

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРИЧЕПУ З АВТОМАТИЧНО РЕГУЛОВАНОЮ ПНЕВМОПІДВІСКОЮ І ВИШТОВХУВАЧЕМ СИПКОГО МАТЕРІАЛУ

<sup>1</sup>Р. Мацей, <sup>2</sup>В.Петров, <sup>1</sup>О. Мальцев, <sup>3</sup>С.Чабан, <sup>3</sup>О.Ковра

<sup>1</sup>Військова академія (м.Одеса)

<sup>2</sup>Одеський національний технологічний університет

<sup>3</sup>Національний університет «Одеська політехніка»

Актуальність дослідження зумовлена тим, що сучасні високопродуктивні сільськогосподарські технології потребують досить високого рівня механізації виробництва сільськогосподарських робіт, що у свою чергу потребує, зокрема, постійного удосконалення транспортно-технологічних засобів до складу яких належать напівпричепи-розкидачі сипкого та органічного матеріалу. Значна частина території України приходить на приватні підсобні і фермерські господарства і в зв'язку з цим проблема створення засобів для ефективного транспортно-технологічного обслуговування таких господарств є актуальною.

**Ключові слова:** *напівпричепи, підвіски, дорожні нерівності, коливання.*

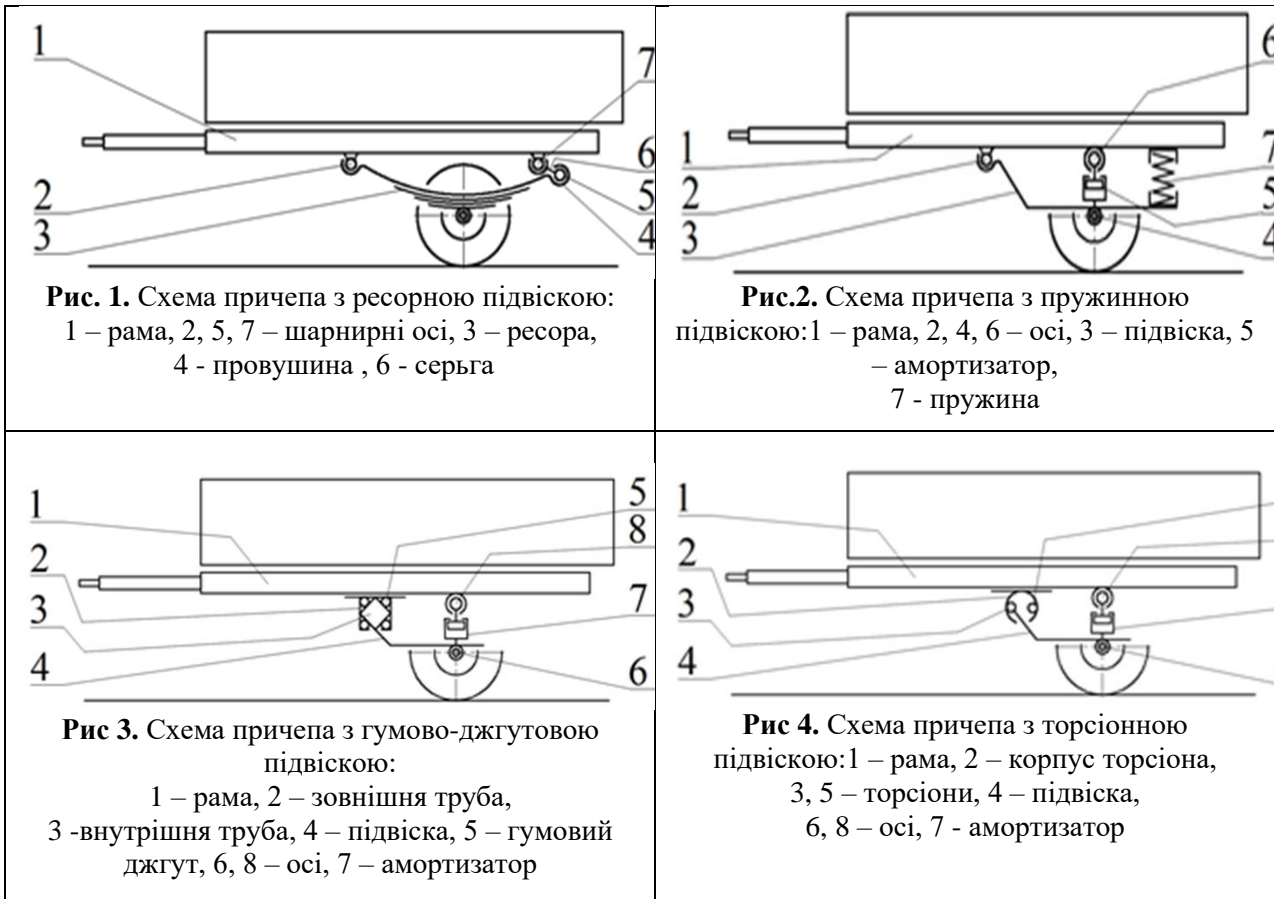
### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Ефективність здійснення транспортно-технологічних операцій на малих фермерських і підсобних господарствах залежить, зокрема, від засобів, які мають достатню ефективність при їх експлуатації в умовах нерівностей дорожнього полотна та бездоріжжя. У цьому зв'язку була розроблена принципова і кінематична схема дослідного зразка транспортно-технологічного напівпричепи-розкидача сипких мінеральних і органічних добрив, який має ряд переваг в порівнянні з існуючими і уявляє один із доцільних напрямів вдосконалення транспортно-технологічних засобів в даній галузі.

