

Івано-Франківський національний технічний університет  
нафти і газу Міністерства освіти і науки України  
Інститут інженерної механіки та робототехніки  
Кафедра автомобільного транспорту

**Мрічко Віталій Іванович**  
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 653.13.07

## **МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**Тема: “Підвищення ефективності експлуатації  
напівпричепів-самоскидів ТзОВ “Надвірнянська автобаза”  
будівельної компанії “VSGroup” шляхом удосконалення  
елементів ходової частини”**  
(Тема роботи)

**Автомобільний транспорт**  
(назва освітньої програми)

274 – Автомобільний транспорт

В.І. Мрічко

**Науковий керівник:** Гриджук Ярослав Степанович, д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

Криштопа С.І.  
(підпис) (дата) (прізвище та ініціали)

Рецензент

професор Козак Ф.В.  
(посада) (підпис) (дата) (прізвище та ініціали)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Інститут інженерної механіки та робототехніки

Кафедра автомобільного транспорту

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність: 274 “Автомобільний транспорт”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТ

Проф. \_\_\_\_\_ С.І. Криштопа

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

### ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Студенту \_\_\_\_\_ Мрічку Віталію Івановичу  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: “Підвищення ефективності експлуатації напівпричепів-самоскидів ТЗОВ “Надвірнянська автобаза” будівельної компанії “VSGroup” шляхом удосконалення елементів ходової частини”.

керівник роботи \_\_\_\_\_ Гриджук Я.С., д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ \_\_\_\_ ” грудня 2025 року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ 19.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

4.1 ВСТУП. 4.2 ВИСВІТЛЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЗА ОБРАНОЮ ТЕМАТИКОЮ ТА

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ. 4.3 РОЗРОБКА РОЗРАХУНКОВОЇ

СХЕМИ, ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕМЕНТА ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ

НАПІВПРИЧЕПА-САМОСКИДА ТА ПРОВЕДЕННЯ ЧИСЕЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ.

4.4 РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРУЖНОГО ЕЛЕМЕНТА ХОДОВОЇ

ЧАСТИНИ НАПІВПРИЧЕПА-САМОСКИДА. 4.5 ОХОРОНА ПРАЦІ У ВИРОБНИЧИХ

ВІДДІЛЕННЯХ ТЗОВ “НАДВІРНЯНСЬКА АВТОБАЗА” 4.6 ВИСНОВКИ. 4.7 СПИСОК

ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ. 4.8 ДОДАТОК А – ТЕКСТ ОСНОВНОЇ ПРОГРАМИ

МОДЕЛЮВАННЯ 4.9 ДОДАТОК Б ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ.

5. Перелік графічного матеріалу

5.1 Презентаційні плакати в PowerPoint.

Консультанти по магістерській роботі із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль	доц. Прунько І.Б.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 28.11.2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<u>4.1 ВСТУП. 4.2 ВИСВІТЛЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЗА ОБРАНОЮ ТЕМАТИКОЮ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ</u>	01.12.2025 р.	
2	<u>4.3 РОЗРОБКА РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ, ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕМЕНТА ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ НАПІВПРИЧЕПА-САМОСКИДА ТА ПРОВЕДЕННЯ ЧИСЕЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ</u>	05.12.2025 р.	
3	<u>4.4 РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРУЖНОГО ЕЛЕМЕНТА ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ НАПІВПРИЧЕПА-САМОСКИДА.</u>	08.12.2025 р.	
5	<u>4.5 ОХОРОНА ПРАЦІ У ВИРОБНИЧИХ ВІДДІЛЕННЯХ ТЗОВ “НАДВІРНЯНСЬКА АВТОБАЗА.</u>	15.12.2025 р.	
6	4.6 ВИСНОВКИ. 4.7 СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ. 4.8 ДОДАТОК А – Текст основної програми моделювання 4.9 ДОДАТОК Б – ІЛЮСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ.	19.12.2025 р.	
7	Готовність роботи до попереднього захисту.	19.12.2025 р.	

Студент \_\_\_\_\_ **Віталій Мрічко** \_\_\_\_\_  
(Особистий підпис) (Розшифровка підпису)

Керівник \_\_\_\_\_ **Ярослав ГРИДЖУК** \_\_\_\_\_  
(Особистий підпис) (Розшифровка підпису)

## РЕФЕРАТ

Задля підвищення ефективності експлуатації активних підвісок напівпричепів-самоскидів автомобілів проведено низку аналітичних та чисельно-імітаційних досліджень за допомогою комплексного методу. Він полягає у сумісному використанні фізичного, математичного та комп'ютерного моделювання процесів динамічного навантажування елементів активних підвісок напівпричепів-самоскиді у складних дорожніх умовах.

Проведено огляд і аналіз опублікованих робіт з виділенням основних проблем по обраній тематиці. Проаналізовано будову, роботу, принципи та характери навантажувальних підвісок автомобілів при експлуатації на рівних дорогах, так і дорогах із нерівностями.

На основі теоретичного аналізу згасаючих коливних процесів у елементах активної підвіски, а також аналізу аперіодичних рухів елементів активної підвіски під дією сил лінійно-в'язкого опору розроблено аналітичну модель пружного елемента ходової частини напівпричепа-самоскида.

