

УДК 629.3.026.12

**М. В. ДЯЧУК**, канд. техн. наук, доцент кафедри ЕРМ ДВНЗ "ІДАБА",  
Дніпропетровськ

### РОЗРОБКА МОДЕЛІ ФРИКЦІЙНОГО ЗЧЕПЛЕННЯ З ГІДРОПНЕВМАТИЧНИМ ПРИВОДОМ

Розглядаються питання побудови динамічної моделі дискового фрикційного зчеплення та його приводу засобами середовищ імітаційного моделювання Simulink/Simscape. Запропоновано моделі пневматичного підсилювача з гідравлічним слідкуючим пристроєм, виконано тестування процесу ввімкнення зчеплення при руханні з місця. Деталізація моделі зчеплення дозволяє налаштувати її за багатьма параметрами, узгоджено з конкретними конструктивними особливостями.

**Ключові слова:** дискове зчеплення, гідропневматичний привод.

**Актуальність.** Сучасні засоби комп'ютерного інжинірингу дозволяють значно підняти рівень складності задач синтезу систем транспортногo засобу. Відтворення конструктивних особливостей при складанні моделей дозволяє уточнити фізичні процеси функціонування. Останнє особливо важливе при організації систем автоматичного керування, роботизації.

Сучасні вантажні автомобілі використовують багатоступеневі коробки передач, автоматизація приводу яких є шляхом зменшення витрат палива та роботи водія з керування ТЗ. Розробка систем автоматизації керування у середовищах імітаційного моделювання повинна базуватись на адекватних моделях складових трансмісії, що потребує імітацій механічних, гідравлічних, пневматичних, електричних та інших підсистем.

**Постановка задачі.** Основною задачею на даному етапі моделювання трансмісії вантажного автомобіля є складання моделі фрикційного зчеплення з гідропневматичним приводом у середовищі Simulink/Simscape. Крім того, окремими задачами є складання моделей двигуна та елементів трансмісії, що передаватимуть зовнішні сили опору руху.

У якості об'єкту моделювання розглядається силовий привод вантажного автомобіля DAF XF95.430, що дає можливість використовувати наведені параметри.

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

**Основна частина.** Наведена структурна модель функціонування зчеплення вантажного автомобіля (рис. 1) складається з наступних елементів. Джерелом механічної енергії є двигун 1, що керується одночасно акселератором та контролером. Блок 2 уособлює параметричну модель дискового фрикційного зчеплення з діафрагмовою пружиною витягування пелюсткового типу. Навантаження формується через елементарну трансмісію 3, що відтворює опір у процесі початку руху на першій передачі. Вимикання зчеплення здійснюється штоком пневмопідсилювача 4, що має гідравлічну лінію керування (педаль зчеплення 7, головний циліндр 6, гідропровід 5) та пневматичну силову лінію (пневмопровід 9, джерело тиску 10, атмосферна система відліку 11). Початкові умови формуються блоком 14 та бездротовим засобом передаються до блоків органів керування, зокрема блоком 8 на модель педалі

© М. В. Дячук, 2014

зчеплення. Блок 15 акумулює результати моделювання та вихідні дані.  
Розглянемо деякі блоки детальніше.