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

З літературних джерел відомі конструкції підвісок транспортних напівпричепів (рис. 1-4). Як зазначалося авторами в джерелах [1],[2],[3] «на теперішній час технічні рішення типових механічних вузлів і систем транспортних напівпричепів доведені практично до вдосконалості. Подальше вдосконалення їх конструкцій в більшості випадків, виконується шляхом оснащення їх різними електронними і мікропроцесорними системами керування які є достатньо витратними при виготовленні і експлуатації та вимагають кваліфікований персонал для їх обслуговування. Забезпечення бокової стійкості напівпричепів з встановленим на них технологічним устаткуванням як і раніше залишається одним з найбільш важливих показників експлуатаційної безпеки. У зв'язку з цим проблема забезпечення максимально можливої стійкості напівпричепів при різних рівнях зовнішнього навантаження і якості дорожніх умов, з урахуванням встановленого на них різного технологічного устаткування для складних умов експлуатації є перспективним напрямом їх модернізації.

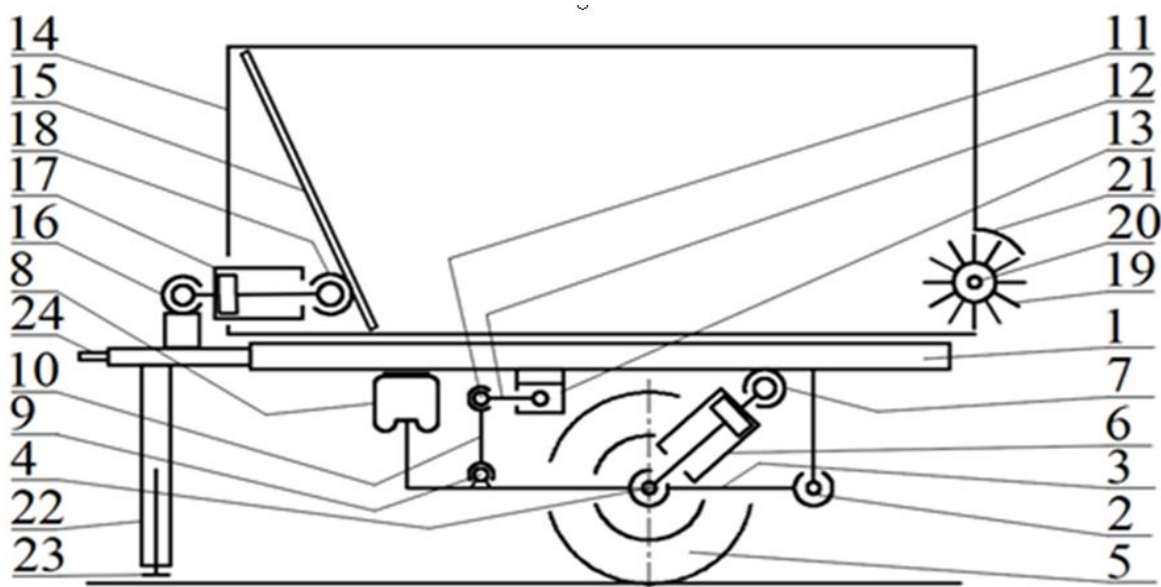
Це пов'язано з рядом факторів, а саме: з спробою збільшити максимальну швидкість транспортування як на рівній дорозі так і на бездоріжжі з нерівностями дорожнього полотна; на поворотах; використанні їх в номінальному положенні, при пересуванні їх на схилах, при встановленні на місцевості коли одна з підвісок потрапила на прослаблений ґрунт чи виїмку; при транспортуванні рідких сумішей в закритих ємностях, коли напівпричеп при русі випробовує нестійкість положення із-за постійного зсуву центру мас рідкої суміші в цистерні. Так як при русі напівпричеп більш схильний чим тягач до нестійкості, від поперечних перевертаючих навантажень, до його стійкості пред'являються більш вищі вимоги. В зв'язку з цим поліпшення поперечної стійкості, є одним з важливих експлуатаційних показників напівпричепи, який характеризує його здатність в статиці і динаміці працювати без бокового перекидання під дією зовнішніх обурюючих дій, і є одним з актуальних напрямів вдосконалення їх конструкцій. Поперечну статичну стійкість оцінюють максимально можливим статичним кутом поперечного ухилу, на якому загальмований причіп може стояти не перевертаючись при випробуванні на стенді. При цьому



навантаження на одне з коліс зростає, а у момент повного розвантаження другого колеса настає бокове перекидання. Основними конструктивними чинниками, що впливають на величину і перерозподіл навантаження на колеса транспортно-технологічного напівпричепа (ТН) при русі є: положення центру мас ТН відносно дорожнього полотна; ширина колії коліс; момент інерції підресорених мас відносно осі поперечного нахилу підвіски; кінематична залежність або незалежність підвіски; енергоємність пружних елементів; власна частота поперечних кутових коливань підресорених мас; величина дорожнього просвіту. До зовнішніх чинників слід віднести поперечний ухил дорожнього полотна, радіус повороту, сили інерції, що діють на ТН, особливо при повороті, нерівності дорожнього покриття». Відомі конструкції напівпричепів-розкидачів ТН сипкого матеріалу мають ряд недоліків, а саме, у випадку приблизно рівного навантаження правого і лівого коліс ТН не забезпечують в залежності від дорожніх умов можливості встановлення і автоматичного регулювання під час руху номінального положення днища кузова відносно дорожнього полотна яке залежить, зокрема, від рівня зовнішнього навантаження підвіски. У випадку нерівномірного навантаження правого і лівого коліс під дією внутрішніх і зовнішніх обурюючих факторів відомі конструкції не забезпечують автоматичного вирівнювання навантаження між колесами. Унаслідок цього такі причепа мають знижену стійкість до бокового перекидання отже підвищену безпеку руху в експлуатації.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для усунення перерахованих недоліків була розроблена конструкція дослідного зразка транспортно-технологічного напівпричепа з автоматично регульованою незалежною підвіскою [1],[2],[3] і виштовхувачем сипкого матеріалу [4], зокрема мінеральних і органічних добрив. Принципова конструктивна схема розробленого дослідного зразка такого напівпричепа представлена на рис.1. Принципова конструкція підвіски описана в патенті [1] « На рамі 1 причепа змонтована вісь 2 підвіски 3 причепа. На осі 4 змонтовані колеса 5 та амортизатори 6, які спираються на шарніри 7 рами причепа. Підвіска 3 іншим кінцем спирається на пневматичну подушку 8, яка також закріплена на рамі 1. На шарнірі 9 підвіски 3 розміщена тяга 10, яка в свою чергу має шарнірне з'єднання 11 з важелем 12 крана 13, також розташованого на рамі 1. На рамі 1 стаціонарно закріплений кузов 14,