Проаналізовано можливості моделювання елемента підвіски напівпричепа з допомогою сучасних програмних продуктів. Виконано положення розробки моделі та проведення числових експериментів, та виконано підбір вихідних даних для моделювання. Побудовано імітаційну модель елемента активної підвіски напівпричепа, з якою проведено серію чисельних експериментів.

Запропоновано ряд заходів та міроприємств задля підвищення рівня охорони праці у ТзОВ "Надвірнянська автобаза". Удосконалено систему організації охорони праці, а також виконано розрахунок віброізоляції технологічного обладнання.

**Ключові слова:** автотранспортне підприємство, автомобіль, активна підвіска, динаміка, імітаційне моделювання, навантаження, пристрій, частота.

## ABSTRACT

In order to increase the efficiency of operation of active suspensions of semi-trailers-dump trucks, a number of analytical and numerical simulation studies were conducted using a comprehensive method. It consists in the combined use of physical, mathematical and computer modeling of the processes of dynamic loading of active suspension elements of dump semi-trailers in difficult road conditions.

A review and analysis of published works were performed, highlighting the main challenges in the selected field. The structure, operation, principles, and loading characteristics of vehicle suspensions were analyzed during movement on both smooth and uneven roads.

Based on the theoretical analysis of damped oscillatory processes in adaptive suspension elements, as well as the analysis of aperiodic movements under the influence of linear-viscous resistance forces, a dynamic model of an adaptive suspension element was developed.

The possibilities of modeling passenger car suspensions using modern software products were analyzed. The framework for model development and numerical experiments was established, and initial data for simulation were selected. A simulation model of the adaptive suspension was constructed, and a series of numerical experiments was conducted.

A set of measures was proposed to improve occupational health and safety at the LLC "Nadvirna Autobase". The labor safety management system was enhanced, and calculations for the vibration isolation of technological equipment were performed.

**Keywords:** motor transport enterprise, vehicle, active suspension, dynamics, simulation modeling, loading, device, frequency.

## ЗМІСТ

Вступ .....	6
1. Висвітлення проблеми за обраною тематикою та постановка завдання дослідження.....	9
2. Розробка розрахункової схеми, імітаційної моделі елемента ходової частини напівпричепа-самоскида та проведення чисельного експерименту.....	20
3. Розробка аналітичної моделі пружного елемента ходової частини напівпричепа-самоскида.....	35
4. Охорона праці у виробничих приміщеннях ТзОВ “Надвірнянська автобаза”.....	42
Висновки .....	54
Перелік посилань на джерела.....	56
Додаток А – (Текст основної програми моделювання).....	58
Додаток Б – (Ілюстративний матеріал).....	60

					<b>MP.AT<sub>M</sub>-64.00.00.000.ПЗ</b>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Підвищення ефективності експлуатації напівпричепів-самоскидів ТзОВ “Надвірнянська автобаза” будівельної компанії “VSGroup” шляхом удосконалення елементів ходової частини	Літ.	Арк.	Аркушів
						5	70	
Розробив		Мрічко В. І.				<b>ІФНТУНГ AT<sub>M</sub>-24-1</b>		
Керівник		Гриджук Я.С.						
Рецензент		Козак Ф.В.						
Н. Контр.		Прунько І.Б.						
Затвердив		Криштопа С.І.						

## ВСТУП

Будівництво є послідовністю складних будівельних процесів, від якості виконання яких залежить довговічність споруди. При цьому більшість робіт є досить трудомісткими, для виконання яких використовується спеціальна будівельна техніка, вантажний автомобільний транспорт загального призначення, а також різноманітні механізми та машини. Автомобільний транспорт є невід'ємним ланцюгом будівельного виробництва. Значення транспорту в будівництві обумовлене високим рівнем матеріалоємності будівельних робіт, що пов'язано з переміщенням значної кількості будівельних вантажів. Перевезення будівельних вантажів здійснюється як відкритим так і закритим способом. За способом транспортування будівельні вантажі знаходяться у транспортних засобах насипом, штучно, в пакетах, в спеціальній тарі, тощо. Спосіб розташування вантажу визначається максимально можливим використанням вантажопідйомності транспортного засобу, об'ємом рухомого складу або фізичним становищем вантажу у процесі транспортування.

Автомобільні парки сучасних автопідприємств, що залучені до будівництва поповнюється автотранспортними засобами нових конструкцій, що використовують альтернативні види палива, вдосконалюється структура рухомого складу, збільшується кількість дизельного парку. Зростає кількість транспортних засобів великої вантажопід'ємності. Утримання автотранспортних засобів у технічно справному стані, що забезпечує ефективний транспортний процес, галузь має великі ресурсні витрати. Так ускладнення конструкції автомобілів спричинює збільшення обсягу робіт по технічному обслуговуванні і ремонту, зростання затрат на забезпечення працездатності.

Збереженість автотранспортних засобів та їх готовність до здійснення перевезень багато в чому залежить від організації методів і засобів між змінного зберігання. На рівень технічної готовності автотранспортних засобів і величину одночасних і поточних матеріальних затрат на утримання істотно впливають

					MP.ATm - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		6

методи проектування нових об'єктів автомобільного транспорту, а також реконструкції і технічного переоснащення діючих автотранспортних, автообслуговуючих і авторемонтних підприємств.