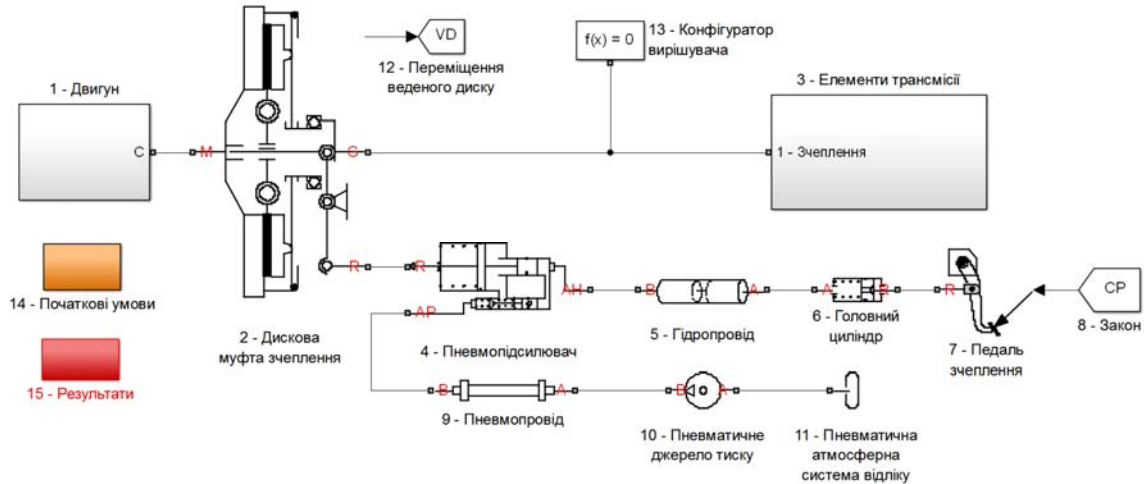


Рисунок 1 – Simulink/Simscape модель функціонування фрикційного зчеплення з гідропневмоприводом

Розглянемо модель однодискового фрикційного зчеплення з діафрагмовим пружним елементом пелюсткового типу (рис. 1, поз. 2) у розгорнутому виді на рис. 2. Модель враховує два типи руху елементів: обертальний (блоки 1-13) та поступальний (блоки 14-53). Обертальні елементи уособлюють ведучі та ведені маси, що передають крутний момент силами сухого тертя та з'єднуються стискаючим зусиллям пружного елемента. Центральними є блоки 3, 4 моделі - обертове тертя з контактним навантаженням, що визначають дві контактні поверхні веденого диску та нормальне навантаження з боку контртіл. Вхідний порт 1 обертального руху забезпечує механічний зв'язок з валом ДВЗ; інерція маховика, натискного диску та інших ведучих елементів представлена блоком 2, а інерція веденого диску - блоком 5. Ведучі обертові маси 2 під'єднані до портів **B** (Base) блоків 3, 4, а ведені 5 - до портів **F** (Follow). Таким чином, ступінь зв'язку між цими портами залежить від значення фізичних сигналів, що формуються на порти **N** блоків 3, 4. Обертовий демпфер 6 спрацьовує, коли зчеплення вимикається, та імітує підшипникове з'єднання валів двигуна та первинного валу КЗП.

