих робочих контурів, приводом яких є два шестерних насоси Н1 і Н2. В екскаваторі робоча рідина від насоса Н1 через гідророзподільник Р1 підводиться до гідроциліндрів робочого устаткування (Ц1 стріли, Ц2 рукояті, Ц3 ковша) і далі на злив у бак. До поршневих порожнин

гідроциліндрів Ц1 і Ц2 стріли і рукояті підключені розвантажувальні клапани КП3, КП4 застерігаючи штоки від перевантаження, а до штокової порожнини гідроциліндра Ц1 стріли підключений дросель Д1 зі зворотним клапаном КО1, який забезпечує плавне опускання стріли. До гідроциліндра Ц1 стріли робоча рідина може надходити також від насоса Н2 через гідророзподільник Р4 для прискореного підйому стріли. Перед гідророзподільник Р1-Р4 є запобіжні клапани КП1, КП2, що застерігають гідросистему від перенавантажнь, відрегульовані на тиск 16-2,0 МПа.

З блоків бібліотеки Simscape і SimHydraulics при моделюванні гідроприводу робочого обладнання екскаватора використовувалися наступні:

Solver Configuration - блок, який визначає налаштування параметрів чисельного рішення для моделювання блокової діаграми SimHydraulics. Кожен гідравлічний механізм повинен бути з'єднаний в будь-якому місці з одним подібним блоком.

