

УДК 629.113.014

**О.С.Лиходій**  
**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ**  
**«КЕРОВАНА ВІСЬ НАПІВПРИЧЕПА - ГІДРОПРИВОД»**

*У статті розглядаються питання імітаційного моделювання системи «керовані вісі напівпричепи - гідропривод» у середовищі Simulink/Simscapе з узгодженням електричної, гідравлічної та механічної частин системи, виконано тестування як окремих блоків системи так і системи у цілому. Отримані результати моделювання достатньо точно співпадають із попередньо заданими параметрами.*

**Ключові слова:** керована вісь, steer-by-wire, імітаційна модель.

**А.С.Лиходей**  
**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ**  
**"УПРАВЛЯЕМАЯ ОСЬ-ГИДРОПРИВОД"**

*В статье рассматриваются вопросы имитационного моделирования системы «управляемые оси полуприцепа - гидропривод» в среде Simulink/Simscapе с согласованием электрической, гидравлической и механической частей системы, выполнено тестирование как отдельных блоков системы, так и системы в целом. Полученные результаты моделирования достаточно точно совпадают с предварительно заданными параметрами.*

**Ключевые слова:** управляемая ось, steer-by-wire, имитационная модель.

**A. Lichodey**  
**SIMULATION OF SYSTEM**  
**"STEERING AXLE – HYDRODRIVE"**

*The minimizing of vehicle's designing time and cost depend on a quality of the developed computational models. That is, the computational models must be adapted to modern mathematical software such as ADAMS, MARS , etc. , to the compilation of control algorithms of developed systems, computational models must accurately reproduce real workflows . Taking into account high cost of such packages , the variant remains to create an alternative programmes using basic math software such as MATLAB and its applications Simulink / Simscapе. The MATLAB simulation allows to combine different systems (mechanical, hydraulic , electrical, pneumatic) into a comprehensive model with following direct access to the controllers creation. That system is most suitable for compiling, testing, algorithms' optimization of electrical, hydraulic and pneumatic systems' electronic control. The problem of semitrailer's steering system simulation development is in the many of system's elements technical parameters. The choice of these parameters significantly affects to receipt of adequate research results. The simulation must be coordinated by mechanical, hydraulic, electrical and electronic subsystems from overall control system. The article presents a simulation model of the "steering axle - hydraulic drive", which consists of a power supply pressurized hydraulic fluid, electro-hydraulic valve, hydraulic drive respective axis block unit of the controlled axis. The basic model's units are executed separately. To test the composed of first controlled axis model at the input of the system obeys the law of the working cylinder rod displacement from the neutral position to the end position when unfolded with further movement of the rod to the end position while storing and return the rod to the neutral position. The article ends with following conclusions . Developed Simscapе-model is convenient for usage in simulation of curvilinear articulated lorry motion with semitrailer's steered axles. It can be used for further development of semitrailer's steer algorithms. Testing of the model confirmed the correct pre-selection of design parameters of system elements. Adjusted model will enable a substantial reduction in effort and increase accuracy to assess the impact on the overall system replacing it by elements with other technical parameters.*

**Keywords:** steering axle, steer-by-wire, simulation.

**Постановка проблеми.** До загальної проблеми вдосконалення систем керування поворотом коліс напівпричепу за рахунок мінімізації кількості компонентів системи, підвищення ефективності її роботи додається проблема алгоритмізації роботи системи з безпосереднім налаштуванням контролерів. Все це можливо при розробці якісних моделей на основі імітаційного моделювання у середовищі сучасних математичних пакетів таких як ADAMS, MARS та ін. Зважаючи на високу вартість таких пакетів актуальним залишається питання створення альтернативного програмного забезпечення при використанні базових математичних пакетів таких як MATLAB.

