

УДК 629.017

М.В.Дячук
РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ГАЛЬМІВНОГО КРАНУ
EBS ЕЛЕКТРОННО-ПНЕВМАТИЧНОЇ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ
ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

Розглядаються питання побудови динамічної моделі гальмівного крану EBS засобами середовищ імітаційного моделювання Simulink/Simscare. Запропоновано моделі секцій крану, електричного блоку, виконано тестування функціональності гальмівного крану та його робочого процесу, порівняні отримані характеристики з базовими за технічною документацією виробника.

Ключові слова: гальмівний кран, EBS, імітаційна модель.

Рис. 10. Літ 5.

М.В.Дячук
РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТОРМОЗНОГО КРАНА EBS
ЭЛЕКТРОННО-ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ГРУЗОВЫХ
АВТОМОБИЛЕЙ

Рассматриваются вопросы построение динамической модели тормозного крана EBS средствами среды имитационного моделирования Simulink/Simscare. Предложены модели секций крана, электрического блока, выполнено тестирование функциональности тормозного крана и его рабочего процесса, сравнены полученные характеристики с базовыми по технической документации производителя.

Ключевые слова: тормозной кран, EBS, имитационная модель.

М. Dyachuk
BRAKE CRANE SIMULATION'S DEVELOPMENT OF COMMERCIAL VEHICLES'
EBS BRAKING SYSTEM

The questions of EBS braking crane simulation by means of Simulink/Simscare environment are considered. The problem of EBS braking crane's simulation's development consists in the necessity of its integration and concordance with the other models of vehicle's pneumatic devices that form automatically controlled system. That is, the crane must be able to execute both modes such as electronic control and emergency pneumatic. In addition, the improvement of electronic brake system's control algorithms is detached scientifically-applied task.

The research aim is methodological and consists in general approaches development of modern mechatronics devices' design in automotive industry, and also, actually, in development of braking crane's universal model for the further usage in simulation models of EBS system's composition.

The crane's simulation is executed for case of EuroEBS braking system of truck DAF XF95. Due to the submitted technical parameters of WABCO company's braking crane is possible parameterization, in accordance to the regulated values.

The models of crane's sections, electric unit are proposed, testing of crane's functionality and its working process is executed, comparison of obtained characteristics with manufacturer's corresponding technical documentation was done.

The results of simulations demonstrate highly accurate concurrences of crane's basic descriptions and by simulation model. It is necessary to take into account circumstance that every base block, from which structural elements consist, has a few parameters. It leads, in turn, to the multiparametrical model, that, in case of lacking technical data, it is very difficult to reconcile subsystems among themselves. Nevertheless, the results confirm not only quality of structural composition of crane's sections but also successful parameterization. Thus, can be unified the braking crane's sections' models for the typical vehicles' pneumatic braking systems. The usage of the last will allow to accelerate and to improve engineering in the field of commercial vehicles' braking systems.

Keywords: braking crane, EBS, simulation.

Актуальність. Потенціал сучасних графічно-орієнтованих мов технічного програмування на основі структурного принципу створює умови реалізації наукових та інженерних задач з мінімальними витратами часу на розробки. Привабливість такого підходу полягає як у якісному структурно-ієрархічному візуальному сприйнятті, так і можливості подальших уніфікації, параметризації, компіляції програмних кодів блок-функцій, а головне - використання у СИЛ та ПІЛ рівнях моделювання у реальному масштабі часу. Таким чином, розвиток бібліотек блок-функцій з прикладних задач на основі базових блоків є важливою стратегією розвитку інжинірингу у сфері автомобілебудування.

Вочевидь, розвиток конструкції транспортних засобів(ТЗ) має тенденції кібернетизації та інтелектуалізації. Науковий інтерес спрямовується на алгоритми контролю мехатронних систем ТЗ. Таким чином, задля точного опису та побудови законів керування необхідні високоточні моделі складових елементів конструкції, що становлять на базі систем імітаційного моделювання

інструмент дослідження. Отже, актуальність полягає, насамперед, у розвитку системного методу розробки сучасних мехатронних систем автомобілів.

Постановка задачі. Сучасні гальмівні системи EBS становлять найважливішу складову активної безпеки сучасних вантажних ТЗ, де основним функціональним елементом є електронні контури з мікропроцесорним керуванням. Задачами дослідження є розробка імітаційних моделей механічної, пневматичної, електричної складових гальмівного крану, інтеграція їх в один функціональний вузол та подальше тестування середовищі Simulink/Simscape на відповідність регламентованим характеристикам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробкою пневматичних пристроїв гальмівних систем та аналізом їх робочих процесів інтенсивно займаються на кафедрі автомобілів у ХНАДУ. У роботах [1, 2, 3] удосконалені математичні моделі пневматичних апаратів, висвітлені результати експериментальних досліджень, запропоновані напрямки покращення їх характеристик.

