

Грабар І.Г., д.т.н., Опанасюк Є.Г., к.т.н., Бегерський Д.Б., аспірант

ЖДТУ, м. Житомир

КІНЕМАТИКА ТА ДИНАМІКА ПРОЦЕСІВ ВЗАЄМОДІЇ ПНЕВМАТИЧНОЇ ШИНИ З СИПУЧИМИ ГРУНТАМИ

Обґрунтовано необхідність дослідження параметрів взаємодії пневматичної шини з ґрунтом. Наведено опис програмно-апаратного комплексу, створеного для даних досліджень. Представлено основні результати дослідження впливу конструктивних та експлуатаційних факторів на кінематичні та динамічні параметри даних процесів.

Вивченню питань, пов'язаних з опорно-зчіпною прохідністю автомобілів, присвячено багато праць як вітчизняних, так і закордонних авторів. Серед них можна виділити роботи Є.О. Чудакова, А.К. Фрумкіна, М.Ф. Бочарова, Я.С. Агейкіна, Г.А.Смірнова, В.І. Кнороза, Г.Б. Безбородової, М.Ф.Кошарного, М.Г.Беккера.

В цих роботах розроблено багато різноманітних теорій та моделей по визначенню основних показників взаємодії колісного рушія з опорною поверхнею, що мають ряд обмежень. Отримані формули справедливі лише для квазістаціонарних режимів роботи автомобільного колеса, що не відповідає реальним умовам його роботи. Сила тертя вважається постійною величиною, хоча відомо, що сила тертя спокою та сила тертя ковзання мають відмінні значення, а отже не враховуються і пов'язані з цим коливальні процеси. Крім того, ці моделі отримані для різних ґрунтових умов, що не дає можливості порівнювати їх між собою.

В ряді робіт [1–7] відзначається, що сила тертя, яка виникає при контакті пневматичної шини з ґрунтом, залежить від властивостей ґрунту, а саме: внутрішнього зчеплення, кута внутрішнього тертя, несучої здатності, та інших. Проте в цих роботах не враховується вплив коливальних процесів на властивості ґрунту, що ілюструється графіком, наведеним на рис. 1, де представлено залежність коефіцієнту вібров'язкості піску від вібраційних прискорень.

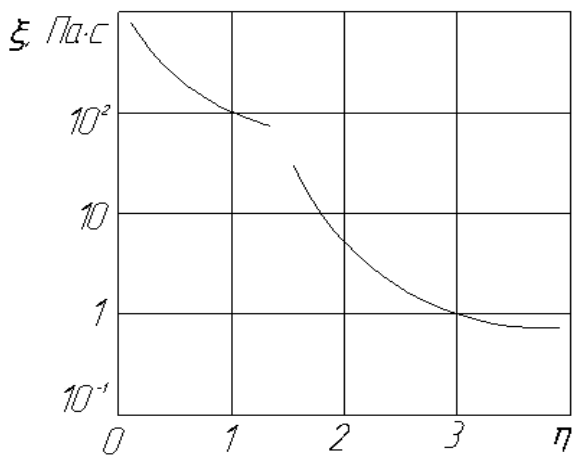


Рис. 1. Залежність вібров'язкості піску від прискорень вібрації [2]

З графіка видно, що величина коефіцієнта вібров'язкості невиразно велика для масиву піску, який знаходиться в стані спокою. Під впливом вібрацій він може знижуватися до $9 \text{ Па}\cdot\text{с}$ (в'язкість гліцерину знаходиться в тих же межах), унаслідок чого несучі і зчіпні властивості піску різко знижуються.

З наведеної інформації можна зробити висновок про недостатню вивченість питань, пов'язаних з процесами, що відбуваються в контакті пневматичної шини з сипучим ґрунтом. Тому в лабораторії кафедри „Автомобілі і механіка технічних систем” ЖДТУ було створено програмно-апаратний комплекс для дослідження процесів, які відбуваються в контакті моделі пневматичної шини з ґрунтами, шляхом фізичного моделювання [3, 4]. Даний комплекс дозволяє в реальному часі вимірювати основні кінематичні (переміщення, швидкість та прискорення) та динамічні (сила тертя, середній тиск на ґрунт) характеристики взаємодії моделі пневматичної шини з ґрунтом при різних значеннях експлуатаційних (тип і вологість ґрунту, швидкість приводу, середній тиск на ґрунт) та конструктивних (жорсткість приводу) факторів. Нами були проведені дослідження впливу основ-