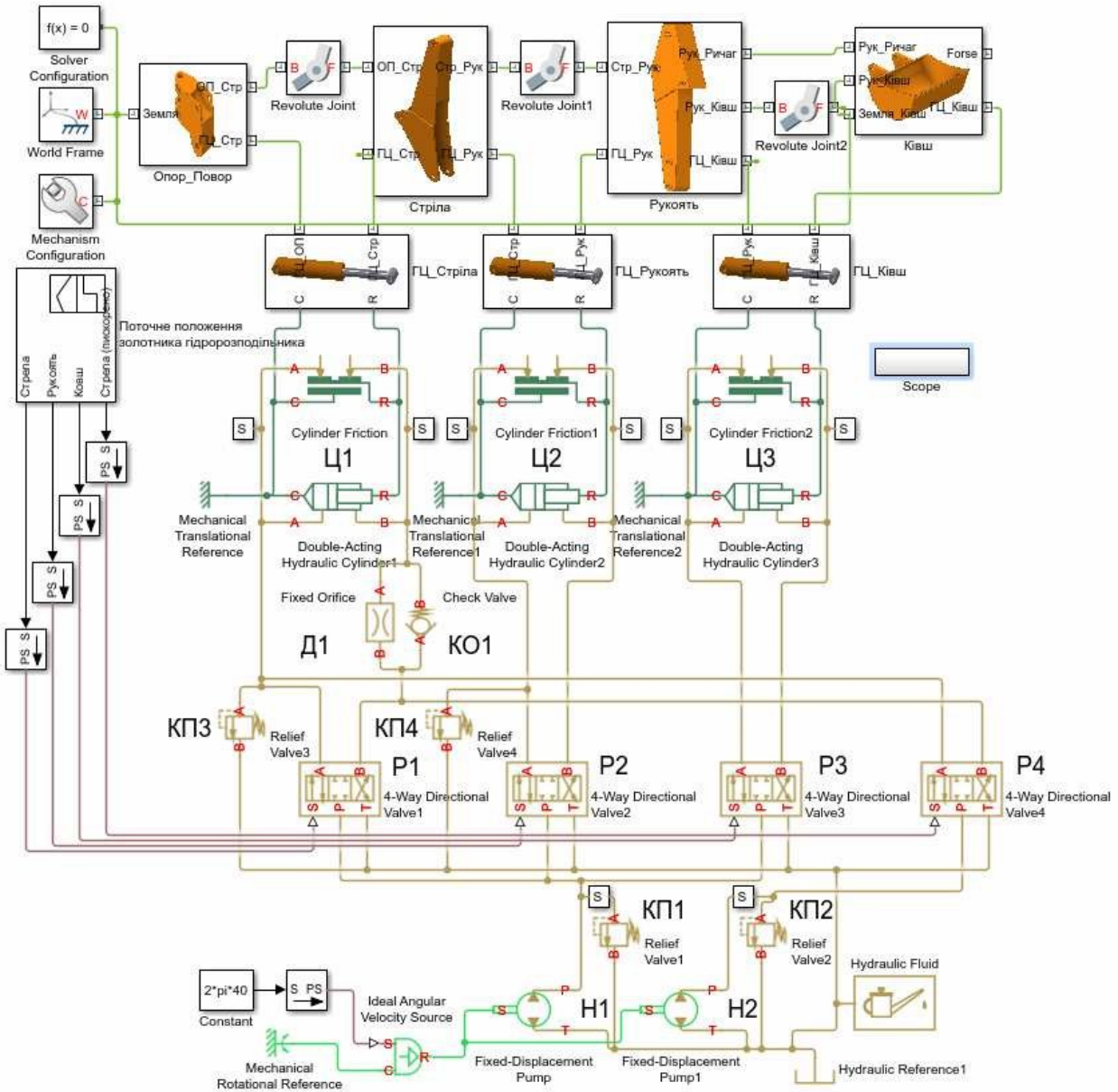


Рис. 1. Simulink-модель гідропривід робочого обладнання екскаватора

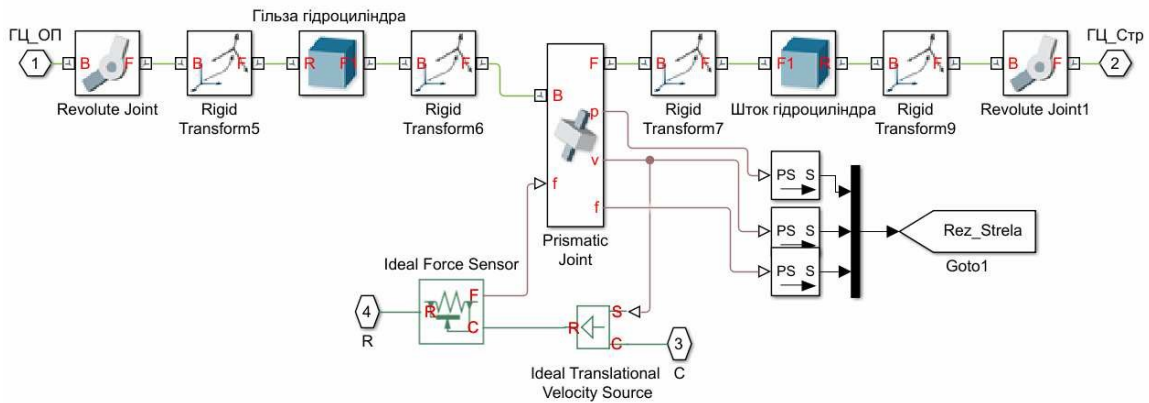


Рис. 2. Підсистема гідроциліндра

Mechanical Translational Reference - блок заземлення (стійка) для поступально рухомих механізмів.

Mechanical Rotational Reference - блок заземлення (стійка) для оберткових механізмів.

Simulink-PS Converter - блок конвертації звичайного Simulink-сигналу в фізичний сигнал бібліотеки Simscape.

PS-Simulink Converter - блок зворотної конвертації фізичного сигналу Simscape в Simulink-сигнал.

Hydraulic Reference - блок зв'язку гідросистеми с атмосферним тиском (гідробак).

Hydraulic Fluid - блок завдання виду і властивостей гідравлічної рідини. Приєднується в будь-якому місці блок-схеми гідроприводу.

Ideal Angular Velocity Source - ідеальне джерело кутової швидкості. Використовується перед блоком гідронасоса для завдання кутової швидкості вала гідронасоса.