Невирішені раніше частини загальної проблеми. Проблема розробки моделі гальмівного крану EBS полягає у необхідності інтегрування та узгодження її з моделями інших електронно-пневматичних апаратів, що утворюють систему з автоматичним керуванням. Тобто, кран повинний відтворювати як режими електронного керування, так і аварійного пневматичного. Крім того, покращення алгоритмів керування електронними гальмівними системами становить окрему науково-прикладну задачу.

Мета дослідження є методологічною та полягає у розробці загальних підходів моделювання сучасних мехатронних пристроїв автомобільної галузі, а також, власне, у розробці параметричної універсальної моделі гальмівного крану для подальшого використання у складі імітаційних моделей системи EBS [4].

Припущення. Основні припущення стосуються механічної частини, де використовуються лінійні пружно-дисипативні елементи, та пневматичної частини, в якій термальні порти блоків законсервовано адіабатною системою [5]. Останнє не обов'язковим, але дозволяє скоротити теплову задачу там, де це не призводить до суттєвого погіршення якості розрахунків.

Матеріали досліджень. Розглянемо імітаційну модель оцінки функціонування гальмівного крану EBS (рис. 1). Основа моделі – блок гальмівного крану EBS3, до портів якого підключаються пневматичні та електричні елементи. Джерелом пневматичного тиску є блок 2, що видає на виході значення тиску відносно атмосферного, що встановлюється блоком 1 пневматичної атмосферної системи відліку. Однаковий тиск, таким чином, подається до пневматичних портів A1, A2 верхньої та нижньої секцій блоку гальмівного крану 3. Порти блоку 3 "+1" та "+2" є електронними, що видають ШІМ-сигнал коду переміщення педалі гальма. Ці сигнали збираються у блоці CAN шини 8 для подальшої передачі у якості вихідних параметрів через блоки 6, 7 бездротової передачі даних. Сигнал закону зусилля на гальмівній педалі формується у блоці умов 19, а потім бездротовим засобом передається до блоку 4. Після конвертації сигналу в фізичний блоком 5 він надходить до порту F блоку 3. Переміщення педалі можна вивести через порт P, а далі - через конвертор 9 та блок бездротової передачі 10 – до блоку вихідних даних. Пневматичні порти B1, B2 є вихідними відповідно верхньої та нижньої секцій крану.

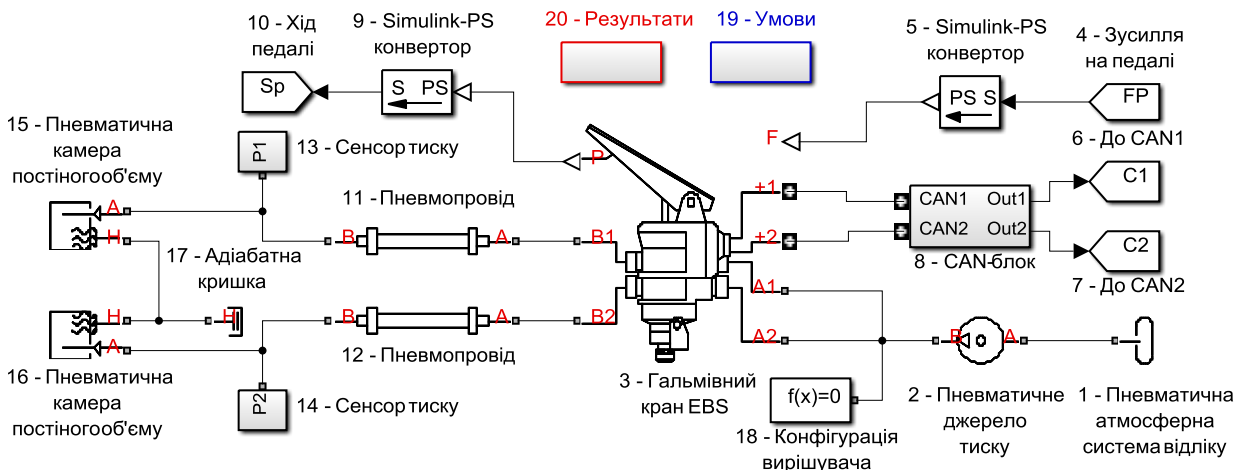


Рис. 1. Simulink/Simscape модель функціонування гальмівного крану EBS.