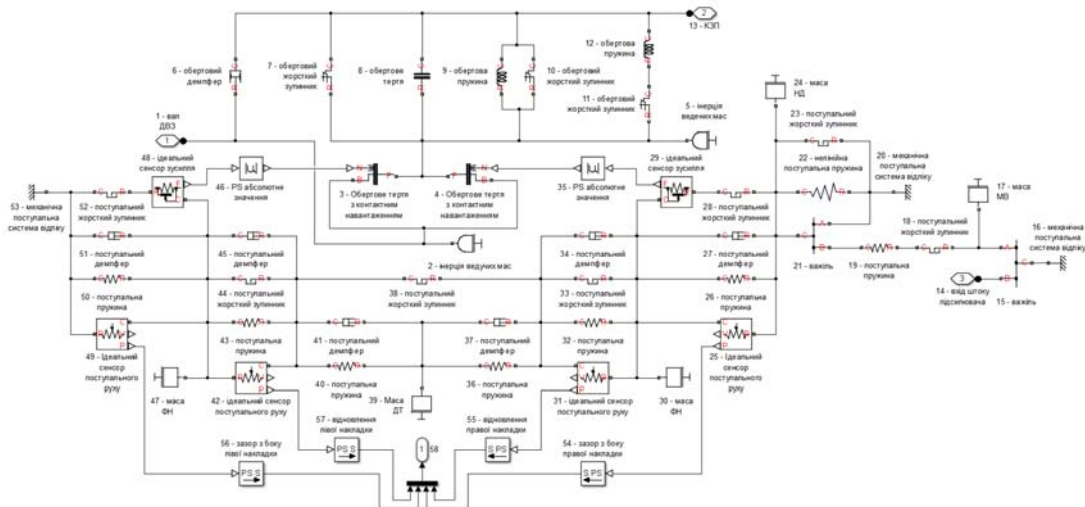


Рисунок 2 – Структурна Simscape-модель фрикційного зчеплення (рис. 1, поз. 2)

Блоки 7-12 моделюють двоступінчастий гасник крутильних коливань. Пружини демпферу визначено обертовою пружиною 9, яка встановлена з попереднім скручуванням в умовах обмеження кутового переміщення обертовим жорстким зупинником 10. Тобто, спрацювання пружини демпферу можливе тільки при перевищенні крутного моменту відповідно до її попередньої деформації. Обертовий жорсткий зупинник 11 вмикається тільки після вибору певного кута закручування маточини гасника та підключає додаткову обертову пружину 12 другої ступені. Власне гасіння відбувається завдяки блоку 8 - обертове тертя, а максимальні кути закручування демпферу обмежуються обертовим зупинником 7.

Перейдемо до поступальних елементів. Вхідний порт 14 дозволяє передавати зусилля від штоку підсилювача до важеля 15 муфти вимикання 17 (задана масою) через опору 16 (механічна поступальна система відліку). Поступальний жорсткий зупинник 18 моделює зазор між муфтою вимикання зчеплення та упорним кільцем, яке передає тиск на гнучкі пелюстки (поступальна пружина 19) діафрагмового натискного пристрою. Передавальне число діафрагмової пружини у частині руху як жорсткої балки моделюється важелем 21, плечі якого відповідають опорним діаметрам тарілчастої пружини. Враховуючи, що у даному випадку зчеплення з витягувальною пружиною, порт А важелю 21 фіксується на механічній поступальній системі відліку 20, а для відведення натискного диску, що представлено масою 24, залучається порт С. Переміщення натискного диску (маса 24) обмежується поступальним жорстким зупинником 23. Центральним елементом цієї частини є нелінійна поступальна пружина 22, що використовує розрахункову характеристику взаємодії пелюсткової пружини та натискного диску у вигляді інтерполяційного поліному. Ведений диск моделюється складеним елементом з осьовою податливістю як від деформування фрикційних накладок, так і від диску-тримача. Пружно-дисипативні властивості накладок забезпечуються блоками 32, 34 (права накладка) та 43, 45 (ліва накладка). Блоки 33 та 44 обмежують лінійну деформацію накладок, які представлені масами 30 (права накладка) та 42 (ліва накладка). Пружно-дисипативні властивості диску-тримача (маса 39) забезпечують блоки 36, 37 (праворуч) та 40, 41 (ліворуч); поступальний жорсткий зупинник 38 обмежує осьову податливість металевого диску-тримача. Власне контактні зусилля, що передаються до портів N блоків 3 та 4, формуються блоками 28 та 52 - поступальними жорсткими зупинниками - праворуч та ліворуч відповідно. Ідентифікація зусиль забезпечується ідеальними сенсорами 29 та 48, а блоки 35 та 46 передають саме модульні значення контактних зусиль. Таким чином, якщо пружина 22 через натискний диск 24 формує активне зусилля на праву накладку, то ліва накладка отримує реактивне зусилля від нерухомого маховика, що у поступальній формі задається блоком 53 - механічною системою відліку. Власне, зазори у парах тертя створюються у блоках 28 та 52. Елементи 26, 27 та 50, 51 забезпечують гарантовані зазори та імітують поступальне переміщення маточини веденого диску по шліцьовій частині вихідного валу 13. Вимірювання деформацій накладок забезпечується ідеальними сенсорами поступального руху 31 та 42, а зазорів у парах тертя - сенсорами 25 та 49. Вихідний порт 58 акумулює вказані переміщення через конвертори 54-57 сигналів сенсорів.