матичні (переміщення, швидкість та прискорення) та динамічні (сила тертя, середній тиск на ґрунт) характеристики взаємодії моделі пневматичної шини з ґрунтом при різних значеннях експлуатаційних (тип і вологість ґрунту, швидкість приводу, середній тиск на ґрунт) та конструктивних (жорсткість приводу) факторів. Нами були проведені дослідження впливу основ-

них експлуатаційних та конструктивних факторів на кінематичні та динамічні характеристики процесів, що виникають в контактній моделі пневматичної шини з ґрунтом, при наступних значеннях цих факторів:

- вологість ґрунту: 0%, 2%, 4%, 6%;
- швидкість приводу: 0,03 м/с, 0,04 м/с, 0,05 м/с;
- жорсткість приводу: 25 кН/м, 36,4 кН/м, 64 кН/м;
- середній тиск на ґрунт: 0,03 МПа, 0,06 МПа, 0,1 МПа.

Вибір значень таких параметрів, як швидкість та жорсткість приводу, був обумовлений конструктивними особливостями дослідної установки, величини питомого тиску на ґрунт були обрані згідно рекомендацій [5], а значення вологості ґрунту обумовлені властивостями ґрунту (піску).

В результаті проведених експериментів нами було встановлено, що в зоні контакту моделі пневматичної шини з ґрунтом дійсно відбуваються коливальні процеси, які ілюструються графіками залежності переміщення та швидкості штампу від часу (рис. 2, 3).

З рисунків 2 та 3 видно, що рух штампа можна розбити на дві фази: фаза відстою (при $S = const, V = 0$) та фаза ковзання. На рис. 2 наведено інтервали часу, які відповідають тривалості фази ковзання в залежності від жорсткості приводу.

На рис. 3 наведено інтервали часу, що відповідають періоду коливань (сумарна тривалість фаз відстою та ковзання). Очевидно: тривалість фази відстою буде дорівнювати різниці періоду коливань і тривалості фази ковзання для відповідних значень жорсткості приводу. З рис. 3 видно, що максимальна швидкість штампу зростає зі збільшенням жорсткості приводу.

Також в результаті експериментів встановлено, що експлуатаційні та конструктивні фактори, наведені вище, нелінійно впливають на кінематичні та динамічні характеристики взаємодії моделі пневматич-

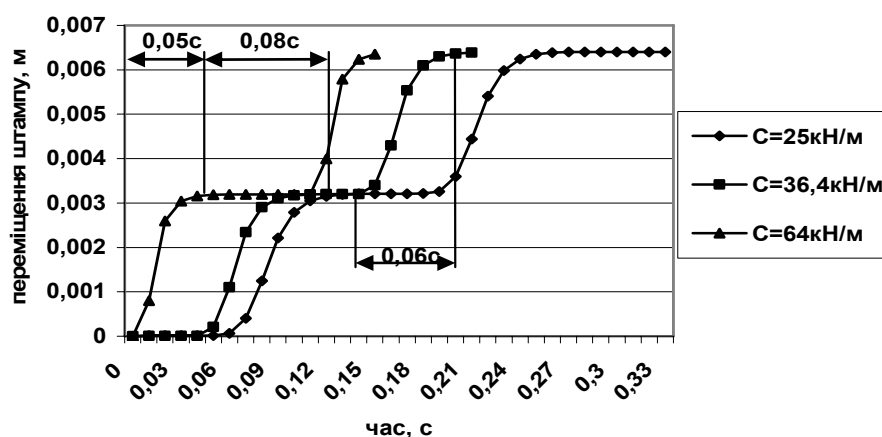


Рис. 2. Залежність величини переміщення штампу від часу при різних значеннях жорсткості приводу ($p = 0,03$ МПа, $V = 0,05$ м/с, $w = 2\%$)