Simulink/Simscapе моделювання у середовищі MATLAB дозволяє об'єднати різні системи (механічні, гідравлічні, електронні, пневматичні) у комплексну модель з максимальним наближенням до реалізації реальних робочих процесів систем що моделюються з подальшим виходом на безпосереднє програмування контролерів. Указана система найбільш підходить до

складання, тестування та оптимізації алгоритмів електронного керування електричними, гідравлічними та пневматичними системами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженнями динаміки руху автопоїздів з керованими осями напівпричепів вітчизняні вчені займалися з 60-тих років минулого століття, але ці дослідження стосувались тільки великогабаритних та великовагових напівпричепів. Тому, до теперішнього часу ці питання розглянуті майже у повному обсязі, та полягають у подальшому вдосконаленні алгоритмів керування такими системами. В Україні існує наукова школа на чолі з д.т.н., проф. В. П. Сахно, яка приділяє особливу увагу підвищенню маневреності автопоїздів, [2, 5]. Більш ґрунтовно питаннями вдосконалення систем керування поворотом коліс причіпних ланок займаються в Австралії, Англії, Німеччині такі вчені, як D. Sebon, C. Cheng, B.A. Jujnovich, та ін, [6]. Але, важко знайти хоча б одну наукову роботу в світі з висвітленням питань алгоритмізації керування системами повороту керованих коліс напівпричепів.

**Невирішені раніше частини загальної проблеми.** Проблема розробки імітаційної моделі системи керування поворотом коліс напівпричепа полягає у великій кількості технічних параметрів елементів системи, вибір яких значно впливає на отримання адекватних результатів дослідження. При моделюванні необхідно узгодити взаємну роботу механічної, гідравлічної, електричної та електронної підсистем загальної системи керування.

**Мета дослідження.** Розробка більш ефективного методу моделювання систем керування поворотом коліс напівпричепів на основі імітаційного моделювання у середовищі Simulink/Simscapе, [7], який найкращим чином пристосований до розробки алгоритмів керування поворотом коліс.

**Основні результати дослідження.** На рис. 1 представлена загальна імітаційна модель гідроприводу керування поворотом коліс напівпричепа. Керування системою здійснює блок 4, який складається із трьох PID-контролерів. До цього блоку надходить інформація від сенсорів кута повороту напівпричепа відносно сидельно-зчіпного пристрою тягача, лінійної швидкості руху автопоїзда, кутів повороту коліс. Крім електричних сигналів від насосу 3 надходять гідравлічні виводи: контур високого тиску «Р» та контур повернення робочої рідини до баку «Т». Залежно від інформації, що надійшла до блоку 4, за попередньо складеним алгоритмом розподілу робочої рідини між циліндрами відповідної вісі здійснюється подача рідини у необхідній кількості до відповідного об'єму циліндрів, що визначається напрямком повороту автопоїзда та різницею між теоретично необхідною та фактичною величинами кутів повороту коліс. Далі робоча рідина передається до блоків 5, 6, 7, де перетворюється гідравлічна енергія рідини у механічну енергію переміщення штока поршня, яка, у свою чергу, передається до блоків 8, 9, 10, в яких імітується процес повороту керованих коліс напівпричепа. Для забезпечення роботоспроможності системи у цілому є необхідність тестування кожного блоку окремо, тому наступним етапом окремо розглянемо блоки 3, 7 та 10.