Тепер розглянемо гідропневматичний підсилювач зчеплення (див. рис. 1, поз. 4) у розгорнутому виді (рис. 3). Рідина під тиском надходить до гідравлічного порту 1. Структурну схему умовно можна поділити на дві частини: керуючу та силову. При тому, за для реалізації слідкуючої дії виконуючі гідравлічні та пневматичні елементи цих двох гілок пов'язані з керуючими.

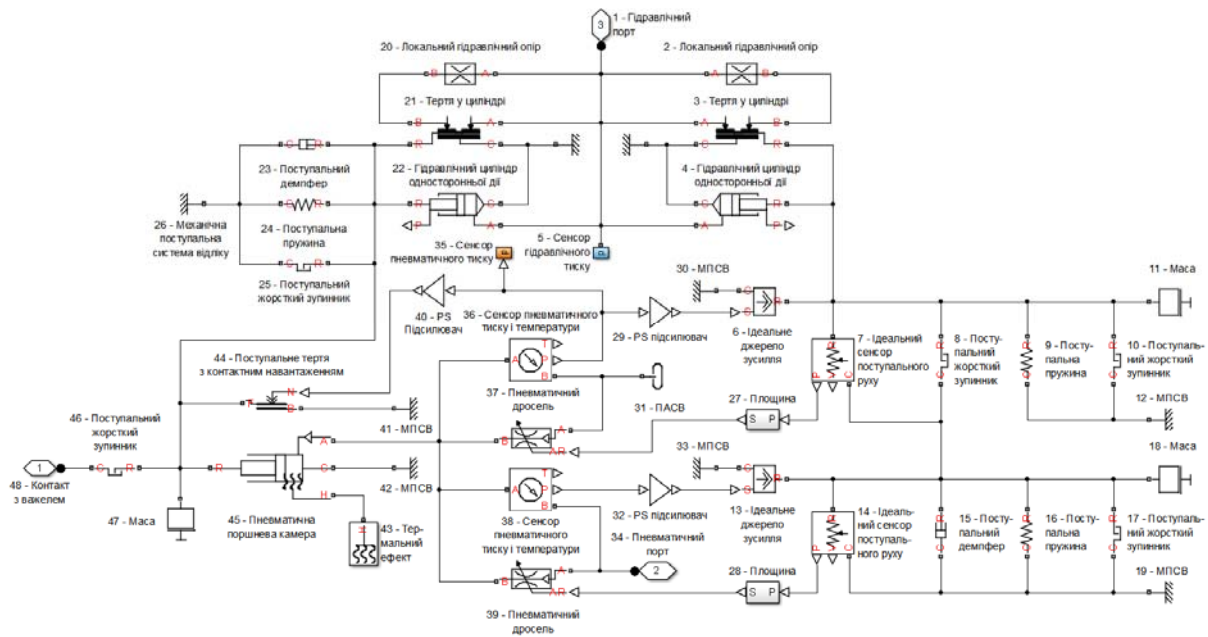


Рисунок 3 – Структурна Simscape-модель пневмопідсилювача зчеплення (рис. 1, поз. 4)

Рухлива частина гідроциліндру 4 виконує роль слідкуючого поршню, який має зв'язок зі стінками циліндру через манжети грузним опором та сухим тертям у блоці 3. Нерухливі частини об'єднані портами С та фіксовані. Тиск ззовні манжети менший за внутрішній, тому до порту В блоку 3 рідина надходить через місцевий гідравлічний опір 2. Значення гідравлічного тиску фіксується сенсором 5. Слідкуючий поршень має інерційні властивості, що імітуються масою 11. Рух поршню обмежується поступальним жорстким зупинником 10, а зворотний хід - поступальною пружиною 9, фіксованими відносно механічної поступальної системи відліку 12. Поступальний жорсткий зупинник 8 імітує зазор, необхідний для випуску повітря, між пневматичним клапаном та слідкуючим поршнем. Вимірювання зазору забезпечується сенсором поступального руху 7. Пневматичний клапан імітовано масою 18. Рух клапану обмежується поступальним жорстким зупинником 17, а зворотний хід - поступальною пружиною 16, фіксованими відносно механічної поступальної системи відліку 19. Роботу пружини 16 зм'якшує поступальний демпфер 15. Вимірювання ходу клапану забезпечується сенсором поступального руху 14.

