

УДК 681.5.015, 681.5.017, 656.136, 004.94

Р.І. Лисенко, П.О. Гуменюк, В.В. Лотиш  
Луцький національний технічний університет

## КОМП'ЮТЕРНЕ ТА ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ СІДЕЛЬНОГО АВТОПОЇЗДУ

*Розглянуто проблеми динаміки руху транспортного засобу з причепним обладнанням, обгрунтовано створення фізичної моделі та побудовано імітаційну модель.*

*Ключові слова: модель, транспортний засіб, причеп.*

### **Вступ**

В багатьох галузях промисловості широко використовуються сидельні автопоїзди для переміщення вантажів різноманітних розмірів та маси. Експлуатація транспортних засобів відбувається на різних дорожніх полотнах та часто при несприятливих погодних умовах, що безпосередньо впливає на керованість та стійкість автомобіля [1-2]. Як наслідок, існує небезпека бокового перекидання або складання автопоїзду, що призведе до виникнення дорожньо-транспортної пригоди на проїжджій частині.

Для запобігання виникнення подібних ситуацій застосовуються системи активної безпеки — антиблокувальна система гальмування (ABS) та система стабілізації стійкості (ESP). Але застосування даних технологій не може усунути всі негативні фактори впливу на об'єкт. Також вони не є досконалими при використанні на транспортних засобах з причепним обладнанням, де значний вплив на траєкторію та характер руху автомобіля мають напівпричепа з високо розташованим центром мас. Доцільним є створення автоматизованої системи управління, що дозволить корегувати роботу цих систем та керувати гальмівною системою по відповідних алгоритмах, в яких враховано чинники, що виникають при критичних ситуаціях.

### **Постановка задачі**

Розробка алгоритмів для створення автоматизованої системи керування потребує інформації про динаміку руху транспортного засобу та її залежності від зовнішніх факторів. Використання реальних об'єктів для проведення експериментальних досліджень є досить затратним та небезпечним. Одним з методів вирішення цієї проблеми є моделювання таких процесів.

Розробка імітаційної моделі руху об'єкта з причепом вирішує проблему дослідження динаміки транспортного засобу. Використовуючи модель, реалізується можливість дослідження факторів впливу на стабільність руху даного об'єкта без проведення експериментів.

### **Алгоритм роботи**

Радіус повороту автомобіля вираховується залежно від повороту передніх коліс. Це буде перпендикуляр, проведений до осі колеса, відсічений лінією, що знаходиться рівно посередині між осями задніх коліс та є паралельною до них (рис.1).

$$R = \frac{L}{\sin(\alpha)}$$

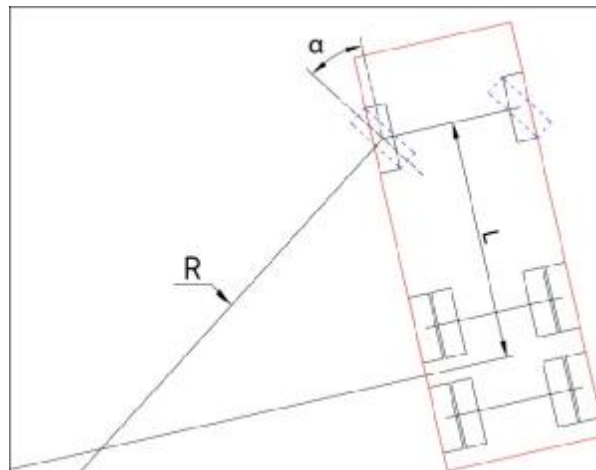


Рис. 1 Залежність радіусу розвороту від кута повороту передніх коліс

При русі транспортного засобу з причепом, зокрема при різких поворотах або розворотах об'єкта, може виникнути ситуація так званого "складання", відображена на рис 2. Складання - це фактично контакт відповідного борту причепа з боковою стороною тягача. Пунктирною лінією на рисунку показано максимально можливий "виліт" причепа. Враховуючи це, можна визначити точки контакту при складанні. Побудувавши напрямні вектори по цих точках, беручи за початок вектора центр сидла, отримуємо два вектори, по колінеарності яких можна судити про складання автопоїзда.