Fixed-Displacement Pump - нерегульований роторний насос двосторонньої дії.

Pressure Relief Valve - запобіжний клапан тиску.

4-Way Directional Valve - чотирьохлінійний направляючий гідророзподільник.

Check Valve - зворотний клапан.

Fixed Orifice - нерегульований дросель.

Double-Acting Hydraulic Cylinder - силовий гідроциліндр двосторонньої дії.

Cylinder Friction моделює тертя між рухомими частинами в гідроциліндрах.

Роз'яснення параметрів налаштування гідравлічних блоків наведені в джерелі [8-9].

Підсистема гідроциліндра підключається до відповідних входів підсистем ланок. Являє собою шток і гільзу гідроциліндра у вигляді блоків Solid і поступальний рух між ними задається блоком Prismatic Joint, використовуючи властивості якого, знімається поточна швидкість гільзи щодо штока і задається значення сили діючої між ними, яку повинен забезпечити виконавчий механізм (рис. 2).

Гідроциліндр в позначеннях SimHydraulics представлений блоком Double-Acting Hydraulic Cylinder, блок Ideal Force Sensor знімає значення сили діючої по осі штока гідроциліндра, це значення використовується

механічної підсистемою. Блок підключається до портів гідроциліндра (R та C). Блоку Ideal Translation Sensor задає швидкість зміщення штока гідроциліндра, ставиться в розрив зв'язку між блоком Ideal Force Sensor і Double-Acting Hydraulic Cylinder.

Таким чином, використовуючи раніше описані блоки можна скласти імітаційну модель взаємодії механічної системи робочого обладнання екскаватора з його об'ємним гідроприводом

За допомогою складеної моделі можна отримувати значення, що характеризують перехідні процеси (блок Goto, рис. 2), в тому числі зміни значення узагальнених координат характерних точок робочого обладнання, швидкості їх зміни, зусилля в гідроциліндра. Наочне уявлення руху маніпулятора можна отримати за допомогою вбудованої функції візуалізації SimScape, що дозволяє швидше помічати помилки при аналізі.

Крім того у характерних точках до гідравлічної блок-схеми підключена підсистема, що дозволяє контролювати характерні параметри об'ємного гідропривода (блок S, рис. 1). Вона містить наступні блоки (рис. 3): Ideal Hydraulic Pressure Sensor - ідеальний гідравлічний датчик тиску, Ideal Hydraulic Flow Rate Source - ідеальний датчик об'ємної витрати рідини.

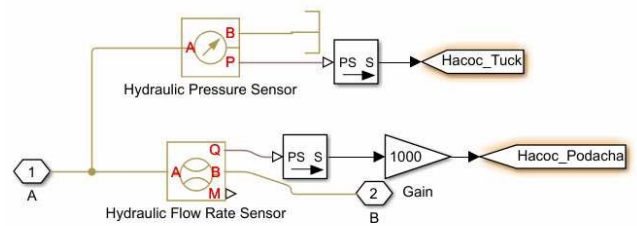


Рис. 3. Підсистема з датчиком тиску та об'ємної витрати рідини

Результати моделювання

Результати моделювання роботи гідроприводу наведені на рис. 4-7. Тривалість заданого керуючого сигналу на золотниках гідророзподільників представлена на рис.5.

На рис. 6 а, б відображаються рух штока гідроциліндра у часі. Так як зміщення золотника гідророзподільників призводить до різкої зміни тиску в порожнинах гідроциліндра, то в початковий момент часу

швидкість штока стрибкоподібно збільшується, але потім приходиться до сталого значення.

Реакція гідроциліндрів керування робочого обладнання екскаватора на зовнішні навантаження (переміщення у просторі елементів багатоланкових механічних системи) зображені на рис. 6 в.