Одночасно тиск рідини діє на гідравлічний поршень 22 підсилювача, який послідовно задіяний з пневматичним поршнем 47 пневматичного циліндру 45. Враховуючи значне зустрічне зусилля опору, у перші моменти гідравлічний поршень майже не рухається. Блок 21 імітує манжетний опір руху під тиском рідини. З боку пневматичного циліндру тиск на манжету зменшено введенням локального гідравлічного опору 20. Хід штоку підсилювача обмежується поступальним жорстким зупинником 25 відносно механічної поступальної системи відліку 26, а пружна та демпферна дії забезпечуються поступальними блоками 24 та 23 відповідно. Манжета пневматичного циліндру також додає опору руху, тому введений блок поступального тертя з контактним навантаженням 44. Його порт В фіксовано відносно механічної поступальної системи відліку 41, а порт F з'єднаний з портом R штоку пневматичної камери 45, корпус якої фіксований відносно механічної поступальної системи відліку 42. Через поступальний жорсткий зупинник 46 після вибору зазору зусилля передається на вихідний порт 48 для контакту х важелем муфти вимикання зчеплення.

Тепер з'ясуємо яким чином відбувається дроселювання. Утворення кільцевих каналів фіксується сенсорами поступального руху 7 та 14 плунжеру та клапану відповідно. У блоках 26, 27 фізичний сигнал ходу перетворюється на площини прохідних отворів повітря з тією різницею, що при позитивному ході плунжеру площа перетину зменшується, тобто отвір закривається та ізолюється від навколишнього повітряного середовища. Площина перетину у блоці 26 почне утворюватися тільки після упору плунжеру у пневматичний клапан. Значення площин подаються до портів **AR** пневматичних дроселів 37 та 39, які під'єднані до порту **A** пневматичного циліндру 45. Спочатку порт **A** дроселю 37 сполучується з атмосферним тиском через блок 31 – пневматична атмосферна система відліку. Дросель 39 при цьому закритий. Диференціальний сенсор тиску повітря 36 вимірює різницю тиску перед та за дроселем. У блоці 29 значення диференційного тиску помножується на значення площини перетину плунжеру 4 у пневматичній частині. Отримане значення через порт фізичного сигналу **S** надходить до ідеального джерела зусилля 6, яке дозволяє змоделювати реактивну дію стислого повітря на плунжер, а отже і слідкуючу дію. Значення пневматичного тиску передається до результатів через сенсор 35. Блок 40 дозволяє перевести диференціальний тиск у зусилля, що нормально діє на стінки пневматичної манжети та передається до порту **N** блоку 44. Блок 34 є вхідним пневматичним портом, під'єднаним до порту **A** дроселю 39. Сенсор тиску 38 забезпечує значення різниць тиску на вході та виході дроселю 39. У блоці 32 цей сигнал підсилюється площиною клапану та у виді зусилля, що намагається закрити клапан, подається до порту фізичного сигналу **S** ідеального джерела зусилля 13.

Термальний ефект тепловідведення забезпечує блок 43, під'єднаний до порту **H** пневмоциліндру 45.