Розглянемо структурну будову моделі гальмівного крану EBS, яку показано на рис. 2, б. Сигнал зусилля подається до вхідного порту блоку 1 на пружинний блок 3, що забезпечує врівноваження. У зворотному напрямку через порт блоку 2 можна вивести отриманий хід педалі. Порт **R1** забезпечує механічний зв'язок для передачі переміщення штовхача до блоку сенсору руху 4. Рух штовхача відстежується блоком 4, який перетворює переміщення у електричні сигнали, що транслюються через порти блоків 5, 6 до CAN-шини. З пружинного блоку 3 завдяки механічному зв'язку зусилля передається до поршню верхньої секції 7 крану. Порт **I** секції пов'язаний з портом блоку 8 – впуск 1, до якого подається стисле повітря. Порт **O** – випускає повітря до порту блоку 9 – випуск 1. Нижня секція 10 крану, як бачимо, має як пневматичний привод через отвір порту **P**, так і механічний привод на випадок підклинювання поршню секції через порт **R**. Як бачимо з рис. 2, трубчастий клапан верхньої секції 7 має деякий зазор з трубчастою частиною поршню нижньої секції 10. Порт **I** секції 10 пов'язаний з портом блоку 11 – впуск 2, до якого подається стисле повітря. Порт **O** – випускає повітря до порту блоку 12 – випуск 2.

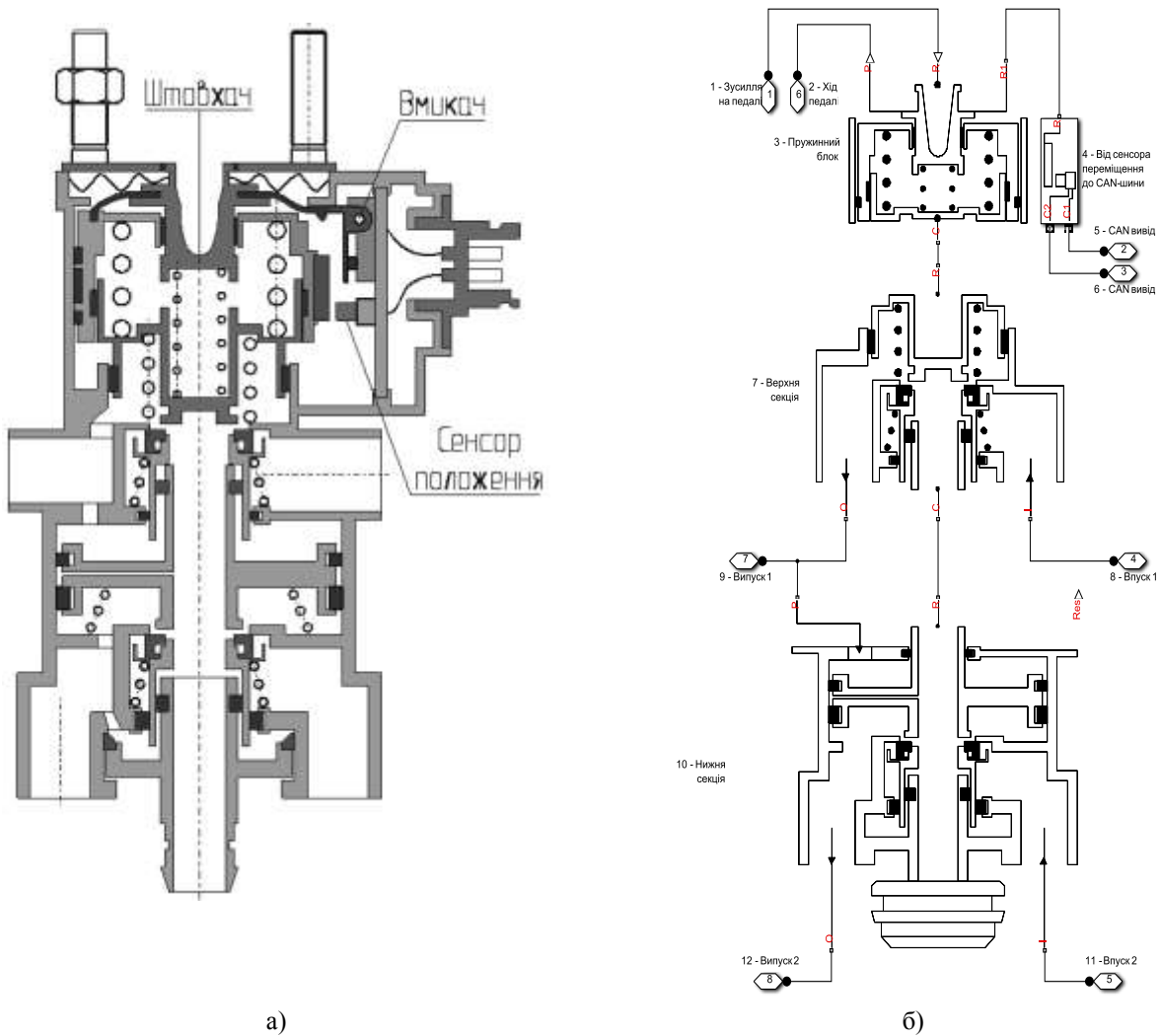


Рис. 2. Гальмівний кран EBS:
 а - загальний вид крану WABCO[4]; б - структурна посекційна Simscape модель.