Тиск в початковий момент часу вираховується відповідно до умов рівноваги, а положення штока гідроциліндра виражається геометричній залежністю від значення відповідної узагальненої координати. Подальша зміна тиску в порожнинах гідроциліндрів є результатом дій зовнішніх сил, силових приводів, реакцій опори, опору переміщенню, сил тертя між рухомими частинами в гідроциліндрах

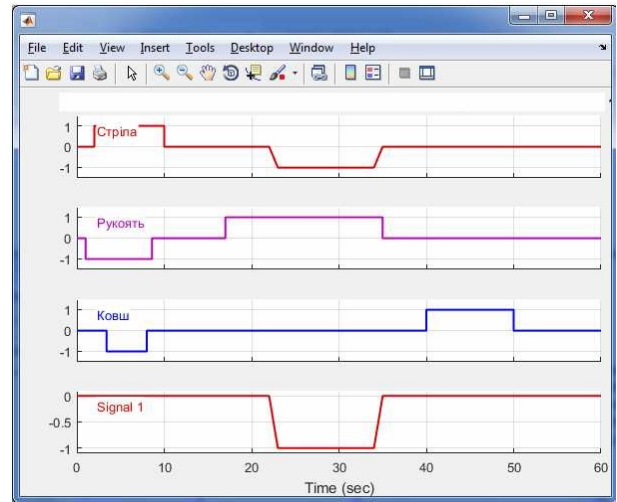


Рис. 4. Керуючий сигнал на золотниках гідророзподільників

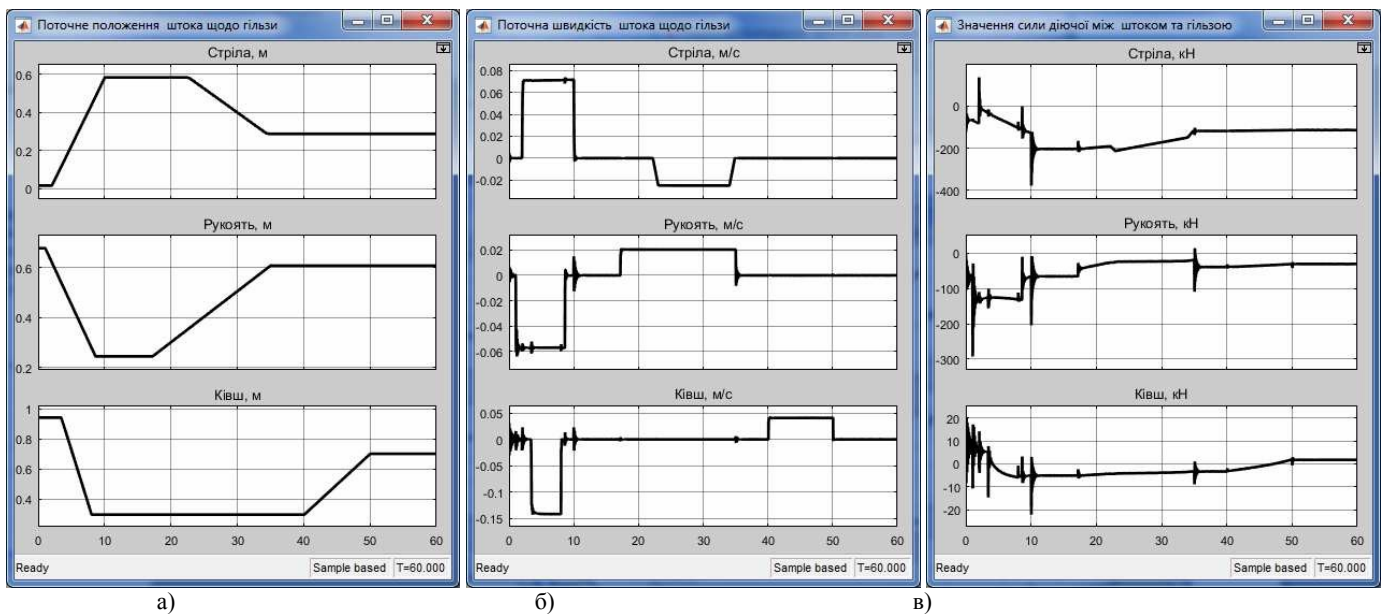


Рис. 5. – Результати моделювання :