На даний час є багато автотранспортних підприємств, які займаються поточним ремонтом (ПР) і технічним обслуговуванням (ТО) автотранспортних засобів. До таких підприємств належить ТзОВ "Надвірнянська автобаза". Особлива увага тут відводиться ремонту та обслуговуванню ходових частин та підвісок вантажних автомобілів та спецтехніки. Підвіска є типовим прикладом взаємозалежних деталей в автомобілі. Її складові елементи різноманітні, але майже кожен з них залежить від інших, так як підвіски автомобілів – це різні кінематичні комбінації деталей, що підлягають звичайному зношенню. Основна функція підвіски – ізоляція кузова автомобіля від коливань, які виникають під час кочення коліс по поверхні й забезпечення відповідного контакту шини з поверхнею дороги.

За даними підприємства ТзОВ "Надвірнянська автобаза" для ходових частин вантажних автомобілів та спецтехніки протягом року виконується понад 1,5 тис. капітальних ремонтів, більша частина яких припадає і на активні підвіски. Складні дорожні умови (ями та нерівності) на приміських дорогах викликають надмірні удари, що прискорюють знос амортизаторів, ресор, кронштейнів, стрем'янок, призводять до швидкого просідання пружин і погіршення керованості, а також спричиняють стукіт, крени та нерівномірний знос шин. Навіть найсучасніші активні підвіски мають свої межі, і погані дороги вимагають від них постійної роботи, що скорочує ресурс і вимагає частого ремонту порівняно з ідеальними трасами.

Тому, враховуючи описані вище особливості, можна сформулювати мету роботи, виділити об'єкт та предмет дослідження, а також обґрунтувати наукову новизну та практичну цінність роботи.

**Мета роботи** полягає у підвищенні ефективності роботи активних підвісок напівпричепів-самоскидів шляхом імітаційного моделювання їх динаміки.

					MP.ATm - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		

Для здійснення мети необхідно вирішити наступні **завдання дослідження**:

1. Проаналізувати особливості експлуатації та навантажування елементів підвісок напівпричепів під час їх розвантаження.

2. Розробити розрахункову схему та імітаційну модель навантаженості елементів ходової частини напівпричепа.

3. Розробити аналітичну модель пружного елемента ходової частини напівпричепа-самоскида для встановлення закону його руху.

Для вирішення поставлених завдань нами обрано об'єкт та предмет досліджень.

**Об'єкт дослідження** є процеси динамічного навантажування пневморесор підвісок напівпричепів-самоскидів під час їх розвантаження.

**Предмет дослідження** є вплив динамічного навантажування пневморесор підвісок напівпричепів-самоскидів під час їх розвантаження.

Виконання поставлених завдань в подальшому втілюються у науковій новизні та практичних значеннях результатів досліджень.

### **Наукова новизна**

1. Отримали подальший розвиток методи оцінки навантаження елементів підвісок транспортних засобів, що працюють в режимі згасаючих коливань;

2. Розроблено математичну модель для дослідження руху елемента адаптивної підвіски автомобіля.

3. Встановлено закономірності зміни енергії коливань у складних дорожніх умовах.

### **Практичне значення**

1. Дано практичну рекомендацію по застосуванню конічної пружини у пневморесорі задля більшої ефективності роботи підвіски напівпричепа-самоскида під час його розвантаження.

2. Розроблено імітаційні моделі дослідження динаміки активної підвіски напівпричепа-самоскида з бібліотекою блоків динамічного навантажування.

					MP.ATm - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		

# 1 ВИСВІТЛЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЗА ОБРАНОЮ ТЕМАТИКОЮ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Загальна інформація про ТзОВ "Надвірнянська автобаза"

Головним завданням ТзОВ "Надвірнянська автобаза" є перевезення вантажів при проведенні будівельних та ремонтних робіт будівель, доріг, естакад, мостів та забезпечення їхнього відповідного експлуатаційного стану на території міста Надвірна, Надвірнянської ОТГ, Івано-Франківської області та за її межами. Дане автопідприємство є одним із лідерів перевезень на Прикарпатті. Воно створене у 1963 році для надання транспортних послуг по обслуговуванню будівельних організацій і об'єктів Надвірнянського району, в першу чергу будівництва нафтопереробного заводу ВАТ "Нафтохімік Прикарпаття". Належало воно до Міністерства будівництва України й було, головним чином, вантажним підприємством. У 2013 році підприємство розширило спектр послуг і зараз займається ремонтно-будівельними роботами, реалізує будівельні матеріали, надає транспортні послуги підприємствам будівельного комплексу й інших галузей народного господарства, здає в оренду, ремонтує та обслуговує автомобілі та будівельну техніку, нерухоме майно. У 2017 році ТзОВ «Надвірнянська автобаза» створило структурний підрозділ "Автобаза Бетон" (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Робота рухомого складу ТзОВ на об'єктах будівництва

Даний підрозділ в основному обслуговує будівельну компанію VSGroup і спеціалізується на виготовленні товарних бетонів марок М100 – М500 Р2-Р4 за допомогою комплексної стаціонарної установки для приготування сухих гравійних і піщаних, а також

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		9

бетонних та асфальтних сумішей марки «ELKOMIX» серії «25 Quick Master economik». Підприємство має власну базу автомобілів – бетонозмішувачів, якими може доставляти будівельну продукцію замовнику у різні райони області та за її межі. Завод оснащений найпрогресивнішим та ефективним обладнанням, автоматизованими лініями та комплексами. Виробництво виконується за допомогою сучасного змішувача та є екологічно чистим. Автобаза головним чином спеціалізується на міських, міжміських та міжобласних перевезеннях матеріалів, щебню, піску, розчину, бетону, продукції залізобетонного виробництва, асфальту, продукції лісопереробної промисловості, а в осінній період надає послуги з перевезення продукції сільськогосподарського виробництва. Для здійснення великотоннажних та великогабаритних міжміських та міжобласних перевезень парк автопідприємства за останніх чотири роки поповнився сідловими тягачами та напівпричепами-самоскидами.