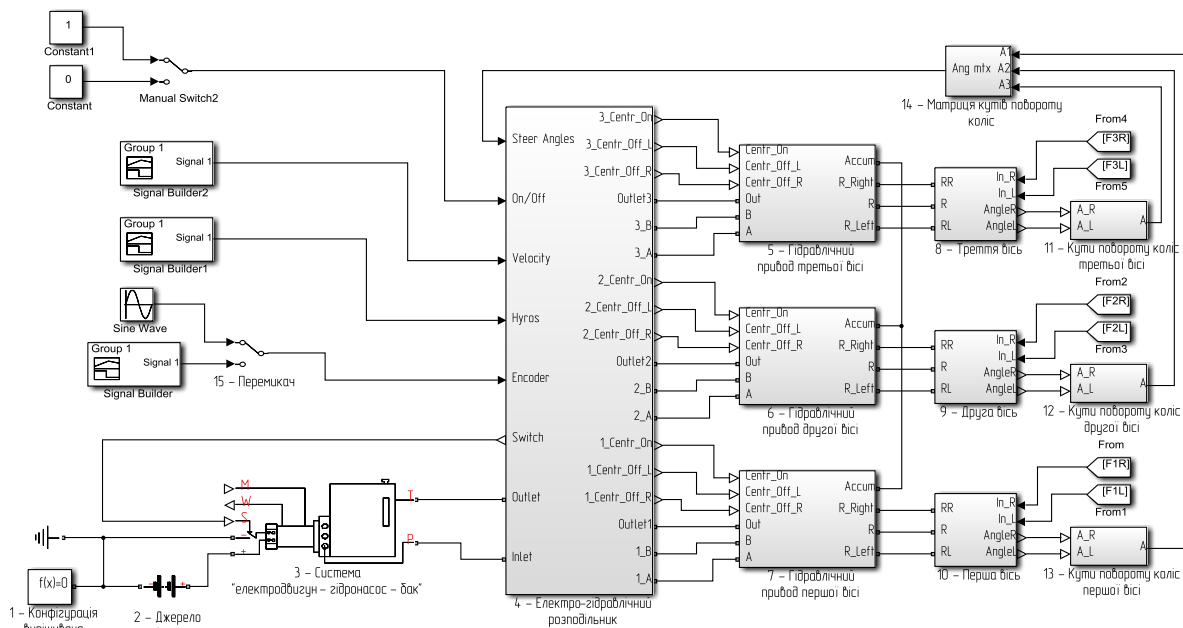


Рис. 1. Імітаційна модель системи «керовані вісі - гідропривод».

В якості безщіткового електродвигуна використовується стандартний блок Simscape «Сервомотор» 2, який живиться від акумулятора. Регулювання електродвигуном здійснюється завдяки зміні крутного моменту в залежності від частоти обертання ротору (рис. 3). Основні параметри електродвигуна прийняті за аналогом [4]: максимальна частота обертання ротору –  $3000 \text{ хв}^{-1}$ , максимальний крутний момент на роторі – 32 Нм, номінальний крутний момент при частоті обертання ротору  $1400 \text{ хв}^{-1}$  – 24 Нм. Крутний момент від ротору електродвигуна передається на фіксований насос 3, який відрегульовано на забезпечення тиску робочої рідини – 10 МПа. Попередження перевищення тиску робочої рідини більше допустимої межі виконує перепускний клапан 4.

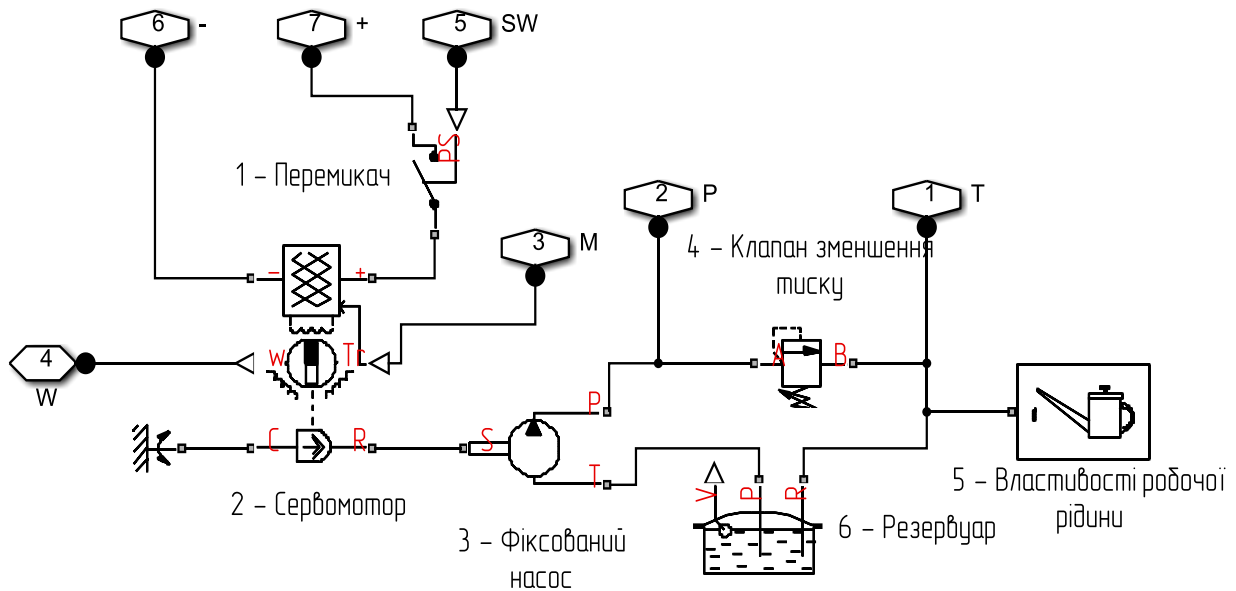


Рис. 2. Імітаційна модель «електродвигун - гідронасос - бак» (рис. 1, поз. 3).