Привод секцій гальмівного крану відбувається через систему пружно-дисипативних зв'язків, що утворюють блок зрівноважувальних пружин, відповідальних за слідуючу дію пристрою. Такий блок разом із моделлю педального приводу представлений на рис. 3. Закон зусилля на педалі надходить через блок 1 (порт 1) та подається до порту **S** блоку ідеального джерела зусилля 2. Порт **R** блоку 2 пов'язаний з аналогічним портом датчику поступального руху 3, з порту **P** якого через блок 4 можна вивести значення ходу педалі. Механічні поступальні системи відліку 5, 6

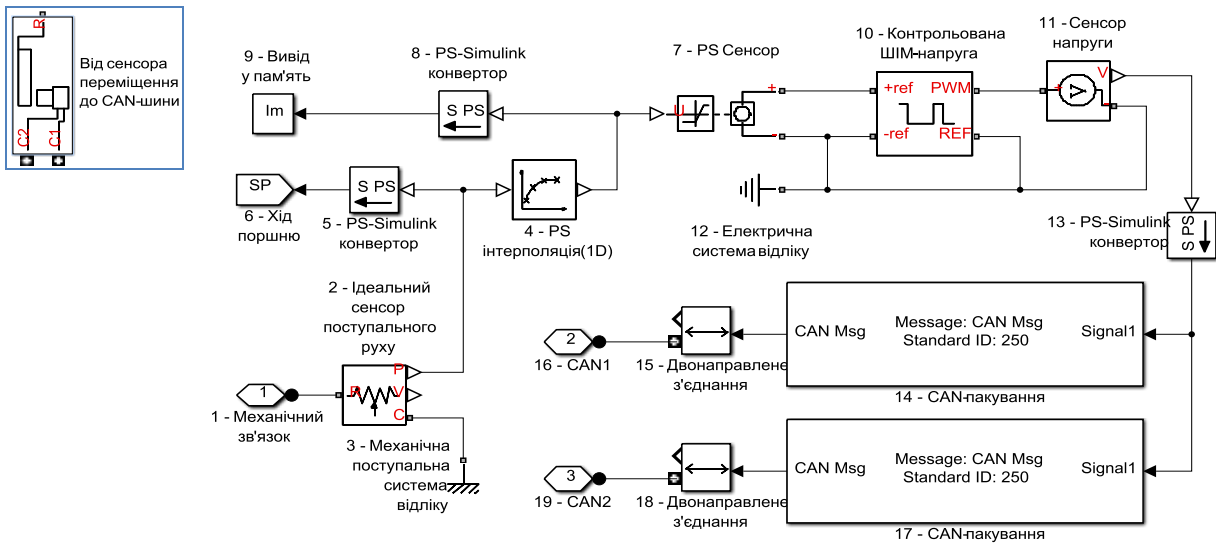


Рис. 4. Simulink/Simscape модель перетворювача сигналу крану EBS.

Розглянемо блок 14 з рис. 2 під маскою детальніше (див. рис. 4). Через порт блоку механічного зв'язку 1 до блоку ідеального сенсора 2 надходить поступальний рух відносно механічної системи відліку 3 (корпус). Фізичний сигнал переміщення штовхача надходить до блоку інтерполяції 4, у той же час сигнал конвертується у віртуальний через блок 5 та через блок 6 бездротової передачі даних передається до вихідних даних. У блоці інтерполяції відповідно до ходу штовхача задається величина, пропорційна вихідній напрузі, яка відтворюється сенсором 7. Сенсор працює в одному електричному колі з електричною системою відліку 12 та з блоком 10 контрольованої ШІМ напруги. Сенсор напруги 11 через конвертор 13 виводить ШІМ сигнал до блоків 14 та 17, де два паралельні сигнали пакуються у CANформат. Блоки дво направленого з'єднання 15 та 18 транлюють сигнали через одну шину та дозволяють утворити CAN контакти 16 та 19.