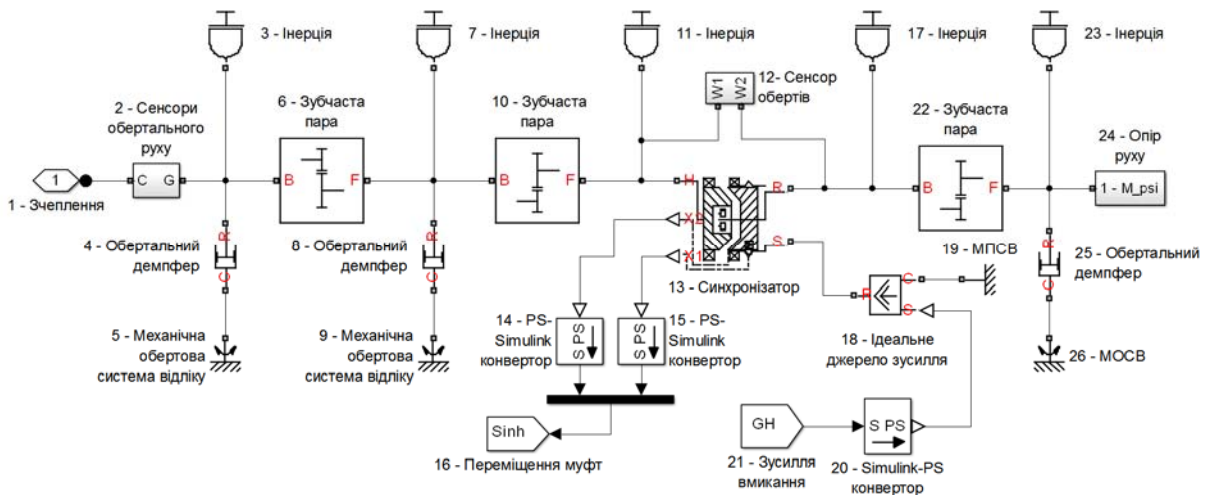


Рисунок 4 – Структурна Simscape-модель трансмісії на першій передачі (рис. 1, поз. 9)

Моделювання навантаження на зчеплення виконується для випадку рухання з місця на першій передачі (рис. 1, поз. 9). Для цього складемо модель двоступеневої передачі з вмиканням синхронізатором (рис. 4). Підключення блоку навантаження здійснюється через вхідний порт 1 - зчеплення. Для оцінки обертів та крутного моменту первинного валу використовується сенсор обертального руху 2. Інерція 3 уособлює обертові маси первинного валу КЗП. Обертальні демпфери 4, 8, 25 імітують втрати у підшипниках кочення відносно корпусу, який об'єднано механічними обертливими системами відліку 5, 9, 26. Пара постійного зачеплення 6 приводить

проміжний вал, інерційні властивості якого зведені до блоку 7. Зубчаста пара першої передачі 10 під'єднана до порту **H** синхронізатору 13 з загальною інерцією 11. Порт **R** синхронізатору зв'язаний з вихідним валом та карданною передачею, які моделюються інерцією 17. Порт **S** синхронізатору дозволяє задавати поступальне переміщення напівмуфти для замикання портів **H** та **R**. При цьому порт **X1** дозволяє вивести значення переміщення синхронізуючого елемента, а порт **X2** - переміщення зубчастої муфти. Після конвертації сигналів у блоках 14, 15 переміщення деталей синхронізатору записується у результати через блок 16 бездротової передачі даних. Переміщення муфти синхронізатору відбувається під дією зусилля, що генерується блоком 18 відносно механічної поступальної системи 19. Значення та форма сигналу отримується на блок 21 бездротовим засобом, а потім конвертується у розмірний сигнал блоком 20. Останній елемент трансмісії - головна передача, що моделюється зубчастою парою 22 з інерцією піввісей та коліс 23. Опір коченню задається блоком 24.