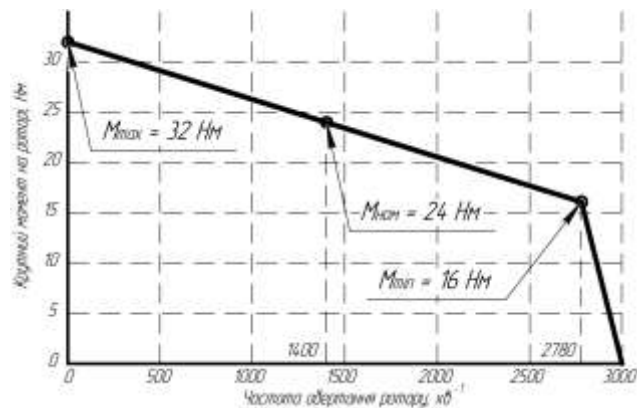


Рис. 3. Характеристика електродвигуна.

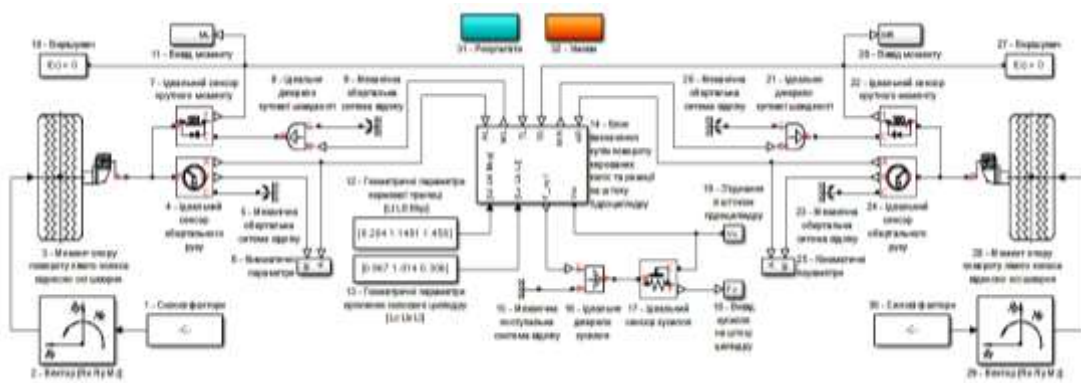


Рис. 4. Імітаційна модель керованої вісі напівпричепи (блок 10, рис. 1).

Блоки 7 та 10 (рис. 1) спочатку тестувались окремо, далі відбувалось узгодження їх взаємної роботи, в рамках статті представлено кінцевий варіант тестування зазначених блоків. На рис. 4 представлена Simscare-модель першої керованої вісі напівпричепа. Ця модель складається із блоків формування моментів опору повороту керованих коліс відносно шворнів (блоки 1-3, 28-30); блоків похідних параметрів (блоки 12, 13, 32) та блоку визначення кінематичних та динамічних параметрів системи (блок 14).

При збільшенні тиску у відповідному об'ємі гідроциліндру шток починає рух тоді, коли сила на штокові перевищить сумарну силу опору, яка приведена від лівого та правого коліс до штоку. За цих умов визначається кут повороту лівого колеса, а кут повороту правого колеса визначається з використанням поліному. Механізми отримання відповідних залежностей, використаних для складання Simscare-моделей розглянуті у попередніх роботах автора статті. Рух штоку продовжується до моменту забезпечення максимального кута повороту внутрішнього колеса. Зв'язок блоків 10 та 7 (рис. 1) здійснюється через блок 19, який для взаємного тестування є Simscare-моделлю гідроприводу (рис. 5).

Блок 19 (рис. 4), та блок 7 (рис. 1) є ідентичними, різниця полягає в тому, що у блоці 19 система «електродвигун-гідронасос-бак» представлена у спрощеному вигляді, на рис. 1 ця система представлена окремим блоком.