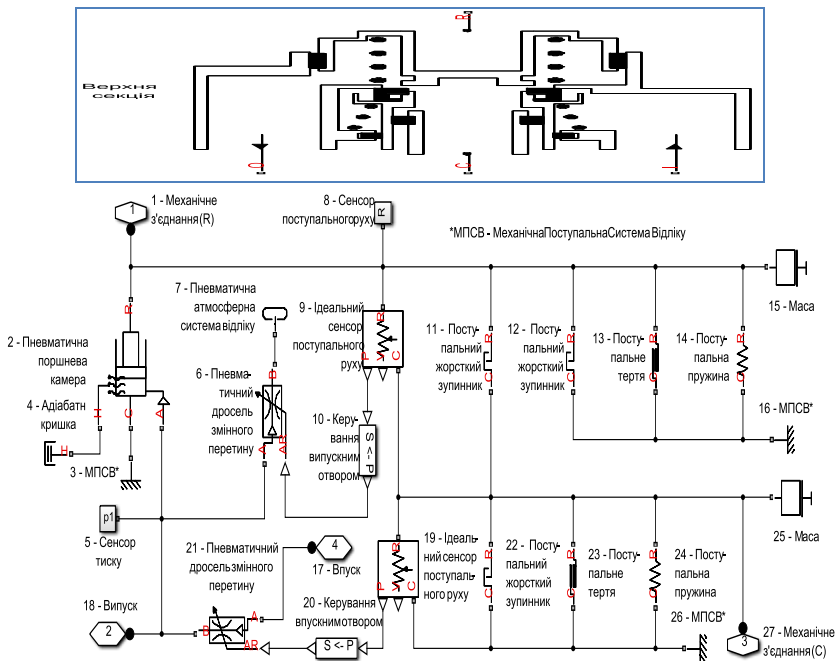


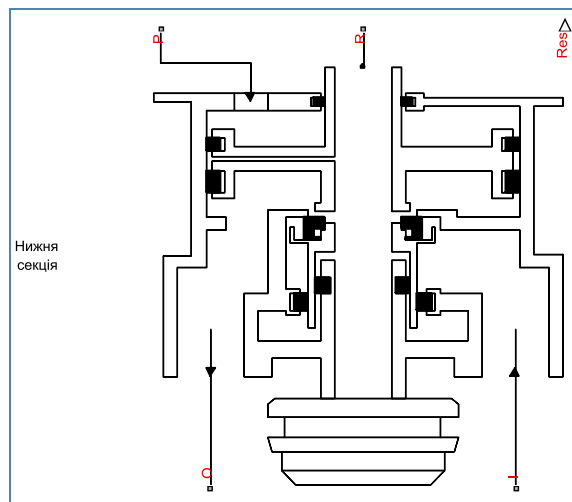
Рис. 5. Simscape модель верхньої секції крану EBS.

Розглянемо будову моделі верхньої секції гальмівного крану EBS (рис. 5). Вхід у підсистему верхньої секції забезпечується блоком механічного з'єднання 1. Через порт R дія передається до

блоку пневматичної поршневої камери 2, корпус якої фіксований відносно механічної поступальної системи відліку 3. Адіабатна кришка 4 ізолює теплообмін пневматичної камери з навколишнім середовищем. Сенсор 5 передає значення тиску до вихідних даних. Пневматичний дросель змінного перетину 6 забезпечує можливість з'єднання поршневої камери 2 з атмосферою через блок атмосферної системи відліку 7. Переміщення поршню відстежується сенсором поступального руху 8 для передачі у вихідні дані, а також сенсором 9, з порту **P** якого фізичний сигнал надходить у блок 10 обчислення площини перерізу дроселю 6, що приймається портом **AR**. Контакт поршню з клапаном здійснюється через поступальний жорсткий зупинник 11, зазор у якому вимірюється саме сенсором 9. Блоки 12, 13, 14 виконують відповідно обмежувальну, демпфуючу та пружну функції поршню пневматичної камери 2 масою 15 відносно фіксації на корпус блоком 16.

Пневматичний дросель змінного перетину 21 сполучає впускний 17 та випускний 18 порти верхньої секції крану. Керування дроселем відбувається через порт **AR** блоком 20, в якому обчислюється площа перерізу при утворенні кільцевого зазору, який забезпечується блоком поступального жорсткого зупинника 22, від переміщення клапану масою 25. Поступальний рух клапану сканується відносно корпусу 26 ідеальним сенсором поступального руху 19, та у виді фізичного сигналу подається до блоку 20. Поступальна пружина 24 забезпечує зворотну дію, а поступальне тертя 23 моделює дисипативний зв'язок з корпусом секції.