**Рис.5.** Принципова конструктивна схема дослідного напівпричепа

всередині якого встановлена рухлива передня стінка 15 кузова. На рамі 1 закріплена шарнірна опора 16, яка пов'язана з гідроциліндром 17, шток якого через шарнір 18 з'єднаний з рухомою передньою стінкою 15.» В задній частині кузова 14 змонтований гноєрозкидач 20 зі щітками 19, який приводиться в обертальний рух від гідромотора (на схемі не показано). Для обмеження зони розкидання гною, над ним змонтовано щиток 21. Для встановлення причепа без тягача служить стійка 22 з регульованою п'ятою 23. Зчеплення причепа з тягачем здійснюється за допомогою кільця 24 диска.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На основі розробленої загальної принципової схеми напівпричепа були розроблені більш детальні конструктивні схеми вузлів автоматично регульованих підвісок, що автоматично регулюють кліренс, усувають в певних межах нерівномірність розподілу навантаження на незалежні підвіски колес, механізму зсуву сипкого матеріалу з рядом інших конструктивних особливостей, що наділяють причепа цього класу властивостями, які значно покращують його техніко-економічні та експлуатаційні показники. Автоматичне регулювання кліренсу, зниження нерівномірності розподілу навантаження між колесами, а також підвищення поперечної стійкості ТТН було досягнуте конструктивними методами за рахунок встановлення достатньо простого механічного пристрою керуючого режимами роботи пневморесор незалежних підвісок. Конструкція автоматично регулюючого пристрою кожної підвіски складається [1],[2],[3] «з маятникового важеля, що гойдається, вільний кінець якого сполучений з пневморесорою, а в його середній частині закріплене колесо з можливістю регулювання його положення у вертикальній площині, що забезпечує встановлення необхідного номінального рівня днища кузова відносно полотна дороги та автоматичне його підтримання під час руху при транспортуванні будь якого рівня вантажу і якості дорожніх умов. У зв'язку з тим, що права і ліва підвіски незалежні і регулюються незалежно одна від одної, при дії на ТТН внутрішніх і зовнішніх збурюючих факторів, що створюють умови для бокового перекидання, усувається у певних межах нерівномірність розподілення навантаження між колесами, що забезпечує його найбільш високу стійкість. За рахунок модернізованої конструкції підвіски був отриманий наступний ряд експлуатаційних переваг: підвищена енергоємність розсіювання енергії пружних елементів як з лінійною так і нелінійною, прогресивною характеристикою в основному робочому діапазоні і при великих переміщеннях, унаслідок чого були досягнуті зниження амплітуд коливань, зменшення кількості енергії, що поглинається амортизаторами, отримана найбільш прийнятна власна частота коливань подресорених мас; спрощено регулювання механізму підресорювання; забезпечена простота автоматичного регулювання жорсткості підвіски залежно від умов зовнішнього навантаження і дорожніх умов; покращена здатність до запобігання відриву коліс при подоланні дорожніх нерівностей; підвищена довговічність пружних елементів; збільшена надійність механізму автоматичного регулювання в порівнянні з електронною мікропроцесорною системою, яка допускає збої при підвищеній вологості довкілля; простота технічного обслуговування автоматично

регульованої підвіски. При цьому встановлений додатково акумулятор стислого повітря (ресивер), забезпечив найбільш пологішу робочу характеристику пружного пневматичного елемента, отже і плавність роботи підвіски. Враховуючи, що вартість виготовлення ресорних металевих підвісок і пневмопідвісок практично порівнялися, вживання останніх дозволяє отримати значний техніко-економічний ефект». Підвіски 3 (рис.5) закріплені під вантажною платформою до поперечин рами 1 за допомогою шарніра 2, та пневматичної подушки 8. До осі 4 прикріпленій амортизатор 6. Верхня частина амортизатора приєднана до рами 1. Герметична пневморесора 8 верхньою частиною закріплена на рамі, а нижньою частиною, закріплена на підвісці 3 яка через шарнір 2 закріплена на рамі. На рамі 1 закріпленій вентиль 13 з важелем 12 керування вентилем з яким шарнірно з'єднана регулююча тяга 10. Тяга 10, в свою чергу, нижнім наконечником шарнірно з'єднана з підвіскою 3. Наведена конструкція незалежної підвіски правого і лівого борту уявляє собою механізм незалежного автоматичного керування кліренсом і вирівнюванням нерівномірності розподілення навантаження на колеса, що значно підвищує стійкість ТТН.