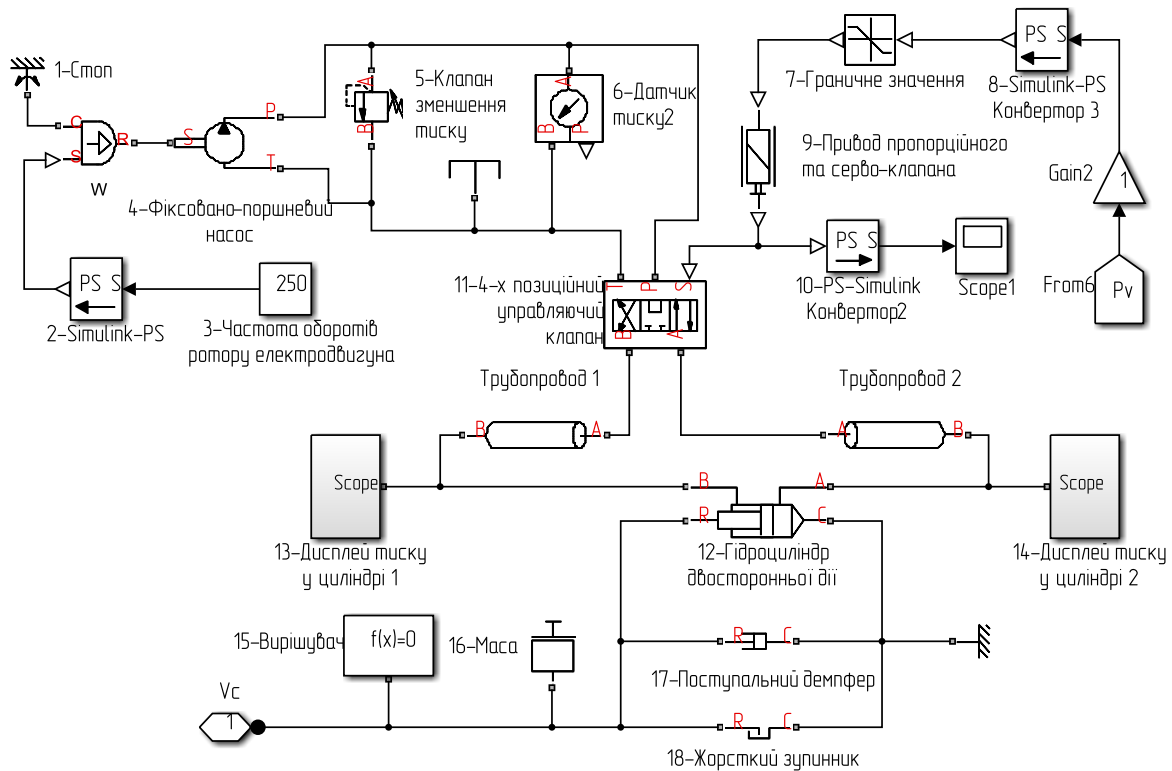


Рис. 5. Імітаційна модель гідроприводу для тестування блоку 10 (блок 19, рис. 4).

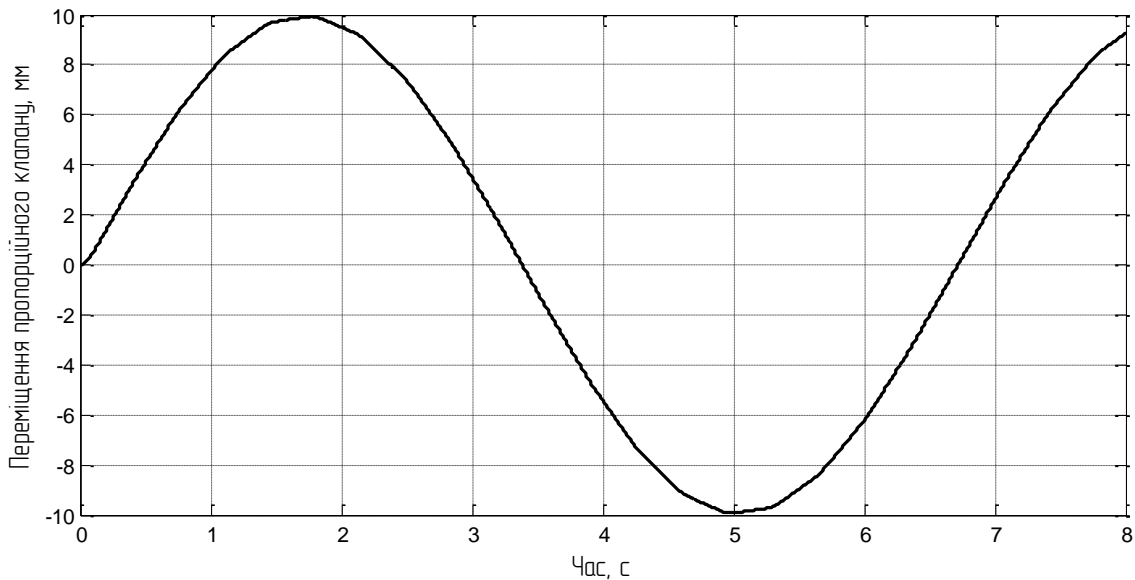


Рис. 6. Закон переміщення пропорційного клапану.