а – поточне положення штока щодо гільзи гідроциліндра; б – поточна швидкість штока щодо гільзи; в – значення сили діючої між штоком та гільзою

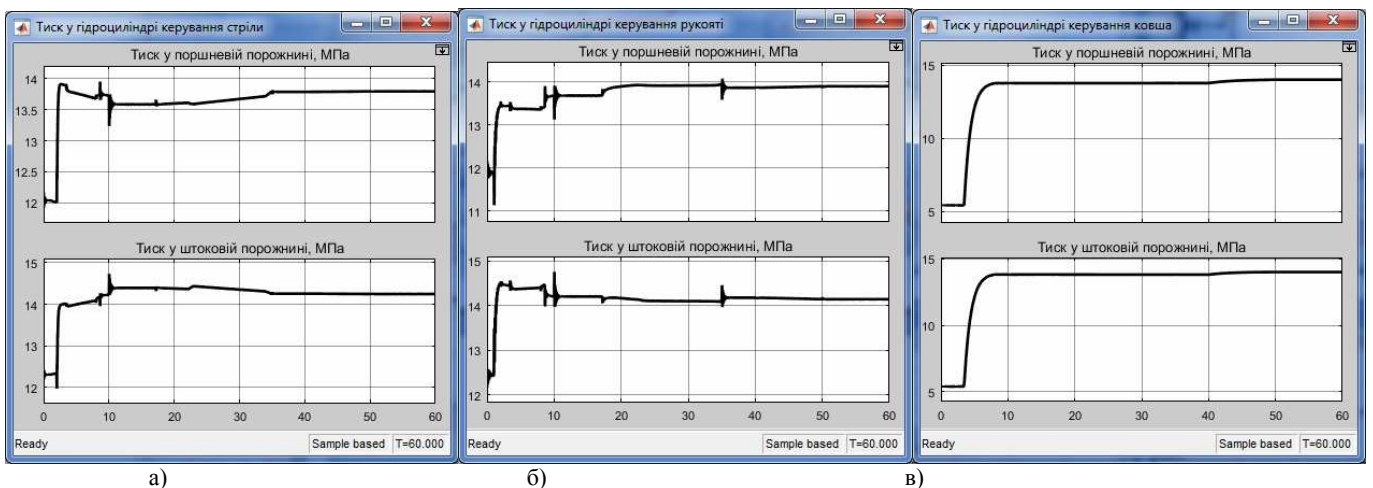


Рис. 6. – Тиск у поршневій та штоковій порожнинах гідроциліндра керування: а – стріли; б – рукояті; в – ковша

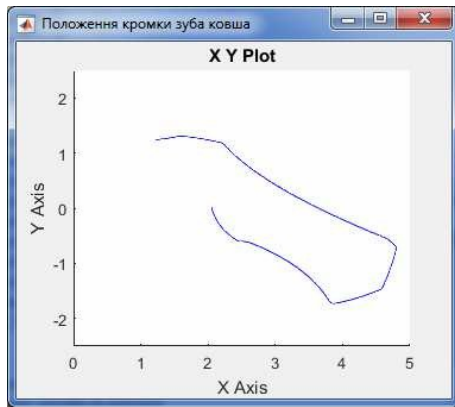


Рис. 7. Траєкторія руху кромки зуба ковша

Висновки

В роботі розглянуті приклад побудови імітаційної моделі робочого обладнання екскаватора в MATLAB Simulink з використанням бібліотек SimMechanics та SimHydraulics. MATLAB дозволяє отримувати чисельне рішення диференціальних рівнянь що описують процеси, які протікають при русі елементів механічної системи, розглядаючи не тільки саме рух, а і причини його виникнення. Отримана модель дозволяє вирішувати завдання аналізу і синтезу систем керування роботою екскаватора, що буде висвітлено в наступних статтях.