У джерелах [1],[2],[3] викладено принцип роботи підвіски, що полягає в наступному «При визначеному навантаженні необхідна величина кліренса встановлюється за допомогою регулювання довжини регулюючої тяги 10. Електроживлення причепа ввімкнено через електричний роз'єднувач. Електрокомпресор, що розташований в одному корпусі з ресивером, наповнює ресивер стислим повітрям до заданого тиску і автоматично його підтримує в процесі роботи підвіски. Одночасно стисле повітря із ресивера через вентиль 13 наповнює пневморесору 8, яка поступово подовжується і підіймає днище причепа до встановленого водієм рівня, після чого за допомогою важеля 12 керування вентилем 13 подача стислого повітря в пневморесору автоматично припиняється. У випадку збільшення рівня навантаження на підвіску порівняно з встановленим, його днище за рахунок стиснення пневморесори опускається, важель керування 12 відкриває вентиль 13 і стисле повітря з ресивера поступово наповнює пневморесору, яка подовжується і підіймає дно причіпа до встановленого рівня, після чого вентиль 13 автоматично закривається важелем керування 12. У випадку зменшення рівня навантаження підвіски порівняно з встановленим, днище причепа підіймається за рахунок подовження пневморесори, вентиль 13 за допомогою важеля керування 12 відкривається і стисле повітря із пневморесори випускається в навколишнє середовище. При цьому пневморесора стискається і повертає кліренс причіпа на заданий рівень. На вході і виході вентиля 13, регулюючого подачу стислого повітря встановлені спеціальні жикльори, які запобігають швидкої реакції на впускання та випускання повітря в або з пневморесори при швидкому коливанні підвіски на нерівностях дорожньої місцевості».

При розробки конструкції виштовхувача однією з проблем є визначення зусиль необхідних для виштовхування сипкого матеріалу з кузова напівпричепа [4]. Крім того на відміну компоновки гідроциліндру в класичній схемі самоскида, він розташований горизонтально та повинен бути двосторонньої дії. Це обумовило внесення ряду конструктивних змін, щоб виконати ці вимоги. Зусилля на штоку гідроциліндра повинне перевищувати зусилля опору в механізмі переміщення вивантажуваного сипкого матеріалу [4]

$$F > p \cdot S - P_T - R_{ш} - R_{п} - R_c, \quad (1)$$

де  $p$  – тиск робочої рідини в гідросистемі,

$S$  – площа поршня,

$P_m$  – сила тертя матеріалу о стінки і підлогу кузова,

$R_{ш}$  – сила опору ущільнення штока,

$R_{п}$  – сила опору ущільнення поршня,

$R_c$  – сила опору руху рідини у зливній магістралі.

На основі розрахункової схеми (рис. 6) було визначено корисний об'єм кузова

$$V = H \cdot B \cdot (L - 0,5 \cdot H / \operatorname{tg} \alpha), \quad (2)$$

де  $L$  – довжина кузова,

$H$  – висота кузова,

$B$  – ширина кузова,

$L_1$  – довжина за схемою,

$L_1 = H / \operatorname{tg} \alpha$ ,

$\alpha$  – кут нахилу виштовхувача до горизонту.

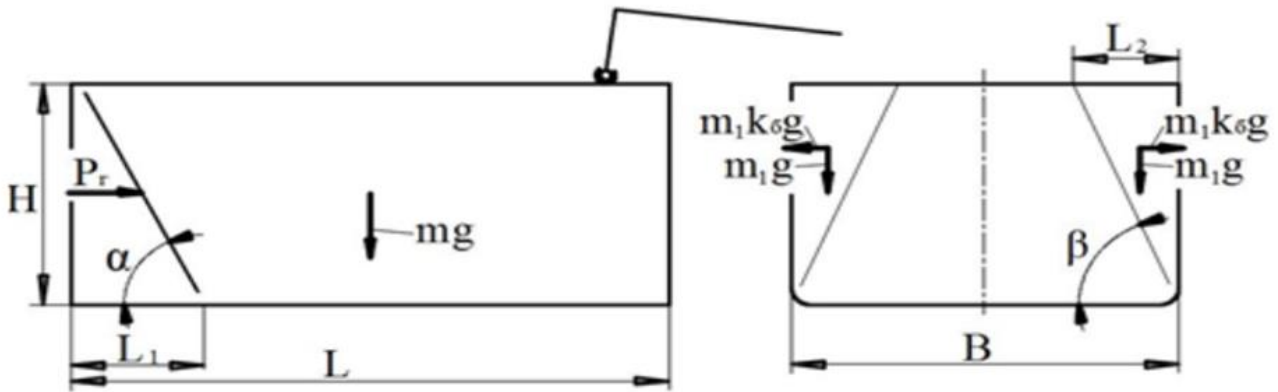


Рис. 6. Розрахункова схема механізму виштовхування сипкого матеріалу

Тоді вага вантажу з врахуванням 25% перевантаження

$$G = 1,25 \cdot V \cdot \gamma \cdot g, \quad (3)$$

де  $\gamma$  - об'ємна маса матеріалу,

$g$  - прискорення вільного падіння.

Об'єм матеріалу, що тисне на бокову стінку кузова

$$V_1 = 0,5 \cdot L_2 \cdot H, \quad (4)$$

де

$$L_2 = H / \operatorname{tg} \beta, \quad (5)$$

$\beta$  - кут внутрішнього тертя матеріалу.

Зусилля  $P_6$ , яке діє на бокову стінку кузова

$$P_6 = k_6 \cdot V_1 \cdot \gamma \cdot g, \quad (6)$$

де  $k_6$  - коефіцієнт бокового розпору.

Сила тертя матеріалу о стінки і днище кузова

$$P_T = (G + 2 \cdot P_6) \cdot f_T, \quad (7)$$

де  $f_T$  - коефіцієнт тертя сипучого матеріалу о стінки кузова.

Наведені розрахунки дали змогу визначитись з параметрами гідроприводу, та остаточно спроектувати телескопічний гідроциліндр двосторонньої дії. Враховуючи підвищену довжину ходу гідроциліндра та його телескопічність були проведені розрахунки циліндра на стійкість використовуючи формули Ейлера та Ясинського. Спроекований кузов з механізмом виштовхування був всебічно підданий різним видам навантаження в різних системах САПР, що дозволило оптимізувати конструкцію кузова (рис. 7).