Опишемо блок-схему, що представлена на рис. 5. В якості похідних параметрів задаємо незмінну частоту обертання ротору електродвигуна  $250 \text{ хв}^{-1}$  та закон переміщення пропорційного клапана (рис. 6). При закритому положенні пропорційного клапана 9 робоча рідина перекачується гідронасосом через 4-хпозиційний управляючий клапан 11 до баку. У разі виведення клапана із нейтрального положення один об'єм гідроциліндру 12 з'єднується через 4-хпозиційний управляючий клапан 11 із магістраллю високого тиску, інший об'єм – зі зливною магістраллю. Максимальні переміщення штоку гідроциліндру обмежуються «Жорстким зупинником» 18. Параметри робочого гідроциліндру прийняті відповідно до рекомендацій [1]: діаметр поршня – 80 мм, діаметр штоку – 36 мм, максимальний хід штоку – при розгортанні циліндру 58 мм, при згортанні циліндру 45 мм, що забезпечує максимальний кут повороту внутрішнього колеса –  $10^{\circ}55'$ .

Для тестування складеної моделі першої керованої вісі на вході системи задаємо закон переміщення штоку робочого циліндру з нейтрального положення до крайнього положення при його розгортанні з наступним переміщенням штоку у крайнє положення при його сгортанні з поверненням штоку у нейтральне положення. Отримані результати кутів повороту коліс керованої вісі представлені на рис. 8, а зусилля на штокові робочого гідроциліндру на рис. 7.

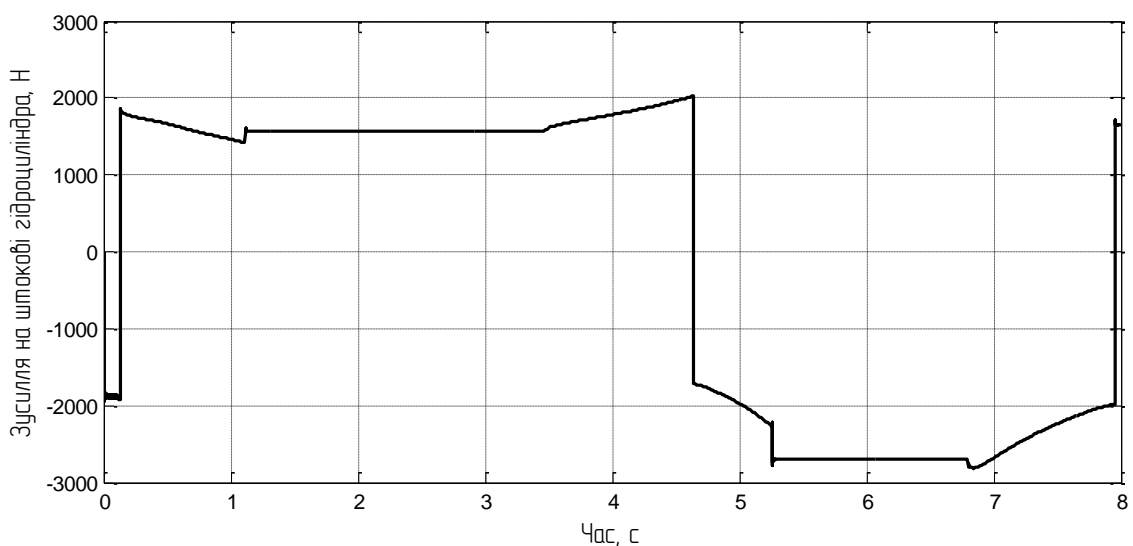


Рис. 7. Зміна величини зусилля на штокові гідроциліндру.