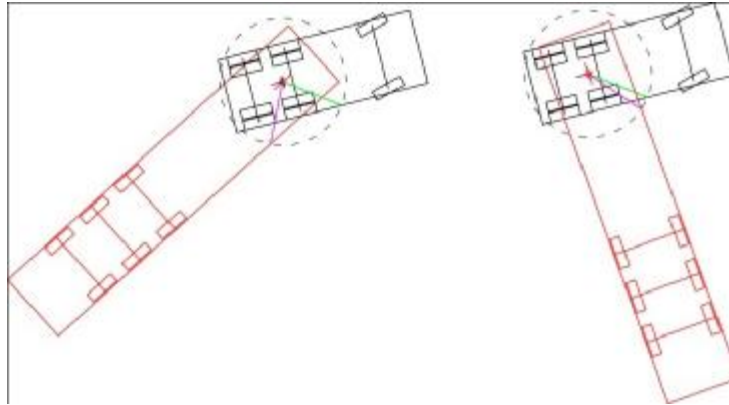


Рис. 2 Ситуація складання автопоїзда

В даному випадку модель створювалась для тягача КАМАЗ 64-60 та напівпричепа 949143.

### **Програмна реалізація**

Для побудови моделі основним засобом комп'ютерного проектування було вибрано продукт компанії Microsoft Visual Studio, який включає інтегроване середовище розробки програмного забезпечення. Visual Studio містить в собі редактор вихідного коду з підтримкою технології IntelliSense і можливістю найбільш простого рефакторінгу коду.

Графічна складова була розроблена з використанням простого і водночас потужного ігрового 2d движка з підтримкою апаратного прискорення — HGE [4]. HGE розроблений на базі одного з найбільш популярних прикладних програмних інтерфейсів (API – Application Programming Interface) для створення додатків у Microsoft Windows — DirectX. Його можна використовувати практично з будь-яким C++ компілятором, в тому числі і Visual C++.

Основними класами HGE, що використовувались при розробці програмного додатку, є:

– hgeSprite — допоміжний клас HGE для реалізації спрайтів. Спрайти були використані для візуального відображення об'єктів на моніторі.

– hgeVector — також допоміжний клас HGE для обчислень з 2d векторами. Даний клас зокрема було використано при обрахунках кута складання. Користуючись методом "Angle", обчислювався кут між напрямними векторами тягача та напівпричепа при досягненні критичних значень, зокрема, коли вектори ставали колінеарними.

– hgeFont — клас, використовуючи який можна відображати текст з допомогою растрових шрифтів. Використовуючи відповідні методи, було організовано вивід даних.

При написанні програми застосовувались зокрема функції:

WinMain – стандартна точка входу в додаток windows. Тут можна отримати вказівник на інтерфейс HGE для доступу до функцій HGEfunction.

FrameFunc – функція кадру, яку HGE викликає один раз за кадр. В цій функції було розміщено код циклу роботи моделі.

RenderFunc – функція, в якій описуються об'єкти, що будуть виводитись на екран.

hgeCreate – створює об'єкт HGE, якщо потрібно, та повертає покажчик на інтерфейс HGE.

System\_SetState – встановлює внутрішню змінну системи.

System\_Initiate – ініціалізує всю апаратну і програмну частину, необхідну для запуску движка та створює вікно додатку.

System\_Start – починає виконання визначеної користувачем функції.

Timer\_GetDelta – повертає час, що пройшов після останнього виклику функції.

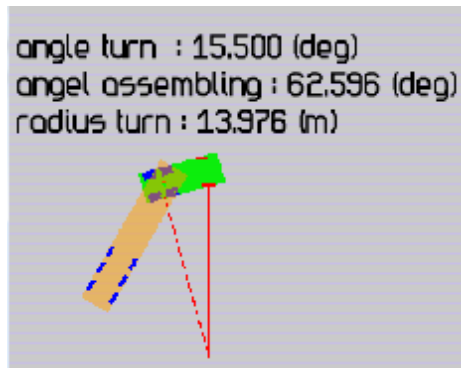
Gfs\_BeginScene – починає вивід графіки.

Gfs\_EndScene – закінчує вивід графіки та оновлює екран при потребі.