Розглянемо будову моделі нижньої секції гальмівного крану EBS (рис. 6). Стисле повітря надходить до блоку 1 з верхньої секції. На відміну від моделі верхньої секції на рис. 3 основний привод нижньої секції відбувається за допомогою пневматичної поршневої камери 3 через отвір постійного перетину 2. Поршнева камера 6 протидіє камері 3, що спричиняє реактивну слідкуючу дію пристрою. Обидві камери фіксовані на корпусі блоками механічної поступальної системи відліку 5, 7, а також ізольовані адіабатними кришками 4, 8 від навколишнього середовища. На випадок примусового спрацювання секції активується механічний зв'язок блоку 16, який після вибору зазору у поступальному жорсткому зупиннику 17, напряду передає рух на комбінований поршень масою 21. Сенсор поступального руху 9 відстежує переміщення поршню та передає його до вихідних даних. Поступальний жорсткий зупинник 10, поступальне тертя 11 та поступальна пружина 12, фіксовані відносно корпусу блоком 13, забезпечують обмеження ходу, дисипативну та зворотну функції подвійного поршню відповідно. Зазор до сідла клапану імітується жорстким поступальним зупинником 20, а вимірюється ідеальним сенсором поступального руху 18, з порту **P** якого сигнал надходить до блоку 19 керування дроселем, де перетворюється на вихід у площину перетину дроселю 14. Цей дросель має пневматичний зв'язок з атмосферою через атмосферну систему відліку 15.



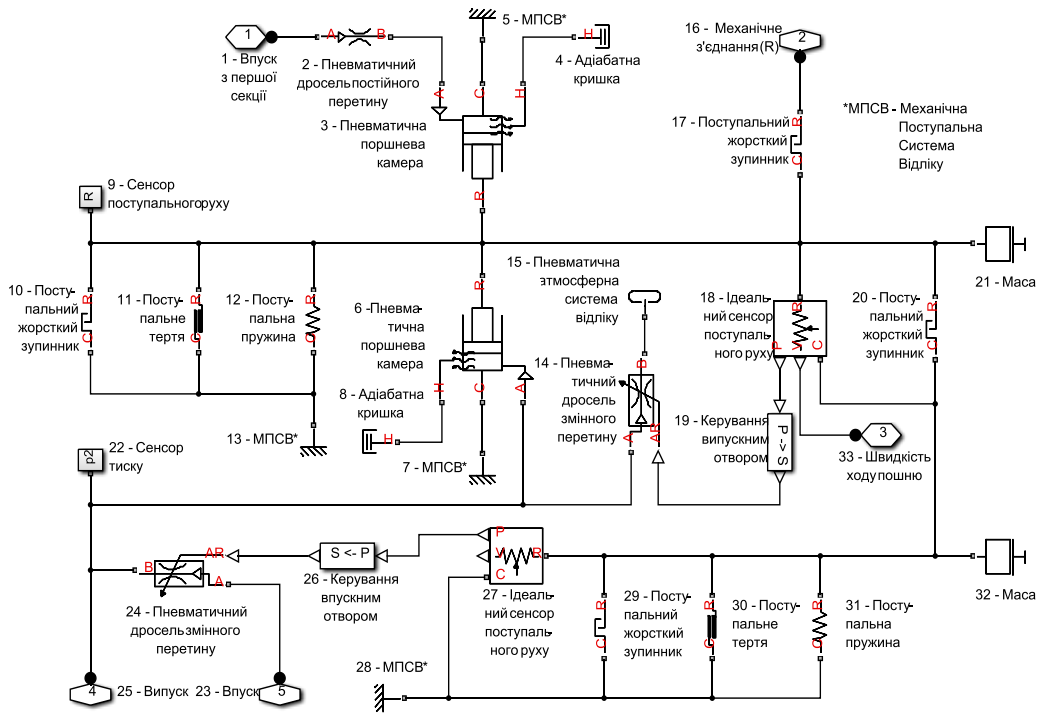


Рис. 6. Simscape модель нижньої секції крану EBS.

Сенсор 22 дозволяє вимірювати тиск у підпоршневій порожнині камери 6 та звітувати до вихідних даних. Дросель змінного перетину 24 є ланкою регулювання перепаду тиску між впускним 23 та випускним 25 блоками. Клапан регулюється через порт AR дроселю завдяки сигналу від блоку керування 26, де хід клапану перетворюється на площину дросельного отвору. Хід клапану вимірюється ідеальним сенсором поступального руху 27 відносно корпусу, що заданий блоком 28. Поступальний жорсткий зупинник 29, поступальне тертя 30 та поступальна пружина 31, фіксовані відносно корпусу блоком 28, забезпечують обмеження ходу, дисипативну та зворотну функції трубчастого клапану масою 32.