## 1.2 Загальна інформація та характеристика напівпричепів-самоскидів

Самоскидний напівпричіп має відчутні переваги порівняно з автопоїздом – самоскид плюс самоскидний причіп [1, 2]. Перевозить стільки ж, але розвантажується в один прийом і коротший за довжиною. Головний недолік самоскидного напівпричепи із заднім розвантаженням у втраті стійкості під час підйому кузова. Тому напівпричіп оснащують задніми аутригерами, а від організаторів робіт потрібно підготувати рівний і надійний розвантажувальний майданчик.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд автопотяга з напівпричепом-самоскидом

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		10

Завод Grünwald спільно з німецькою компанією Langendorf, одним із найстаріших виробників причіпної техніки в Європі, розпочав випуск самоскидних напівпричепів під маркою Grünwald system Langendorf. Самоскидний напівпричіп зі сталевим кузовом типу half-pipe завод пропонує у виконаннях: місткістю 27, 31, 34, 36, 38 і 50 м<sup>3</sup>. Кузов виконаний з високоміцної сталі з ребром жорсткості по верху бортів. Шасі тривісні з осьовими агрегатами BPW або SAF на ресорній або пневматичній підвісці з двосхилим шинуванням. У базову комплектацію входить EBS фірми Wabco, гідроциліндр Hyva, на замовлення кузов оснащують полімерною вкладкою Okuslide, що запобігає примерзанню вантажу.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд напівпричепа-самоскида “Grünwald”

Віднедавна з’явилася новинка компанії Kässbohrer – самоскидний напівпричіп K.SKS.B (32 м<sup>3</sup>), розроблений спеціально під потреби та суворі регламенти будівельної галузі. Одна з ключових характеристик K.SKS.B – стійкість до перевантажень. Інженери приділили серйозну увагу зниженню власної маси напівпричепа при одночасному збільшенні його міцності. Це досягнуто шляхом високої якості металу. Зварна рама зі сталі Hardox посилена двома поздовжніми лонжеронами, з’єднаними траверсами. Шасі виготовлено з високоміцної сталі Domex S700 з низьким вмістом вуглецю і марганцю. Кузов зі стінками товщиною до 5 мм виготовлено з високоміцної зносостійкої сталі S700 Domex твердістю 450 HB. Він забезпечений численними поздовжніми ребрами жорсткості, що підсилюють конструкцію. У виробництві K.SKS.B

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		11

використовують матеріали та комплектуючі провідних світових брендів: гальмівна система – Wabco, гідравліка – Нува, метал – Hardox і Domex. Осьовий агрегат із підвіскою SAF Custom Design вирізняється високим рівнем захисту гальмівних камер від пошкоджень. Усі ці компоненти входять до базової, стандартної конфігурації.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд автопотяга з напівпричепом-самоскидом Kässbohrer K.SKS.B: (повне розвантаження ще до досягнення граничного кута нахилу кузова 45°).

Польське підприємство Wielton випускає причіпну техніку з 1996 р. Сьогодні увазі перевізників пропонують самоскидні напівпричепи зі сталевим кузовом half-pipe місткістю 30, 33, 38 м<sup>3</sup>. Кузови варять зі сталі Hardox 450 товщиною 4,5 мм – кузов міцний і легкий одночасно. Рама шасі виконується з високоміцних сортів сталі. Шасі тривісні з осьовими агрегатами BPW або SAF вантажопідйомністю 9, 11 або 12 т з односхилим ошинуванням, барабанными гальмами та гальмівними системами Wabco.

Wielton також пропонує самоскидні напівпричепи прямокутного перерізу місткістю 33-51 м<sup>3</sup>. Кузови виконані з єдиного листа сталі Docol або Hardox. Бортам надається хвиляста форма, що забезпечує високу міцність на вигин. Плюс

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		12

борти посилені ребрами жорсткості. Шасі таке саме, як і у напівпричепів half-ріре.



Рисунок 1.5 – Самоскидний напівпричіп Wielton NW 3 S 30 HP

### 1.3 Особливості та переваги напівпричепа-самоскида

Придбати та експлуатувати самоскидний напівпричіп в Україні бажають дуже багато власників транспортних засобів, особливо тих, хто працює в будівельній, комунальній або аграрній сфері [1, 2, 3]. Агрегат перевозить сипучі матеріали (камінь, пісок, відсів, землю, вугілля), забезпечує легке і швидке вивантаження. У продажу зустрічаються моделі, які відрізняються між собою:

- формою – бувають напівкруглі (мають мале ударне навантаження під час транспортування великих частинок породи) і прямокутні (зручні під час перевезення цегли, дощок, плит); напрямком вивантаження – зустрічаються із задньою (конструкція легка, але вимагає простору під час роботи), бічною (лівою або правою) і тристоронньою системою розвантаження;

- типом розвантаження – напівпричепи можуть мати примусове вивантаження за допомогою шнека або з нахилом кузова;

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		13

виробником – техніку випускають вітчизняні та зарубіжні компанії, використовуючи різні матеріали, технології, конструкції, тому їхня вартість може істотно відрізнятись.