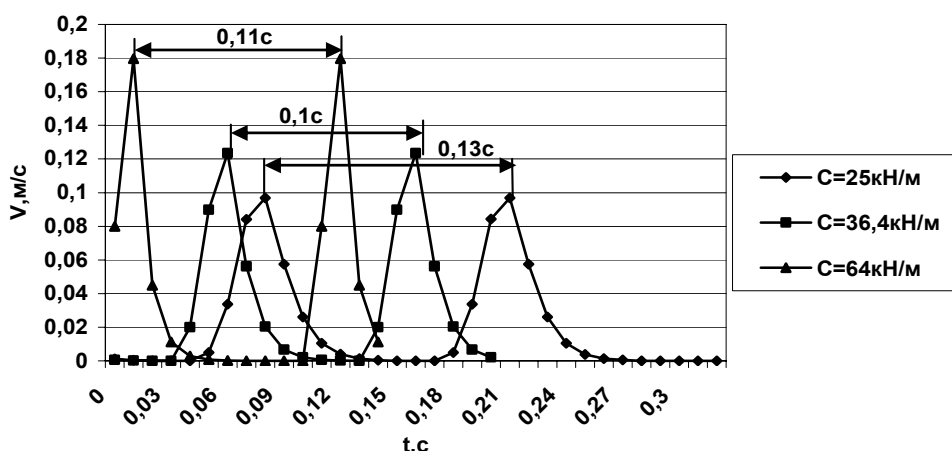


Рис. 3. Залежність швидкості штампу від часу при різних значеннях жорсткості приводу ($p = 0,03$ МПа, $V = 0,05$ м/с, $w = 2\%$)

ної шини з ґрунтом. Прикладом цього є залежність максимальної сили тертя, яка виникає в контактній моделі пневматичної шини з ґрунтом, від вологості ґрунту (рис. 4.). З рис. 4. видно, що дана залежність має чітко виражені максимуми для кожної жорсткості приводу. Такий характер зміни сили тертя можна пояснити тим, що до певного критичного значення вологості ґрунту вода, завдяки силам поверхневого натягу, відіграє роль в'язучої речовини, підвищуючи опір ґрунту зрізанню; після досягнення вологістю цього критичного значення вода видавлюється з ґрунту і починає відігравати роль мастильного матеріалу, зменшуючи тертя між шарами ґрунту.

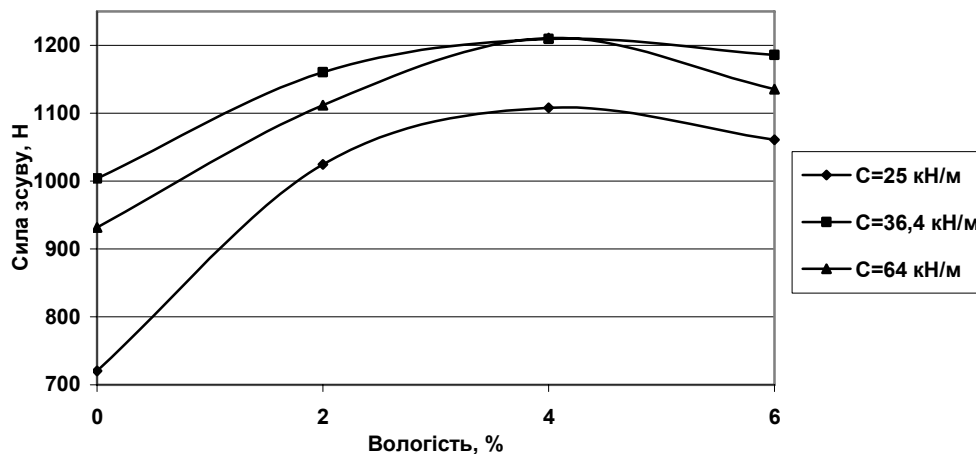


Рис. 4. Залежність максимальної сили тертя від вологості ґрунту при різних значеннях жорсткості приводу ($p = 0,1 \text{ МПа}$, $V = 0,03 \text{ м/с}$)

На основі аналізу експериментальних даних було встановлено значення критичної вологості:

- при жорсткості приводу: $C = 25 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$: $W = 4,046\%$;
- при жорсткості приводу: $C = 36,4 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$: $W = 4,198\%$;
- при жорсткості приводу: $C = 64 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$: $W = 4,299\%$;

Показником, що об'єднує такі параметри як жорсткість та швидкість приводу, є швидкість навантаження фрикційного контакту [6]

$$\chi = C \cdot V_{np}, \quad (1)$$

де: C – жорсткість приводу, $\frac{\text{кН}}{\text{м}}$; V_{np} – швидкість приводу, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Залежність максимальної сили тертя від швидкості навантаження фрикційного контакту показано на рис. 5.