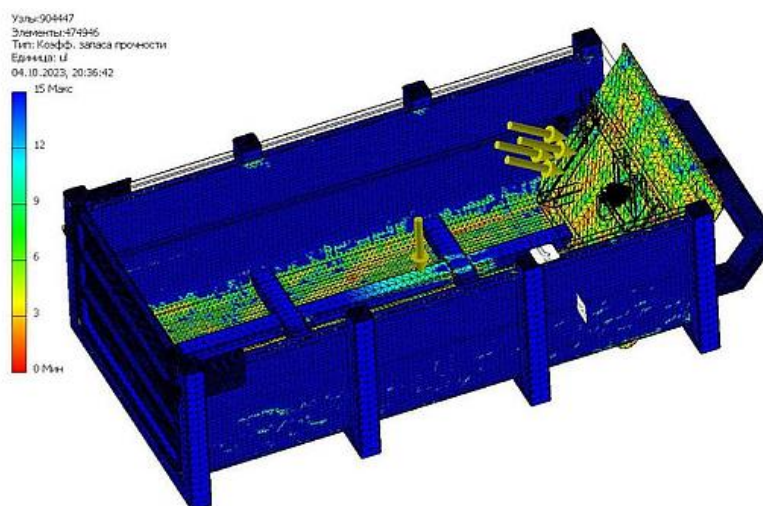


Рис. 7. Мапа розташування коефіцієнта запасу міцності

Основними якісними показниками підвіски є величини, що характеризують її жорсткість і демфуючі властивості. У цьому зв'язку було досліджено кінематику і динаміку руху напівпричепа в складних умовах експлуатації, коли він рухається по місцевості зі значними нерівностями профілю дорожнього полотна. Так як підвіски незалежні було обмежено розглядом наїзду на перешкоди лише одного колеса. Горизонтальна складова швидкості напівпричепа при руху не змінюється. Дія перешкод зводиться лише до порушення вертикального переміщення напівпричепа. Колесо під час руху повністю повторює профіль дорожніх нерівностей. Розрахункова схема для дослідження кінематики та динаміки ТТН представлена на рис.8.

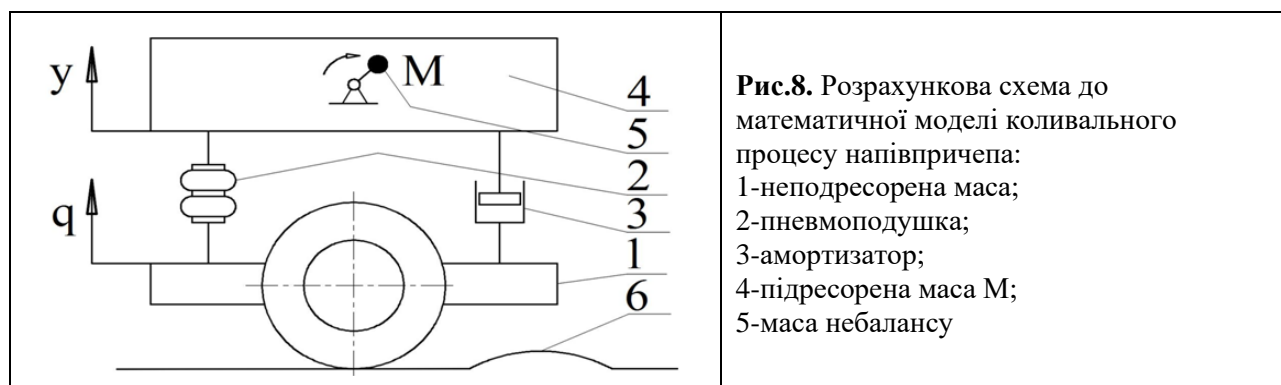


Рис.8. Розрахункова схема до математичної моделі коливального процесу напівпричепа:  
1-неподресорена маса;  
2-пневмоподушка;  
3-амортизатор;  
4-підресорена маса М;  
5-маса небалансу

На розрахунковій схемі видно, що підресорена маса має два джерела збудження-кінематичне та силове. Прийемо такі позначення з урахуванням того, що зведені маси, зведені коефіцієнти пружного та непружного опору надалі використовуються без слова зведені:

$M$  - маса підресореної частини ТТН, [кг];

$y$  - вертикальне переміщення підресореної маси, [м], (шукана функція від часу);

$t$  - час (незалежна змінна), [с];

$k$  - коефіцієнт згасання непружного опору;

$\xi$  - коефіцієнт регулювання профілю дорожнього полотна;

$n$  - коефіцієнт згасання нерівностей дороги;

$c$  - жорсткість пневмопідвіски, [Н/м];

$\tau$  - коефіцієнт регулювання висоти профілю дорожнього полотна;

$A$  - амплітуда відцентрової сили незбалансованої маси, [Н];

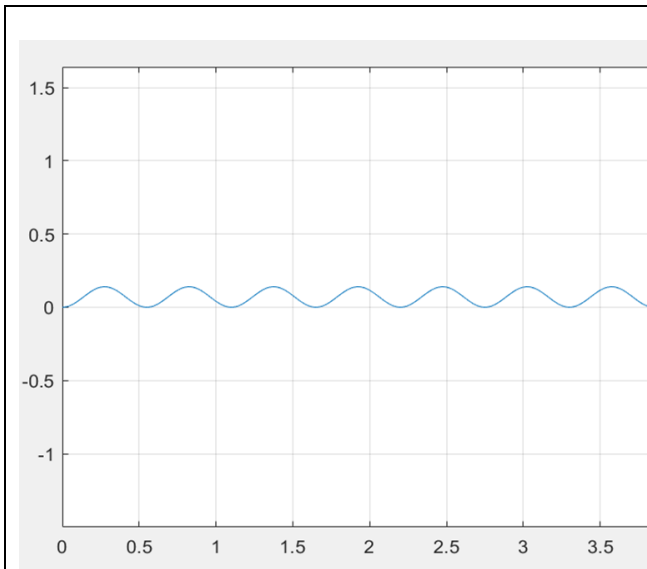
$\omega$  - кутова частота валу-розкидача, [рад/с];

$f$  - початкова фаза відцентрової сили незбалансованої маси, [рад].