Перевагами самосвального напівпричепа є короткий час вантажно-розвантажувальних операцій, простота експлуатації, доступна вартість, сумісність із різним тяговим транспортом. До недоліків належить менша порівняно з вантажівкою, обладнаною фіксованою платформою, вантажопідйомність.

#### 1.4 Види підвісок напівпричепів-самоскидів

Підвіска напівпричепа є важливим компонентом сполучення шасі, який з'єднується з рамою. Сила тяжіння, зусилля гальмування, рушійна сила тягача передаються через систему підвіски, а також можуть зменшити силу удару для забезпечення стабільності транспортного засобу [3, 4]. Нижче наводиться короткий опис чотирьох загальних підвісок напівпричепа: механічної ресорної підвіски, 1) Механічна ресорна підвіска. Її основна перевага - це стабільність роботи, легший ремонт і низька вартість. 80% напівпричепів мають такий тип підвіски



Рисунок 1.6 – Механічна ресорна підвіска

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		14

2) Пневматична підвіска. Така підвіска володіє меншою таровою вагою, та хорошими характеристиками поглинання ударів. Це широко використовується на напівпричіпах, які здійснюють транспортування великовагових, великогабаритних та небезпечних вантажів.



Рисунок 1.7 – Пневматична підвіска

3) Механічна балансірно-ресорна підвіска. Така підвіска є надійною навіть у найскладніших умовах роботи: на дорогах загального користування, трасах або будівельних майданчиках. Підвісні вузли підвіски були розроблені для тандемних осей і забезпечують рівномірне обертове балансування у найскладніших умовах.



Рисунок 1.8 – Механічна балансірно-ресорна підвіска

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		15



Рисунок 1.9 – Механічна жорстка балансирна підвіска

4) Механічна жорстка балансирна підвіска. В основному такий тип підвіски використовується на напівпричепах з багатоосьовою структурою, а також на напівпричепах з низьким розташуванням вантажної платформи.

### **1.5 Актуальні проблеми експлуатації напівпричепів-самоскидів**

Випадки перекидання на бік великовантажних напівпричепів-самоскидів не є поодинокими у процесі їх експлуатації. [5, 6, 7] До втрати бічної стійкості самоскидів може призвести ціла низка причин. Причинами такої втрати можуть бути умови розвантаження (стан і особливості опорної поверхні, погодні умови), а також особливості конструкції великовантажного самоскида. Однією з таких причин є незадовільний стан елементів підвіски, передчасний вихід з ладу пневморесор внаслідок перевантаження напівпричепа, нерівномірного завантаження, порушення його експлуатації, а також старіння та зношування елементів підвісок. Як показує практика експлуатації напівпричепів-самоскидів, при підйомі завантаженого кузова на більші кути у критичні моменти не витримують навантаження і дегерметизуються або руйнуються пневморесори [8] (рис. 1.10). Це у свою чергу призводить до різкого нахилу піднятого з вантажем кузова і перекиданню напівпричепа-самоскида (рис. 1.11).

					MP.ATm - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		16



Рисунок 1.10 – Руйнування пневморесори



Рисунок 1.11 – Схиляння кузова та перекидання напівпричепа-самоскида  
внаслідок руйнування пневморесор

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		17

Як бачимо, дослідження динаміки підвісок напівпричепів-самоскидів стикається з проблемами великих навантажень, складності моделювання багатоцільових систем (комфорт, керованість, вантаж), високої нелінійності елементів (амортизатори, ресори), різноманітних дорожніх умов, потребою точних датчиків та визначенням оптимальних параметрів для різних режимів (вантаж/порожній). Основні виклики – забезпечення плавності ходу, стійкості та довговічності при екстремальних умовах експлуатації. Тож зважаючи на вказане вище, можна виділити наступні проблеми дослідження динаміки підвіски напівпричепів.

### 1. Нелінійність та складність моделей

Гідравлічні амортизатори мають петлю гістерезису, а їх параметри змінюються залежно від швидкості та амплітуди коливань. Ресори (листові чи пневматичні) працюють в широкому діапазоні навантажень, що робить їх характеристики нелійними. Багатоелементні системи підвіски (пневматичні, гідропневматичні) мають високу складність моделювання.

### 2. Вплив великих навантажень та їх варіативність

Підвіски вантажівок несуть величезні навантаження, які сильно змінюються залежно від вантажу, впливаючи на їх динаміку. Необхідність оптимізації для роботи як під повним навантаженням, так і порожньою, що є суперечливим завданням.

### 3. Взаємодія з дорогою та керуванням

Дослідження ускладнюються різноманіттям дорожніх покриттів та динамічних впливів (нерівності, різкі повороти, гальмування). Потрібне точне моделювання взаємодії шини та дорожнього полотна.