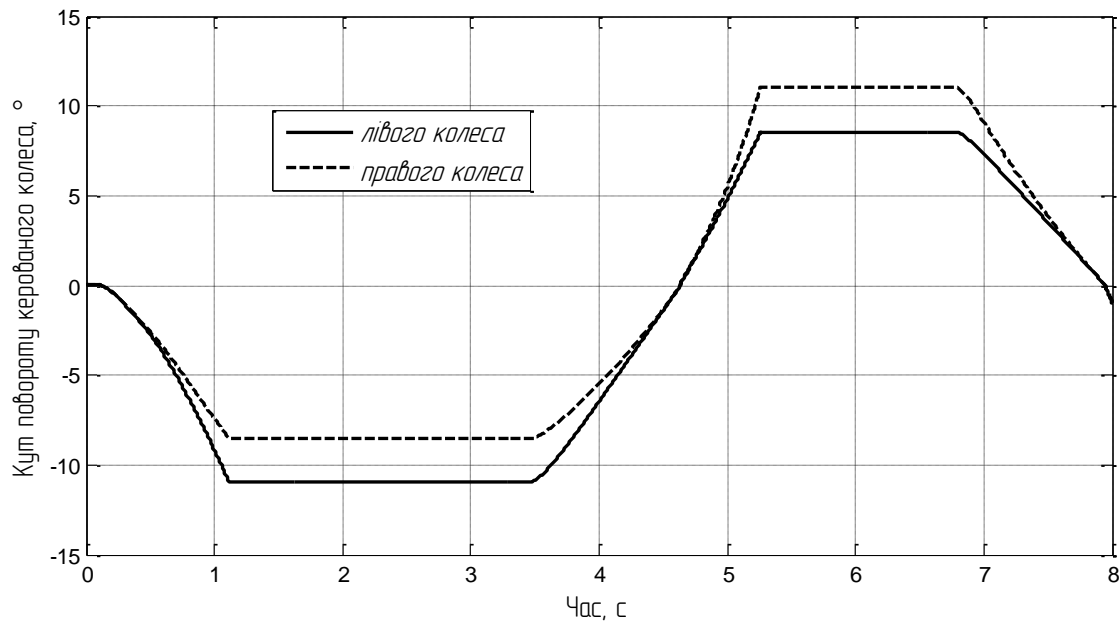


Рис. 8. Результати повороту коліс першої керованої вісі напівпричепа.

**Висновки.** Розроблена Simscare-модель системи «керовані вісі напівпричепа-гідропривод» є зручною при імітаційному моделюванні криволінійного руху автопоїзда з керованими осями напівпричепа, може бути використана для подальшої розробки алгоритмів керування поворотом коліс напівпричепа.

Тестування складеної Simscare-моделі (рис. 6, 7, 8) підтвердило правильний попередній вибір конструктивних параметрів елементів системи. Складність вибору полягає у значній кількості технічних параметрів пов'язаних між собою. Відрегульована модель дасть змогу при значному зменшенні зусиль та підвищенню точності оцінювати вплив на систему у цілому заміни її складових з іншими технічними параметрами.

1. Васильченко В. А. Гидравлическое оборудование для гидроприводов строительных, дорожных и коммунальных машин. Каталог-справочник / В. А. Васильченко, С. А. Житкова, Л. С. Акользина. – М: ЦНИИТЭстроймаш, 1978. – 476с.
2. Крестьянполь О. А. Маневреність та стійкість руху автопоїзда з самовстановленою віссю напівпричепа : автореф. дис. ... к.т.н. : 05.22.02 / О. А. Крестьянполь. – К. : НТУ, 1999. – 18 с.
3. Продукція компанії Tridex [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.tridex.nl>. – Назва з екрану.
4. Продукція компанії V.S.E. Vehicle Systems Engineering B.V. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.v-s-e.nl>. – Назва з екрану.
5. Стельмашук В. В. Поліпшення показників керованості та стійкості три ланкових автопоїздів : автореф. дис. ... к.т.н. : 05.22.02 / В. В. Стельмашук. – К. : НТУ, 2005. – 18 с.
6. Cheng, C. «High-speed optimal steering of a tractor-semitrailer» [Text] / C. Cheng, R. Roebuck, Odhams, AMC, and D. Cebon // Submitted to VSD, (in press), June 2009.
7. Simscare exemples [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mathworks.com/help/physmod/simscare/examples/index.html>. – Назва з екрану.

Надійшла до редколегії 30.04.2014