Апроксимація даної залежності рівнянням типу $F = A \cdot \sin(\chi + B) + C$ дає коефіцієнт кореляції - $R^2 = 0,81$. Апроксимація залежностями інших типів дає коефіцієнт кореляції значно нижчий. Встановлено значення коефіцієнтів A, B, C при $p = 0,033 \text{ МПа}$ – $A = 371,366$; $B = 687,48$; $C = 983,737$.

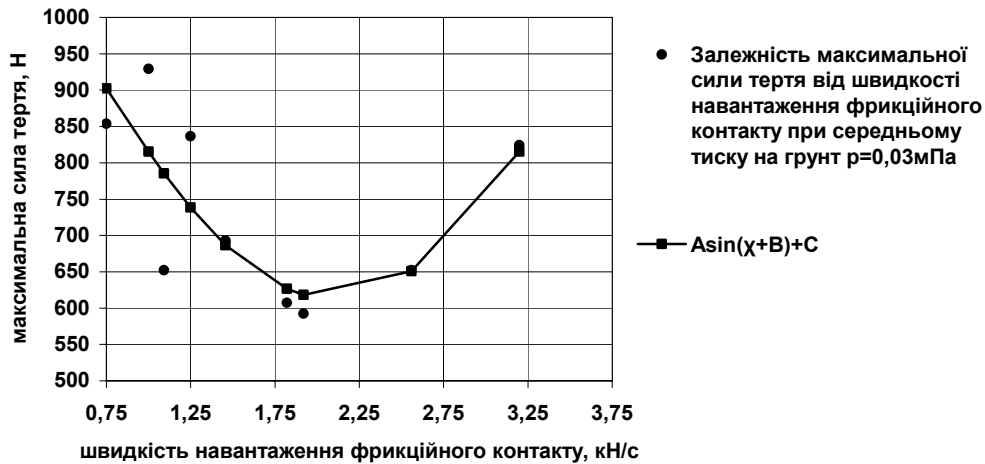


Рис. 5. Залежність максимальної сили тертя від швидкості навантаження фрикційного контакту

Висновки

1. Встановлено, що конструктивні та експлуатаційні фактори нелінійно впливають на кінематичні та динамічні параметри взаємодії моделі пневматичної шини з ґрунтом. Залежності цих параметрів від конструкційних та експлуатаційних факторів мають чітко виражені екстремуми.

2. Рух штамп можна розбити на дві фази: фазу відстою та фазу ковзання. Визначені тривалості цих фаз, а також амплітудні характеристики коливальних процесів в залежності від жорсткості приводу.

3. Встановлено значення критичних вологостей ґрунту для різних значень жорсткості приводу, що відповідають максимальним силам тертя.

4. Механізми впливу таких факторів, як вологість та тип ґрунту, потребують більш детального вивчення на мікрорівні. Вплив же таких факторів, як жорсткість та швидкість приводу, які визначають швидкість навантаження фрикційного контакту, а також тиск на ґрунт потребують вивчення з більшою дискретизацією їх значень.

Список літератури

1. Сирота В.И. Исследование процесса буксования автомобильных шин: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Киев, 1973. – 25с.
2. Цейтлин М.Г., Верстов В.В., Азбель Г.Г. Вибрационная техника в свайных и буровых работах. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 262с.
3. Методологія дослідження процесу взаємодії моделі протектора пневматичної шини з ґрунтом / І.Г. Грабар, Є.Г. Опанасюк, М.М. Можаровський, Д.Б. Бегерський, О.Є. Опанасюк // Вісник ЖДТУ. – 2006. – № 3 (38) / Технічні науки. – С. 11 – 19.
4. Програмно – апаратний комплекс для дослідження взаємодії моделі пневматичної шини з ґрунтом / І.Г. Грабар, Є.Г. Опанасюк, Д.Б. Бегерський. // Вісник ЖДТУ. Технічні науки – 2007. – № 1 (40). – С. 15 – 22.
5. Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность-машина: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.
6. Вейц В.Л. Нелинейные задачи динамики и прочности машин. – Л.:Изд-во Ленингр. ун-та, 1983.
7. Говорущенко Н.Я., Туренко А.Н. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта). / Изд. 2-е перераб. и доп. – Харьков: РИО ХГАДТУ, 1999. – 468с.

Стаття надійшла до редакції 08.06.07

© Грабар І.Г., Опанасюк Є.Г., Бегерський Д.Б., 2007