### 4. Вимірювання та ідентифікація

Необхідність точних вимірювань сил, переміщень, прискорень в реальних умовах експлуатації, що вимагає спеціальних датчиків. Проблема ідентифікації параметрів підвіски за результатами випробувань.

### 5. Суперечність цілей

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		18

Баланс між комфортом (м'яка підвіска) та керованістю/стійкістю (жорстка підвіска) стає ще складнішим під навантаженням. Потреба в одночасному забезпеченні безпеки, комфорту водія та збереженні вантажу.

#### 6. Наслідки несправностей

Дослідження ускладнюються тим, що несправності (зношені амортизатори, люфти) кардинально змінюють динаміку, збільшують гальмівний шлях та знижують стійкість.

Вирішення цих проблем вимагає комплексних підходів, що включають передові методи моделювання, точні експериментальні дослідження та розробку адаптивних систем керування підвіскою.

#### 1.5 Постановка завдань досліджень

Таким чином, враховуючи описані вище особливості, можна сформулювати мету роботи, виділити об'єкт та предмет дослідження.

**Мета роботи** полягає у підвищенні енергоресурсу адаптивних підвісок автомобілів шляхом імітаційного моделювання їх динаміки.

Для здійснення мети необхідно вирішити наступні **завдання дослідження**:

1. Проаналізувати особливості експлуатації та навантажування елементів підвісок напівпричепів під час їх розвантаження..
2. Розробити розрахункову схему та імітаційну модель навантаженості елементів ходової частини напівпричепа.
3. Розробити аналітичну модель пружного елемента ходової частини напівпричепа-самоскида для встановлення закону його руху.

Для вирішення поставлених завдань нами обрано об'єкт та предмет досліджень.

**Об'єкт дослідження** є процеси динамічного навантажування пневморесор підвісок напівпричепів-самоскидів під час їх розвантаження.

**Предмет дослідження** є вплив динамічного навантажування пневморесор підвісок напівпричепів-самоскидів під час їх розвантаження.

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		19

## **2 РОЗРОБКА РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ, ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕМЕНТА ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ НАПІВПРИЧЕПА-САМОСКИДА ТА ПРОВЕДЕННЯ ЧИСЕЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ**

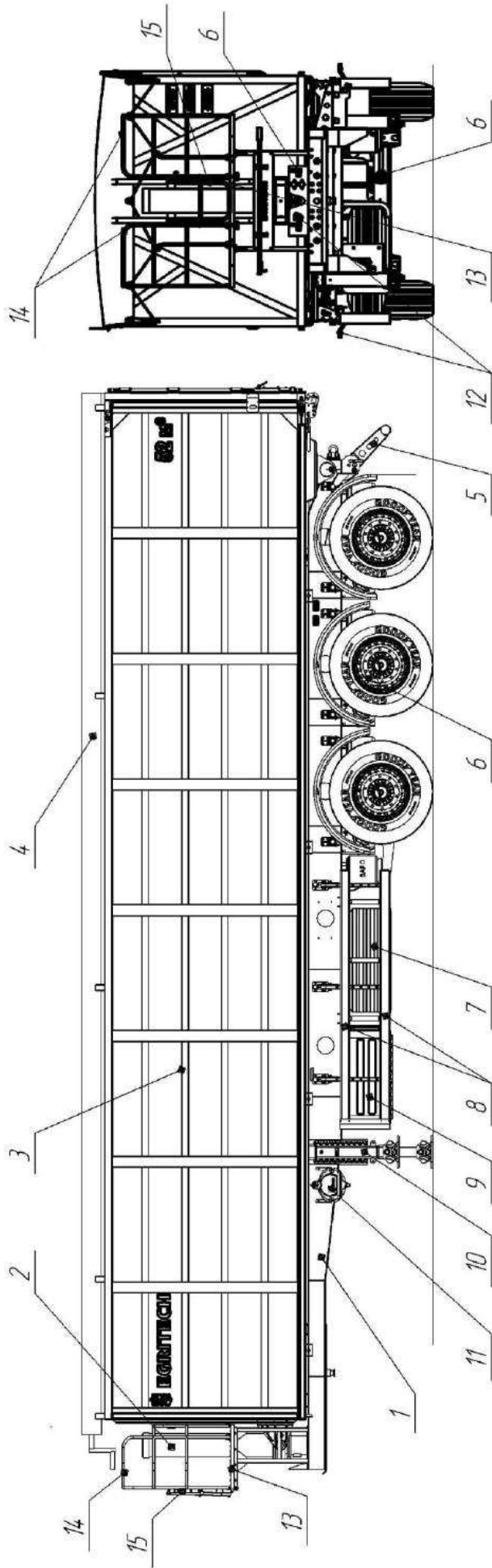
### **2.1 Коротка технічна характеристика напівпричепа-самоскида НПС-2650**

Автомобільний напівпричіп НПС–2650 [9] призначений для перевезення різних будівельних і сільськогосподарських сипких вантажів (зерна, мінеральних добрив, тощо) по дорогам I і II категорії (згідно ДСТУ 3587-97), які розраховані на використання пропуску автомобільних потягів з навантагою на вісь 78,5 кН (8 тс) і більше. Напівпричіп призначений для експлуатації з сідельними тягачами, які мають розміри за ДСТУ 12105-94, з навантагою на сідельно-зчіпний пристрій більше 12,5 тс та мають зчіпний шворінь діаметром 2" (50,8 мм) згідно ISO 337-87 і DIN 74080, оснащений гідравлічною системою підйому кузова. Схема напівпричепа-самоскида НПС-2650 наведена на рисунку 2.1, а технічна характеристика напівпричепа-самоскида в таблиці 2.1.