Результатимоделювання. Виконаємо моделювання роботи крану для випадку гальмівної системи EuroEBS [4] сідельного тягача DAFXF95. Завдяки наведеним технічним параметрам крану компанії WABCO можлива параметризація, відповідно до регламентованих значень. Задля забезпечення квазістатичної характеристики крану представимо вхідне зусилля на педалі поступово зростаючим до повного ходу. Це дозволяє зменшити вплив динамічних явищ і отримати майже статичну характеристику крану. На рис. 7 наведено порівняння базової силової характеристики гальмівного крану EBS WABCO з отриманою за імітаційною моделлю. Вочевидь, найбільш важливим є відтворення зони пропорційного впливу, яка майже збігається з експериментальною, бо при ході штовхача штоку педалі у межах 2,6-10 мм забезпечується слідуюча дія крану. Пневматична характеристика на рис. 8 демонструє зростання тиску на виході секцій крану при ході штовхача штоку педалі. Невелика похибка у порівнянні з базовими характеристиками загалом якісно характеризує параметризацію моделі. На рис. 9 представлена електрична характеристики крану. При початковому ході штовхача (рис. 2, а) замикається електричний ланцюг вмикачем, та на малому ході забезпечується мінімальна ширина імпульсу. Приблизно 1,5 мШМ – сигнал від сенсору стає пропорційним ходу штовхача штоку педалі (рис. 10).

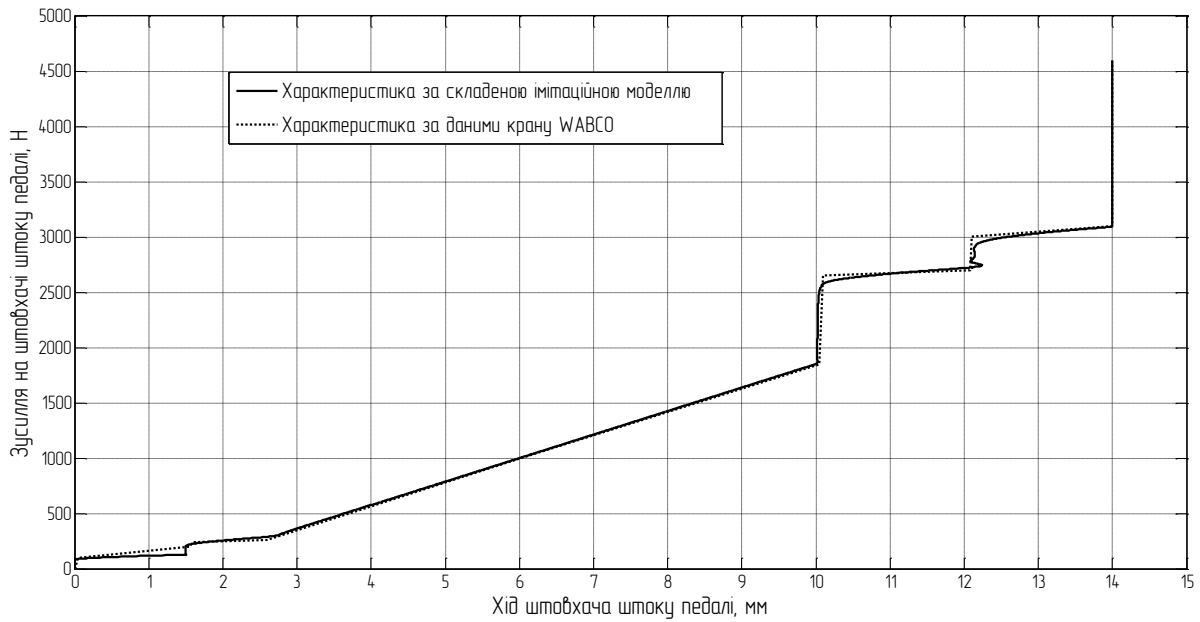


Рис. 7. Силова квазістатична характеристика гальмівного крану EBSWABCO.

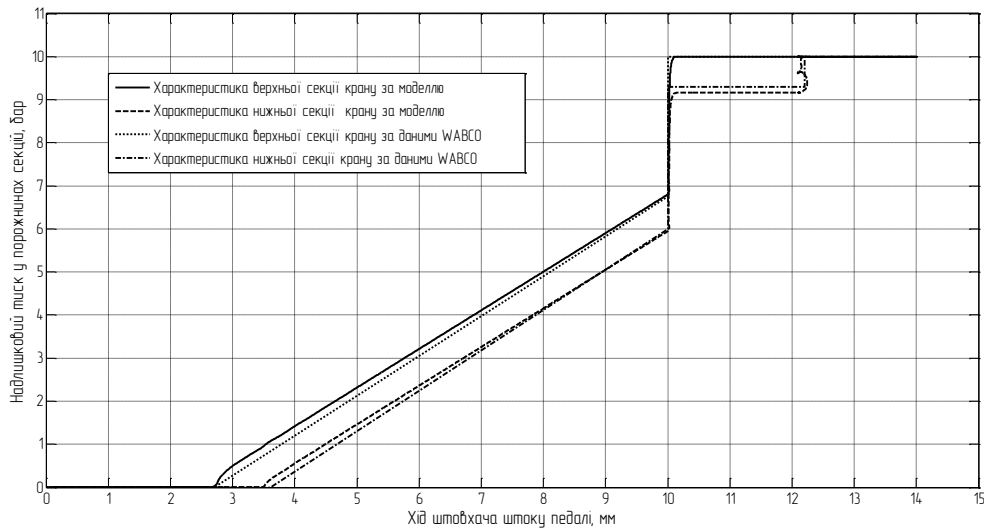


Рис. 8. Пневматична характеристика гальмівного крану EBSWABCO.