УДК 681.5.015

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ БДМ ЗА РАХУНОК СУЧАСНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

К.т.н. О.В. Єфименко, к.т.н. Т. В. Плуґіна, к.т.н. С.Г. Ковалевський, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Розглянуто задачу інтенсифікації робочих процесів будівельно-дорожніх машин за рахунок сучасних систем управління. Проаналізовано системи управління за ефективністю використання. Запропоновано критерії визначення діагностичних параметрів систем інтенсифікації.

Рассмотрена задача интенсификации рабочих процессов строительно-дорожных машин за счет современных систем управления. Проанализированы системы управления по эффективности использования. Предложены критерии определения диагностических параметров систем интенсификации.

The task of intensifying the working processes of construction and road machines due to modern control systems is considered. The management systems for efficiency of use have been analyzed. Criteria for determining the diagnostic parameters of intensification systems are proposed.

Ключові слова: інтенсифікація, робочий процес, система управління, модель, математичне моделювання, діагностичний параметр, оптимізація, ефективність

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Объемный гидропривод и гидропневмоавтоматика / Г.А. Аврунин, И.В. Грицай, И.Г. Кириченко // Учебное пособие.– Харьков: ХНАДУ, 2008. – 412.
2. Гурко А.Г. Моделирование динамики объемного гидропривода / А.Г. Гурко // Технология приборостроения. - Харьков, 2014. Специальный выпуск – С. 57-60.
3. Крамарь В.А. Моделирование мехатронных модулей движения // В.А. Крамарь, А.А. Кабанов, В.В. Альчаков /Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вып. 146/2014. Серия: Автоматизация процесів та управління. — Севастополь, 2014. –С. 5 – 13.
4. Гусельников Д.А. Оценка возможностей и достоверности MatLab + Simulinkпри моделировании функционирования гидравлической системы летательного аппарата/ Д.А. Гусельников, Н.А. Шелков // Авиациостроение и транспорт Сибири : сб. статей V Всерос. науч.-практ. конф. (Иркутск, 16–18 апреля, 2015 г.) – Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2015. – С 47-49.
5. Шорников Ю.В. Компьютерное моделирование гидравлических систем / Ю.В. Шорников, С.А. Мяндин// Молодой учёный. – 2017. – № 22 (156). – С. 104–110.
6. Михеева Н.И. Имитационное моделирование гидропривода в нелинейном приближении / Н.И. Михеева //Вестник КРСУ.– 2017. Том 17. № 5. – С.83 – 86.
7. Ярижко О.В. Моделирование складных технических систем з використанням пакету Simscape / О.В. Ярижко, Н.П. Пенкіна // Технология приборостроения. – Харьков, 2017. №2 – С. 57 – 60.
8. SimHydraulics Documentation. Режим доступа: <http://www.mathworks.com/help/physmod/hydro/>
- 9/ Рунпель А.А. Моделирование гидравлических систем в MatLab / А.А. Рунпель, А.А. Сагандыков, М.С. Кобытов // Учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2009. – 172с.

Вступ

Існуючі математичні моделі оптимізації параметрів будівельно-дорожніх машин (БДМ) дозволяють підібрати раціональний режим роботи. А машини з такою системою адаптації забезпечують більш ефективне виконання робіт з максимальною продуктивністю, мінімальною вартістю та максимальним прибутком.

Оптимальні потужність та швидкість машини у процесі робочого циклу повинні регулюватися в залежності від збурень, що з'являються, та змін експлуатаційних параметрів відповідно встановленим законам.

Поточна інформація (про якість виконуваних робіт, якість дорожнього покриття, фізико-механічних властивостях середовища, що розробляється, та інших параметрах) поступає від сенсорів, що вбудовано на робочих органах та елементах підсистем машини. З'являється реальна можливість вже на етапі проектування здійснювати контроль за станом та відповідністю машини об'єкту, що розробляється, а об'єкта – проекту. Бортова система контролю та супутникова навігаційна система зв'язку забезпечують