Напівпричіп (рисунок 1) складається з шасі 1 (рами виробу з встановленими осями та підвісками), кузова 3, гідроциліндра 2 підймання кузова та гідро обладнання, електронно-пневматичної гальмівної системи 6, опорного пристрою механічного типу 10, електрообладнання 12, тенту кузова 4. Напівпричіп має у своєму складі запасне колесо 7, два проти відкатних упори, гак для тентування і оснащений додатковим приладдям: - ящиком для інструментів 9 та ємністю 11 для води із зливним краном (для можливості миття рук). В передній частині, на передньому борту мається площадка 13 з огороженням 14 для зручності проведення тентування та розкладна драбина 15 для потрапляння на площадку.

Рама напівпричепа складається з двох паралельних лонжеронів двотаврового перерізу, які з'єднані між собою поперечками. В задній частині рами встановлений буфер безпеки – задній захисний пристрій (ЗЗП) 5 (рисунок 2.1), по обидва боки – боковий захист 8. В передній частині рами мається гніздо для встановлення зчіпного шворня 6 (рисунок 2.2).

					МП.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		20



1-шасі (рама напівпричепа); 2-гідроциліндр; 3- кузов; 4-тент; 5-задній захисний пристрій (ЗЗП);  
 6-електронно-пневматична гальмівна система; 7- колесо запасне; 8-захисний боковий пристрій;  
 9-ящик; 10-пристрій опорний; 11-ємність для води (30 л); 12-электрообладнання;  
 13-площадка; 14-огородження; 15-драбина

Рисунок 2.1 – Схема напівпричепа-самоскида НПС-2650

Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика напівпричепа-самоскида НПС-2650

Назва параметра та розміру		Норма
1	Маса номінальна вантажу що перевозиться, кг, не більше ніж	24 800
2	Маса максимальна вантажу що перевозиться (технічно допустима), кг, не більше ніж	31 300
3	Маса споряджена (порожнього напівпричепа з запасним колесом), кг, не більше ніж	8 200
4	Маса (згідно національного допуску) повна кг, не більше ніж	34 500
5	Розподіл повної маси (згідно національного допуску), кг, не більше ніж: - через осі коліс - через сидельно-зчпний пристрій	24 000 11 500
6	Маса повна (технічно допустима), кг, не більше ніж	39 500
7	Розподіл повної маси (технічно допустимої), кг, не більше ніж: - через осі коліс - через сидельно-зчпний пристрій	27 000 12 500
8	Осі коліс	
8.1	Кількість осей, шт.	3
8.2	Кількість підйомних осей, шт.	1
8.3	Підйомна вісь	перша
8.4	Кількість коліс на одній осі, шт.	2
8.5	Допустиме навантаження на одну вісь, кг	9 000
8.6	Відстань між осями (номінальна), мм: - між першою і другою - між другою і третьою	1 310±1 1 310±1
9	Колеса	дискові 11.75×22.5
10	Шини: - тип - розмір - індекс несучої здатності - категорія швидкості	безкамерні 385/65R22.5 160 K
11	Підвіска	залежна, з пневматичними пружними елементами і телескопічними гідравлічними амортизаторами

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		22

Продовження таблиці 2.1

Назва параметра та розміру		Норма
12	Гальмові системи	
12.1	Робоча гальмова система	TEBS, електронна з двопровідним пневматичним приводом, анти блокувальною системою з функцією RSP та ESP. Гальмові механізми барабанні з внутрішніми колодками
12.2	Стоянкова гальмова система	механічний привод від пружинних енергоакумуляторів на другій і третій осях
12.3	Аварійна гальмова система	при обриві з'єднувальних магістралей – пружинні енергоакумулятори на другій і третій осях. При витоках повітря із системи – пружинні енергоакумулятори на другій і третій осях
13	Зчіпний шворінь згідно Правил ЕЭК ООН № 55-01: - діаметр умовний, мм - відстань номінальна від шворня до опорної поверхні, мм	50  1 150
14	Опорний пристрій	механічний з редуктором, максимальний хід 460 мм
15	Дорожній просвіт під опорним приладдям при повній масі напівпричепа, мм, не менше ніж	340
16	Об'єм кузова, м <sup>3</sup>	51,50 <sup>+0,5</sup>
17	Кут підйому кузова, градус	40±1
18	Гідросистема піднімання кузова Тип  Робочий тиск, МПа, не більше ніж	гідроциліндр телескопічний, односторонній  19,0
19	Електрообладнання	двопровідне з номінальною напругою 24 В