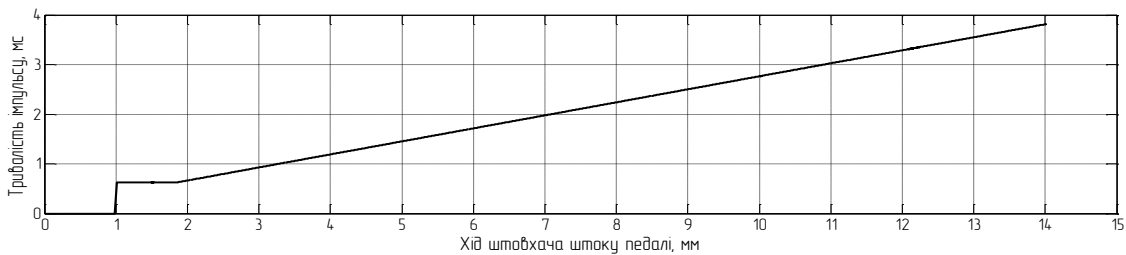


Рис. 9. Електрична характеристика гальмівного крану EBSWABCO.

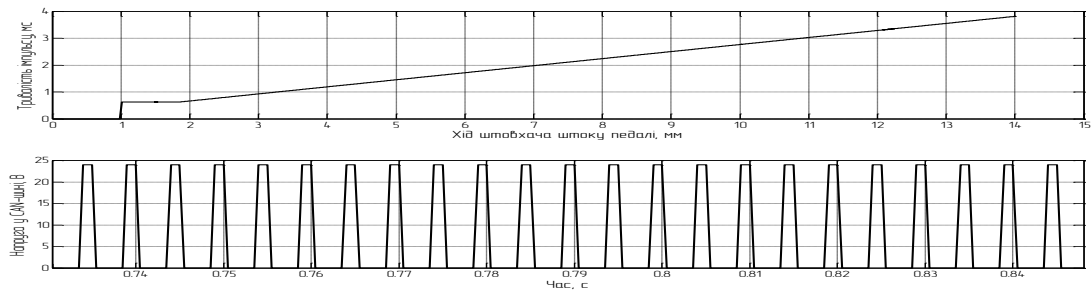


Рис. 10. ШІМ-сигнал від гальмівного крану EBSWABCO.

Висновки. Результати моделювання демонструють відтворення імітаційною моделлю крану основних характеристик з високою точністю. Треба враховувати той факт, що кожний базовий блок, з яких складаються структурні елементи, має декілька параметрів. Це призводить, у свою чергу, до багатопараметричної моделі, в якій, при нестачі технічних даних, дуже складно узгодити підсистеми між собою. Тим не менш, результати підтверджують не тільки якість структурного складу секцій крану, але й вдалу параметризацію. Таким чином, моделі секцій гальмівного крану можуть бути уніфіковані для типових пневматичних апаратів гальмівних систем. Використання останніх дозволить прискорити та удосконалити інжиніринг у сфері гальмівних систем комерційного транспорту.

1. Совершенствование способов регулирования выходных параметров тормозной системы автотранспортных средств / Туренко А.Н., Богомолов В.А., Клименко В.И., Кирчатый В.И., Ходырев С.Я. – Харьков: Издательство ХНАДУ (ХАДИ), 2002. – 400 с.
2. Автомобили: Конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть: Учеб. пособие для вузов / А.И. Гришкевич, Д.М. Ломако, В.П. Автушко и др.; Под ред. А.И. Гришкевича. – Мн.: Выш. шк., 1987. – 200 с.: ил.
3. Метлюк Н.Ф., Автушко В.П. Динамика пневматических и гидравлических приводов автомобилей. – М.: Машиностроение, 1980. – 231 с., ил.
4. Продукция компании WABCO. [Електронний ресурс]. – 2012. - Режим доступу: <http://wabco-auto.com>.
5. Simscapeexamples. [Електронний ресурс]. – 2013. - Режим доступу: <http://www.mathworks.com/help/physmod/simscape/examples/index.html>.

Стаття надійшла до редакції 30.04.2014