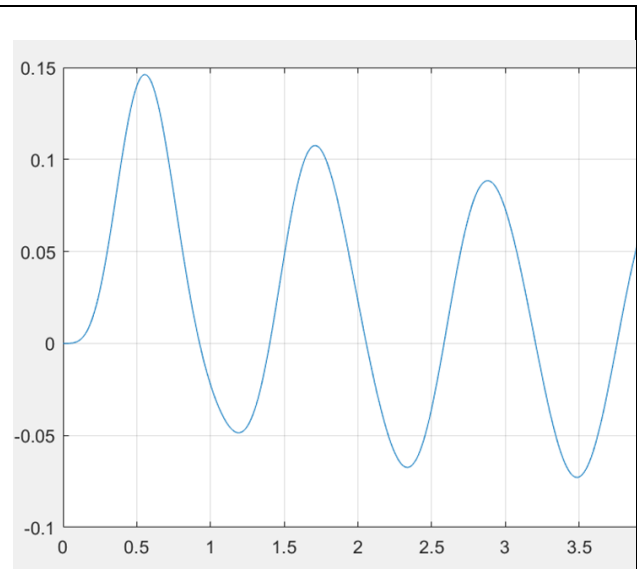
Кінематичне збудження обумовлено нерівностями профілю дорожнього полотна, яке представимо у наступному вигляді

