

УДК 629.113

П.О.Гуменюк

Національний транспортний університет

## РОЗРОБКА МАСШТАБОВАНОЇ МОДЕЛІ АВТОПОЇЗДА

*В роботі наведено підхід до розробки керованої моделі сідельного тягача з напівпричепом у масштабі, описана розроблена модель автопоїзда і приведені параметри діючої моделі.*

Ключові слова: автопоїзд, модель

**Постановка проблеми.** Моделювання представляє один з основних методів пізнання, є формою відображення дійсності і полягає в дослідженні властивостей реальних об'єктів, процесів, явищ або з допомогою абстрактного опису. У багатьох випадках важко передбачити результат певної події без експерименту, але сам експеримент неможливо втілити з різних причин (наприклад, вартість чи безпека). В таких випадках доцільно застосовувати моделювання. Для різних задач можна використовувати різні види моделювання.

**Аналіз досліджень.** Для математичної моделі не потрібно використовувати реальний об'єкт дослідження, достатньо описати математично його властивості. Разом з тим, важко, а іноді і неможливо повністю описати предмет дослідження, і, як наслідок, доводиться нехтувати частиною параметрів. У одних випадках таке спрощення допустиме, у інших може відчутно змінити результат.

Фізичною моделлю є зменшена копія об'єкта дослідження, наділена тими ж фізичними властивостями, що і оригінал, і експеримент проводиться з моделлю. Для фізичної моделі не обов'язкова модель математична, отже спрощуються розрахунки, а дані можна отримувати напряму з об'єкта дослідження, використовуючи датчики, записуючі елементи і т.п., а рух задавати виконавчими пристроями. Разом з тим, точність результатів залежить від точності копіювання оригіналу.

Комп'ютерна модель гарно і наочно показує хід експерименту, її зручно застосовувати до складних систем, коли фізичну модель будувати не вигідно, а аналітичні дослідження занадто складні.

При інтегруванні комп'ютерних елементів у системи керування та безпеки транспортних засобів постановка реального експерименту зазвичай непрактична. Наприклад, для перевірки рішень і контролюючих алгоритмів додатків інтелектуальних транспортних систем [1] потрібно було б кілька автомобілів і водіїв, для чого необхідно було б знайти площу для маневрів, кошти на ремонт машин у випадку проблем реалізації алгоритмів і сам експеримент становив би загрозу здоров'ю і життю людей. Тому для проведення експерименту було створено тестовий стенд, що використовує масштабовані копії реальних автомобілів. Так само корисно використовувати масштабовані копії для розробки, перевірки і дослідження роботи різних типів приводів [2], систем активної і пасивної безпеки, нових об'єктів, здатних їздити, плавати чи літати, тощо.

Як і для легкового транспорту, для перевірки поведінки багатоланкових автопоїздів також корисно застосовувати моделювання. Найкращий результат можна отримати поєднанням фізичної моделі з математичною. У цьому випадку фізична модель перекриє деякі недоліки математичної: будуть враховуватись величини, які нехтуються математично для спрощення розрахунків і мало чи й зовсім не впливають на результат, однак за певних умов кінцевий результат може від них незначно змінюватись (наприклад, у автомобільній моделі це може бути жорсткість шини, кут відведення, тертя при дослідженні питань керованості). Аналогічно, математична модель покращується виконанням фізичної, дозволяючи виконавчим механізмам задавати точнішу поведінку, в тому числі залежно від даних, отриманих з датчиків.

Для розробки моделі перш за все потрібно визначити величини, з якими виконавець буде працювати. Важливо визначити розмірність (розмірна чи безрозмірна величина) і похідність (які величини будуть прийняті за базові, а які можна визначити з інших). Для вивчення механічних явищ достатньо ввести три основні одиниці виміру: для довжини, маси або сили і часу. Залежність одиниці виміру похідної величини від одиниць виміру базових величин можна представити у вигляді формули, яка називається формулою розмірності. Для визначення фізичної подібності найбільше поширена на даний час система розмірності СГС (названа за розмірностями базових

величин сантиметр, грам, секунда) [3]. У даній системі розмірності всіх фізичних величин мають вигляд степеневого одночлена:

$$L^1 M^m T^t \quad (1)$$

При розрахунку подібності прийнято використовувати  $\pi$ -теорему, згідно з якою для побудови моделі необхідно і достатньо  $p=n-k$  безрозмірних величин, де  $n$  – кількість фізичних змінних, які описуються за допомогою  $k$  фундаментальних фізичних величин. З  $\pi$ -теорему випливає, що якщо дві динамічні системи описані однаковими дифференціями, то рішення дифференціальних буде масштабно незмінним при тих самих  $\pi$  групах. Щоб модель була динамічно подібна до оригіналу, величини цих  $\pi$  груп повинні бути однакові для обох систем. Базуючись на цій ідеї, можна підібрати параметри моделі, відповідні реальним.