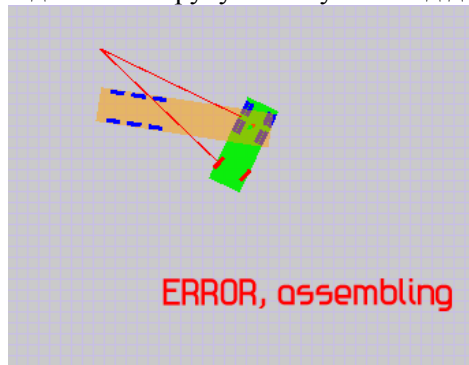
Gfs\_Clear – очищує ціль виводу (екран або текстуру) та z-буфер.

### **Апробація моделі**

На рисунку 3 приведено окремі зони вікна програми. На малюнку 3,а) показано об'єкт у русі, також відображається інформація про кут повороту передніх коліс, радіус повороту при даному куті, та значення дуги в градусах, яка показує величину кута складання (критичні значення при наближенні до нуля). На рисунку 3,б) зображена ситуація складання сидельного автопоїзду при русі заднім ходом; система автоматично виводить повідомлення про неможливість такого маневру.



а) моделювання руху об'єкту та вивід даних



б) моделювання ситуації складання автопоїзду

Рис. 3 Відображення роботи програми, що моделює рух автопоїзду

Фізична модель є копією об'єкта дослідження (в механіці зазвичай зменшеною), що наділена тими самим фізичними властивостями, що і оригінал. Зручно використовувати фізичне моделювання у випадках, коли експеримент з реальним об'єктом важко проводити через особливості безпеки, вартості, зручності дослідження і т. ін. Така модель не вимагає математичних розрахунків для опису своєї поведінки; дані можна отримувати з датчиків, а рух задавати виконавчими пристроями. Разом з тим, точність результатів залежить від точності копіювання оригіналу, тому деякі базові розрахунки необхідні. 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.

### **Фізичне моделювання**

Для розробки фізичної 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). У даній системі розмірності всіх фізичних величин мають вигляд степеневого одночлена:

$$L^1 M^m T^t$$

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 диференціальними рівняннями, то рішення диференціальних рівнянь 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.

В якості оригіналу для моделювання автопоїзда з керованою причіпною ланкою було обрано тривісний сідельний тягач Камаз 64-60 і тривісний напівпричіп з керованою задньою віссю Schmitz Cargobull S.KO – 24/LZG. Масштаб для зменшення 1:20. Довжина шасі реального і зменшеного автомобіля є фіксованою. Повна довжина моделі тягача 330 мм, колісна база 150 мм, відстань між середньою і задньою осями 70 мм, колія 125 мм, висота сидла 65 мм. Повна довжина напівпричепа 670 мм, відстань від точки зчеплення з тягачем до першої осі 404 мм, від першої до другої осі 65 мм, від другої осі до задньої, керованої 90 мм, від третьої осі до кінця причепа 96 мм, колія 120 мм. Розмір шин моделі розраховується прирівнюванням  $\pi$  групи, що відповідає розміру шин зменшеної копії, до  $\pi$  групи реального автомобіля, що є

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

Підставляючи значення оригіналу, отримуємо  $R_{\text{моделі}} = 52$  мм. Для обчислення маси моделі припускаємо, що густина моделі і оригіналу однакова, тоді з подібності

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

отримуємо масу моделі тягача (споряджену) 1,25 кг, масу моделі напівпричепа (максимальне завантаження) 4,5 кг. Максимальна швидкість руху моделі повинна становити 5 км/год, швидкість під час експерименту 0,2 км/год.

Готова фізична модель повинна пройти перевірку на адекватність, після чого результати, отримані з її допомогою і перетворені з необхідними коефіцієнтами, можна вважати дійсними для реального об'єкта.

### **Висновок**

Таким чином, було створено фізичну модель автопоїзда з керованою причіпною ланкою та розроблено імітаційну модель руху об'єкта з причепом для дослідження динаміки транспортного засобу. Використання даних моделей дозволить виконати дослідження факторів впливу на стабільність руху об'єкта без проведення затратних та небезпечних експериментів.

### **Список літератури**

1. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. — М.: Машиностроение, 1971
2. Закин Я.Х. Маневренность автомобиля и автопоезда.- М.: Транспорт, 1986
3. А.М. АБРАМОВ, "Управление динамикой движения седельных автопоездов "
4. <http://hge.relishgames.com/doc/index.html>