**Результати досліджень.** Розглянемо процес рушання з місця на нульовому підйомі. На рис. 5 наведені форми законів впливу на органи керування, які після підсилення конвертуються у фізичні сигнали. Так, зусилля на педалі зчеплення та рукоятці важеля перемикавання передач не перевищує 80 Н. На рис. 6 представлений результат у виді зміни кутових швидкостей агрегатів силової передачі. Як видно, на часі 1 с зчеплення вмикається і криві кутових швидкостей валу двигуна та первинного валу КЗП розділюються. У період часу 1-2.5 с лінійно на важелі підвищується сила. Кутова швидкість первинного валу КЗП стрімко зменшується у процесі синхронізації, а з часу 2.37 с вмикається передача. З часу 2.5 с швидкість валу двигуна підвищується акселератором і повільно зменшується зусилля утримання педалі зчеплення. Приблизно з часу 3.4 с спостерігається повне вмикання і вали двигуна та первинний КЗП обертаються майже як одне ціле. Далі відбувається розгін зі зменшенням подачі палива. При цьому видно, що закони кутових швидкостей відрізняються тільки масштабом, рівним загальному передавальному числу трансмісії.

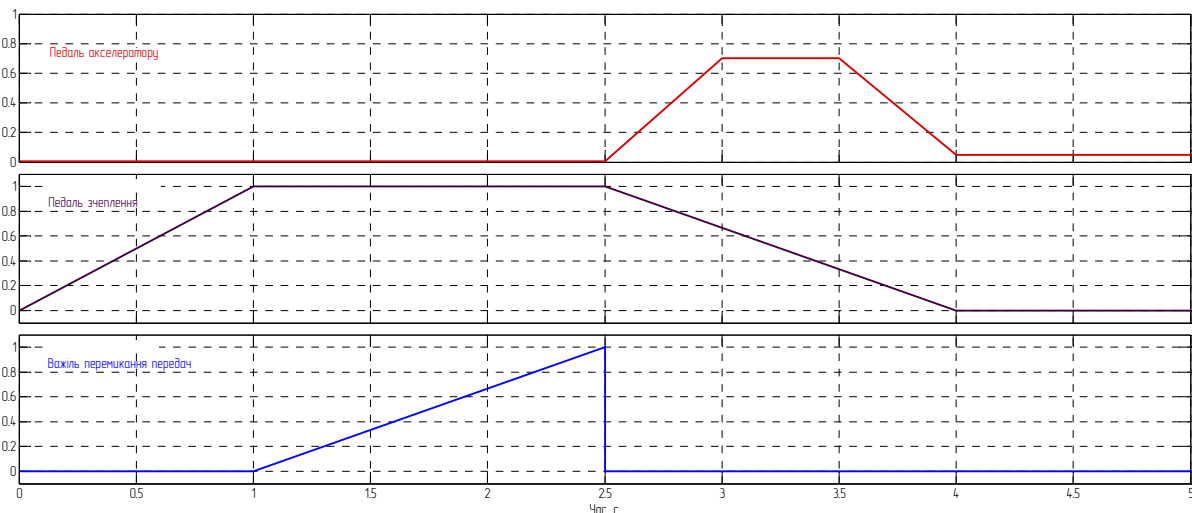


Рисунок 5 – Форми законів на органах керування при рушанні

Численність вихідних параметрів не дозволяє відобразити їх у статті, тому представлено найбільш показові кінематичні вихідні параметри функціонування моделі зчеплення. Загалом, результат даного етапу дослідження - якісна оцінка проміжної моделі трансмісії вантажного автомобіля. Основна мета розробки - перспектива



інтеграції моделі трансмісії з логічними контролерами, що дасть можливість створювати алгоритми керування та прототипи роботизованих мехатронних трансмісій.