$$q = \xi(1 - \cos(v \cdot t)) \cdot \exp^{-nt}, \quad (8)$$

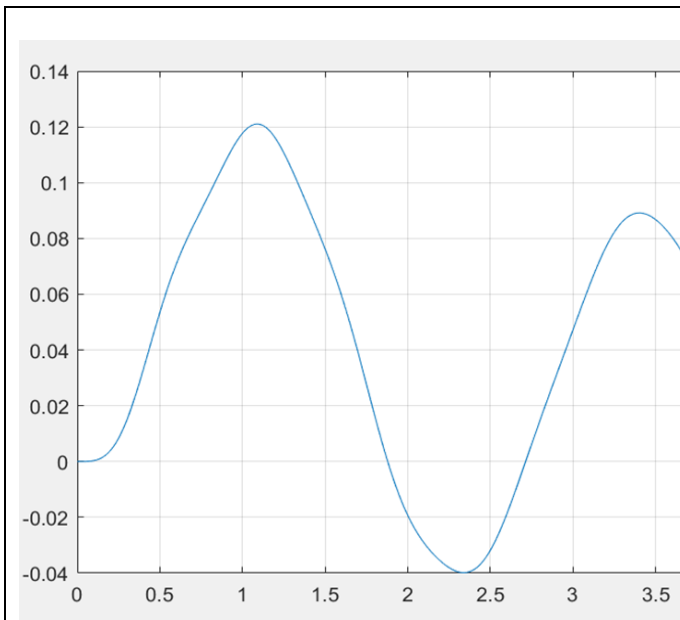




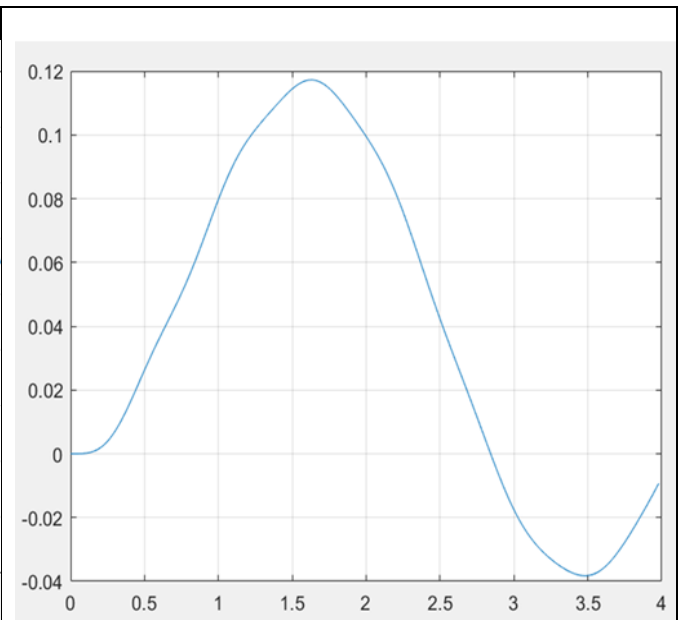
**Рис. 9.** Профіль дороги в метрах



**Рис. 10.** Навантаження 37900 Н,  
швидкість 5 км/год

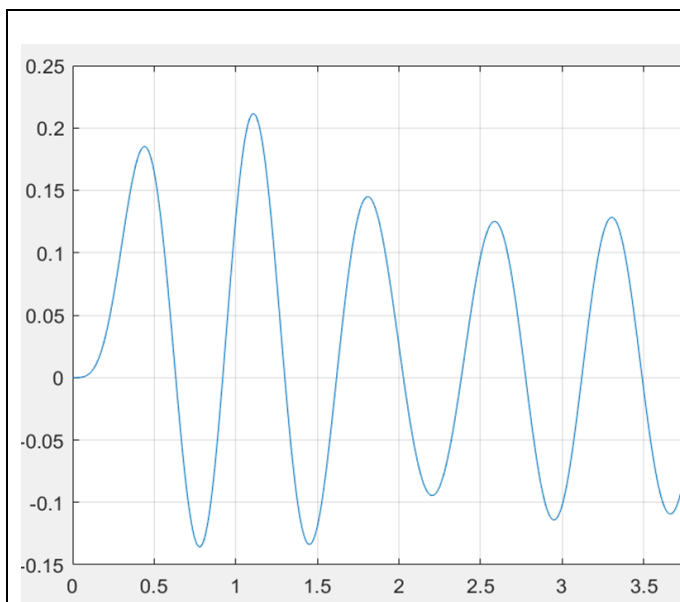


**Рис. 11.** Навантаження 37900 Н,  
швидкість 10 км/год

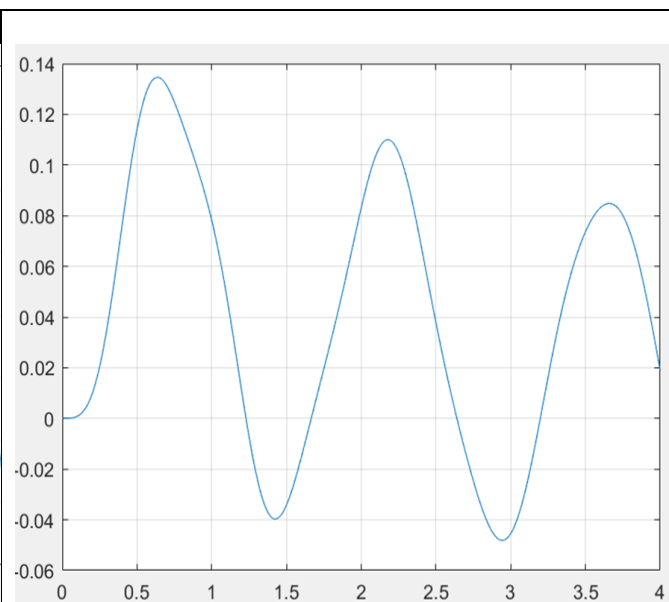


**Рис. 12.** Навантаження 37900 Н,  
швидкість 15 км/год

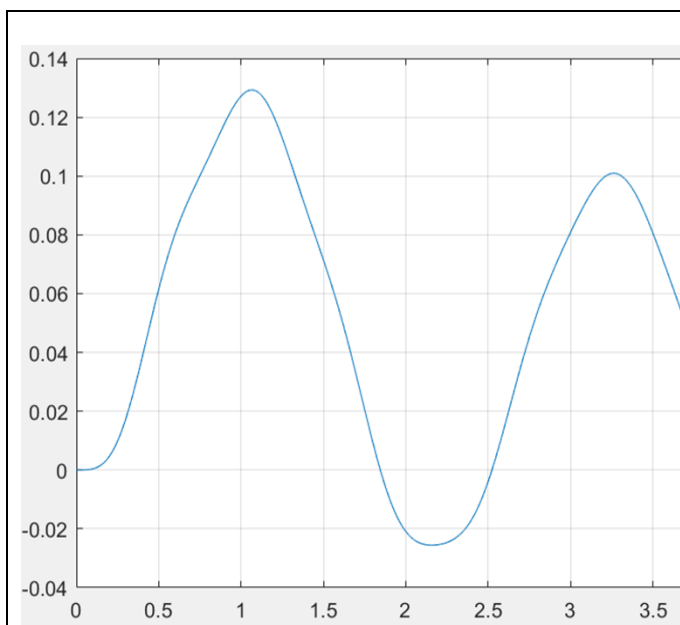




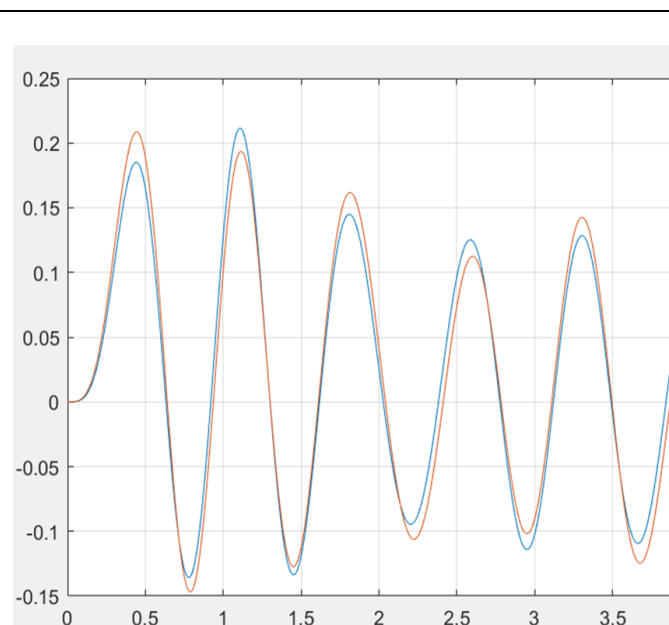
**Рис. 13.** Навантаження 15000 Н,  
швидкість 5 км/год