**Матеріали дослідження.** В якості оригіналу для моделювання було обрано тривісний сідельний тягач Камаз і тривісний напівпричіп з керованою задньою віссю Schmitz Cargobull. Масштаб для зменшення 1:20. Довжина шасі реального і зменшеного автомобіля є фіксованою. Повна довжина моделі тягача 330мм, колісна база 150мм, відстань між середньою і задньою осями 70мм, колія 125мм, висота сидла 65мм. Повна довжина напівпричепа 670мм, відстань від точки зчеплення з тягачем до першої осі 404мм, від першої до другої осі 65мм, від другої осі до задньої, керованої 90мм, від третьої осі до кінця причепа 96мм, колія 120мм. Рама зроблена з алюмінієвих пластин товщиною 1 мм. Даний матеріал легко піддається обробці, дозволяє швидко і просто замінювати елементи, а також підгонку отворів для кріплення зчитуючих пристроїв. Розмір шин моделі розраховується прирівнюванням  $\pi$  групи, що відповідає розміру шин зменшеної копії, до  $\pi$  групи реального автомобіля, що є

$$(R/l)_{\text{оригіналу}} = (R/l)_{\text{моделі}} \quad (2)$$

Розмір шин тягача 315/80 R22,5; напівпричіп використовує шини 385/65 R22,5. Підставляючи значення оригіналу, отримуємо  $R_{\text{моделі}} = 52$ мм. Ширина шин моделі тягача 16мм, напівпричепа 20мм. З наявних коліс було обрано найбільш підходящі за розмірами, їхня ширина для моделі тягача  $d = 17$  мм і радіус  $R = 50$  мм; для моделі напівпричепа ширина  $d = 20$  мм і радіус  $R = 50$  мм. Для обчислення маси моделі припускаємо, що густина моделі і оригіналу однакова, тоді з подібності

$$(\rho l^3/m)_{\text{моделі}} = (\rho l^3/m)_{\text{оригіналу}} \quad (3)$$

отримуємо споряджену масу моделі тягача 1,25кг, масу моделі напівпричепа при максимальному завантаженні 4,5кг. Модель приводиться у рух двома електромоторами, від яких крутний момент передається через редуктор на півосі. Редуктор складається з чотирьох шестерень на кожну піввісь, одна з яких входить у зчеплення з шестернею на моторі. Дана система залежно від розміщення шестерень дозволяє отримати передатне відношення 203:1 або 58:1. управління керованими осями здійснюється за допомогою сервоприводів TowerPro SG90 і рульових трапецій, що закріплені на поворотних кулаках коліс керованих осей. Кут повороту даного сервопривода  $90^\circ$ , затримка становить 7 мікросекунд, що робить його зручним для використання в задачах керування. Для амортизації осі кріплення поворотних кулаків містять закріплені на них пружини, приєднані до рами. Напрямок руху, швидкість задаються контролером AVR ATmega328P, який розміщений на борту моделі. Керівний алгоритм для задання траєкторії руху отримує дані з датчиків, розміщених на моделі (такі, як наявність напівпричепа, кут складання, відстань до інших об'єктів, тощо) і оптимізує курс.

**Висновки.** Розроблена модель автопоїзда дозволяє швидко і безпечно перевіряти алгоритми керування, виконувати маневри для перевірки стійкості, а також виключає можливість серйозних витрат у випадку провалу роботи алгоритму.

1. Rajeev V. Longitudinal vehicle dynamics scaling and implementation on a HIL setup. - DSCC2008, USA. – 2008.
2. Petersheim M.D., Brennan S.N. Scaling of hybrid-electric vehicle powertrain components for Hardware-in-the-loop simulation // Mechatronics19. – The Pennsylvania State University, USA. – 2009.
3. Седов А.В. Моделирование объектов с дискретно-распределенными параметрами. – М.:Наука. – 2010.
4. Абрамов А.М., Ковалев А.С. Управление динамикой движения седельных автопоездов// Сборник статей 7-й международной научно-практической конференции.- С.-П.:2006.