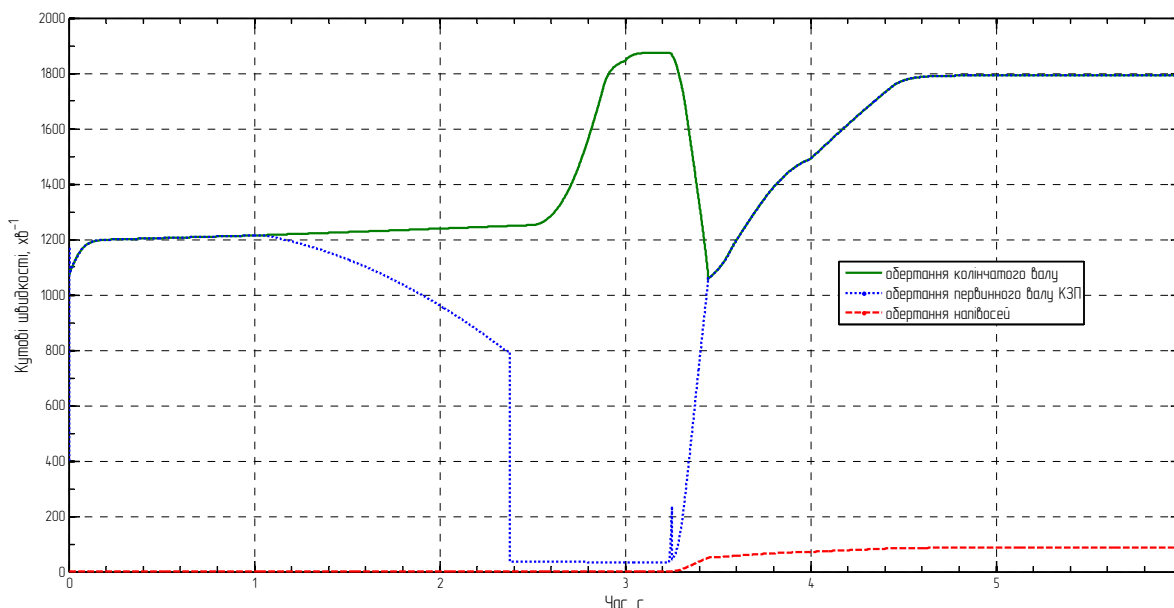


Рисунок 6 – Результат моделювання робочого процесу ввімкнення зчеплення

**Висновки.** Завданням цієї частини дослідження було встановлення працеспроможності моделі зчеплення з урахуванням особливостей його конструкції та приводу, стійкості процесу вмикання та відтворення характеру зміни тиску у парах тертя. Деталізація моделі зчеплення дозволяє налаштувати її за багатьма параметрами, узгоджено з конкретними конструктивними особливостями.

**Список літератури:** 1. Грузовые автомобили DAF-XF95, руководство по ремонту, схемы электрооборудования [Текст] / Н. П. Сизов. – Санкт Петербург.: ООО "Издательство Диез", 2009. – 616 с. 2. *Simscape examples*. [Електронний ресурс]. – 2013. - Режим доступу: <http://www.mathworks.com/help/phymod/simscape/examples/index.html>.

Надійшла до редколегії 06.03.2014

УДК 629.3.026.12

**Розробка моделі фрикційного зчеплення з гідропневматичним приводом / М. В. Дячук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 8 (1051). – С. 155-161. – Бібліогр.: 2 назв. – ISSN 2078-6840.**

Рассматриваются вопросы построения динамической модели фрикционного сцепления и его привода средствами среды имитационного моделирования Simulink/Simscape. Предложены модели пневматического усилителя с гидравлическим следящим устройством, выполнено тестирование процесса включения сцепления при трогании с места.

**Ключевые слова:** дисковое сцепление, гидропневматический привод.

**Development to models of the friction traction with hydropneumatic cause / M. V. Dyachuk // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car- and tractorbuilding. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – № 8 (1051). – P. 155-161. – Bibliogr.: 2. – ISSN 2078-6840.**

The issues of friction clutch and its drive simulation by Simulink/Simscape software are considered. The pneumatic booster model with hydraulic sensing device is proposed; the testing of clutch switching in process of start from equilibrium state is executed.

**Keywords:** disk clutch, hydropneumatic drive.