**Рис. 14.** Навантаження 15000 Н,  
швидкість 10 км/год

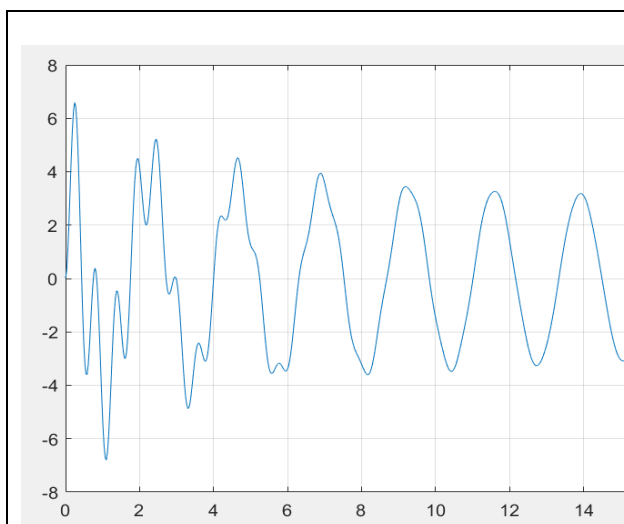


**Рис. 15.** Навантаження 15000 Н,  
швидкість 15 км/год

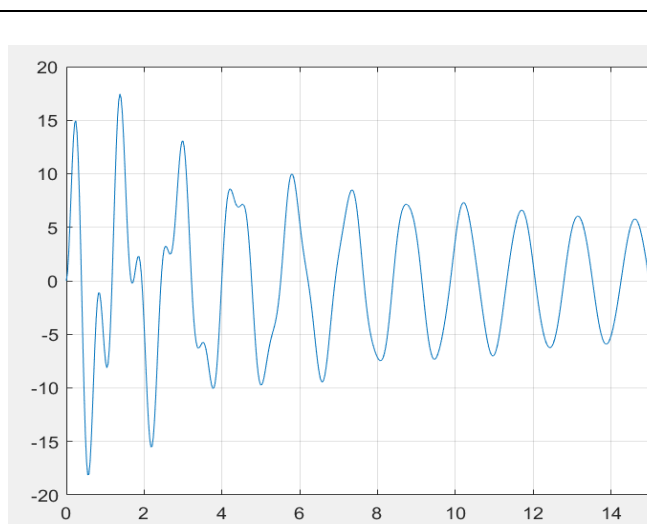


**Рис. 16.** Навантаження 15000 Н, швидкість 5 км/год з небалансом 3000 Н - крива 1 і без нього крива - 2.

За результатами розрахунку видно (рис.16), що дія небалансу починає виявлятися суттєво коли маса небалансу складає від 20% від підресореної маси не повністю завантаженого причепа, а тому впливом небалансу на коливальний процес від нерівностей профілю дороги можна знехтувати. При оцінці плавності ходу автотранспортного засобу та вібраційного навантаження одним із показників є максимальні значення прискорень у різних його точках. У зв'язку з цим були розраховані вертикальні прискорення підресореної маси ТТН за допомогою програми diff MATLAB [5], диференціюючи рівняння (12) двічі. Результати представлені на рис. 17,18, де по осі абсцис відкладено пройдений шлях, а по осі ординат прискорення підресореної маси  $\text{m/s}^2$ . Видно, що при русі, що встановився, у разі повного завантаження ТТН, прискорення не перевищують рекомендованих і складають  $2.5 \text{ m/s}^2$ , а у випадку порожнього  $5 \text{ m/s}^2$ .



**Рис.17.** Швидкість 10 км/год,  
навантаження 37900 Н, пройдений шлях 15м



**Рис.18.** Швидкість 10 км/год,  
навантаження 15000Н, пройдений шлях 15м

## ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ

Амплітуди коливального процесу на основних режимах роботи напівпричепа не виходять за межі діапазону робочих ходів пневмопідвіски, що свідчить про правильно підібраних технічних параметрів пневморесори для прийнятої величини підресорної маси та робочих швидкостей причепа.

Аналіз рішень математичної моделі показує, що при встановленому русі причепа по нерівностях дорожнього полотна вплив небалансу валу - розкидачу гною практично не впливає на коливальний процес підресореної маси підвіски зі зміною швидкості руху причепа в межах 5-15 км/год.

Амплітуда коливань підресореної маси зі зміною швидкості руху причепа змінюється незначно, а частота коливань зі зменшенням швидкості зростає.

Власна частота подресореної маси становить 2.25 Гц, а пришвидшення коливається в інтервалі 2.5-5 м/с<sup>2</sup>, що є досить прийнятним.

На підставі результатів математичного моделювання коливального процесу напівпричепа з змонтованим на ньому розкидачем гною при русі напівпричепа по значним нерівностям профілю дорожнього полотна можна зробити висновок, що використання незалежної автоматично регульованої пневмопідвіски є одним з доцільних напрямів його вдосконалення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дорофєєв В.С., Бажанов О.І., Оргіян О.А., Мацей Р.О. Патент України на корисну модель № 49101 від 12.04 2010. Транспортний причіп.
2. Бажанов О.І., Мацей Р.О., Оргіян О.А. Малогабаритні транспортні причепи з незалежними підвісками, що складаються та автоматично керують поперечною стійкістю. (<http://mx.ogasa.org.Ua/bitstream/123456789/1314/1/%d0%9c%d0%90%>).
3. А.І. Бажанов, О.А. Оргіян, Р.А. Мацей, Устянський Д. А. Малогабаритні транспортні причепи з автоматичним регулюванням кліренсу. Аграрний вісник причепномор'я. Вип. 65.2012 р.
4. В.М. Петров, С.Г. Чабан, О.О. Жданов, Р.О. Мацей. Самоскид з виштовхуванням сипкого матеріалу. Міжнародна Науково-практична конференція «Інноваційні аспекти розвитку автомобільного транспорту України». Тези доповідей. Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське. 18 травня 2023 року.
5. Лазарєв Ю. Ф. MATLAB і моделювання динамічних систем. Навчальний посібник. – Київ: НТУУ "КПІ", 2009. –79 с.

**RESEARCH OF A SEMI-TRAILER WITH AUTOMATICALLY ADJUSTABLE AIR SUSPENSION  
AND A EJECTOR OF FRIABLE CARGO**

<sup>1</sup>R. Matsei, <sup>2</sup>V. Petrov, <sup>1</sup>O. Maltsev, <sup>3</sup>S. Chaban<sup>3</sup>, O. Kovra<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Military Academy (Odesa)

<sup>2</sup>Odessa National Technological University

<sup>3</sup>National University "Odesa Polytechnic"

The pre-production model of transport-technological semitrailer is worked out with automatically managed пневмоподвеской and выталкивателем of friable material, that on-condition automatically evens the unevenness of partition of load between the independent pendants of wheels and supports the level of ground clearance installed by the driver, that promotes stability, and allows to rev up transporting of load without the decline of safety of motion on roads with the different terms of burries of travelling coverage and lack of roads. The oscillatory process of a semi-trailer as it moves along uneven road surfaces and the strength of the body when it performs technological operations for spreading bulk mineral and organic materials have been studied.

**Key words:** *semi-trailers, suspensions, road irregularities, vibrations.*