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		23

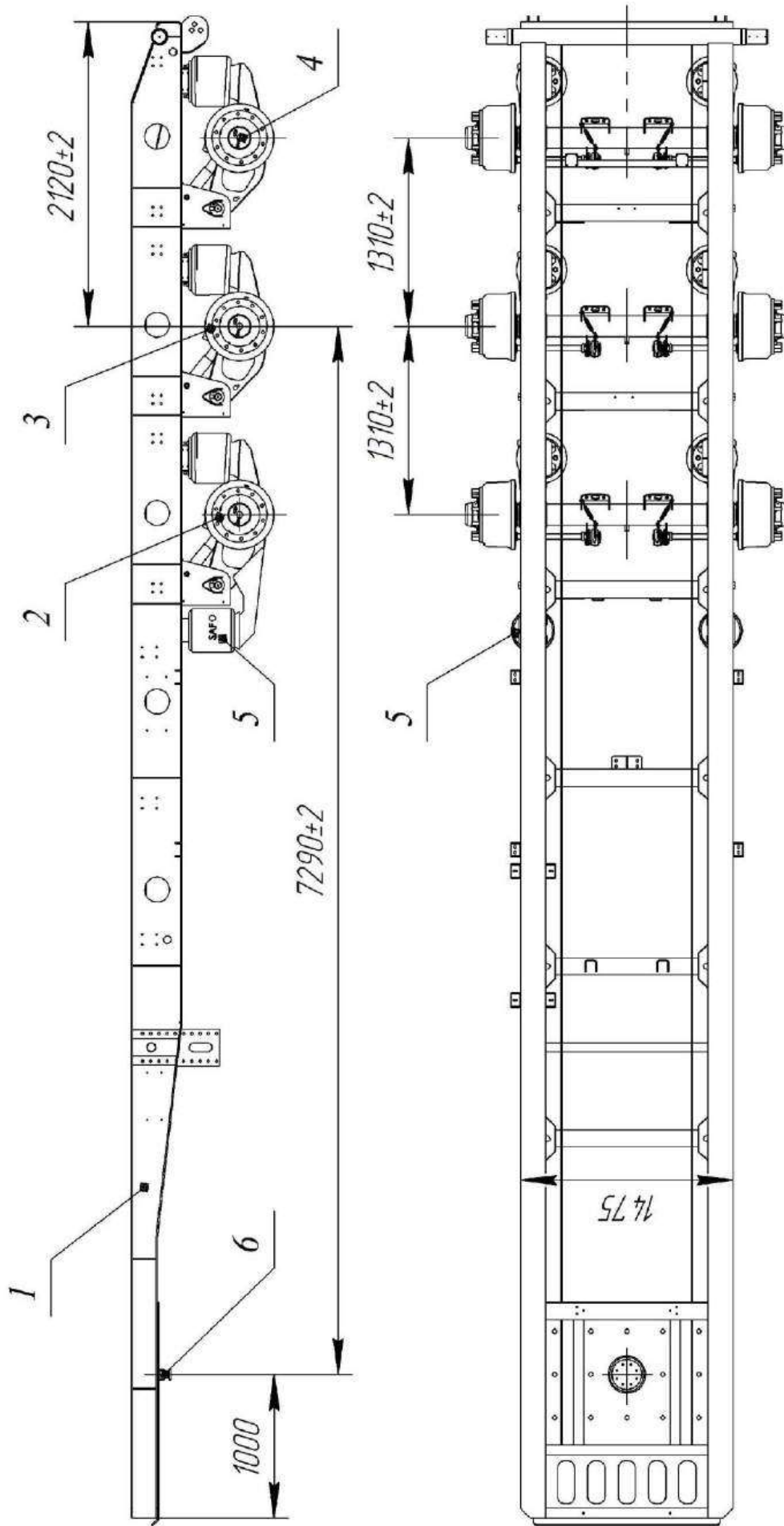
Закінчення таблиці 2.1

Назва параметра та розміру		Норма
20	Зусилля на важелі привода механізму підйому-опускання опорного пристрою, Н (кгс), не більше ніж	196 (20)
21	Зусилля для піднімання запасного колеса, Н (кгс), не більше ніж	490 (50)
22	Статичний кут бокового перекидання з повною масою разом з тягачем, градус, не менше ніж	25
23	Дорожній просвіт (під осями), мм, не менше ніж	340
24	Задній кут звисання при повній масі, рад (градус), не менше ніж	0,28 (16)
25	Колія коліс, мм	2 040±2
26	Максимальна швидкість руху з повним навантаженням по дорогах з твердим покриттям, км/год.	90
27	Габаритні розміри, мм, не більше ніж:	
	- довжина	11 500
	- ширина	2 600
	- висота	3 550

Зчіпний шворінь кріпиться до гнізда болтами. Над колесами осей встановлені крила і бризковики, які захищають виріб та транспорт, який рухається позаду, від забруднення багнюкою з коліс напівпричепи.

Кузов напівпричепи несучий, суцільнометалевий, оснащений розкривним заднім бортом з верхньою віссю обертання та механізмом запирання борта механічного типу, автоматичної дії. Кузов виконаний за технологією панельного збирання з листових матеріалів і складається з таких основних частин: підлога, борт лівий, борт правий, борт передній та відкривний з'ємний борт задній. Кожна панель складається з деталей виготовлених з листового матеріалу і не має замкнутих профілів. В задній частині кузов обладнаний бортом з верхньою віссю обертання, в який вмонтовано двоє розпашних дверей. Механізм запирання борта механічного типу, автоматичної дії та з ручним страхувальним фіксатором 5 (рисунок 2.1).

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		

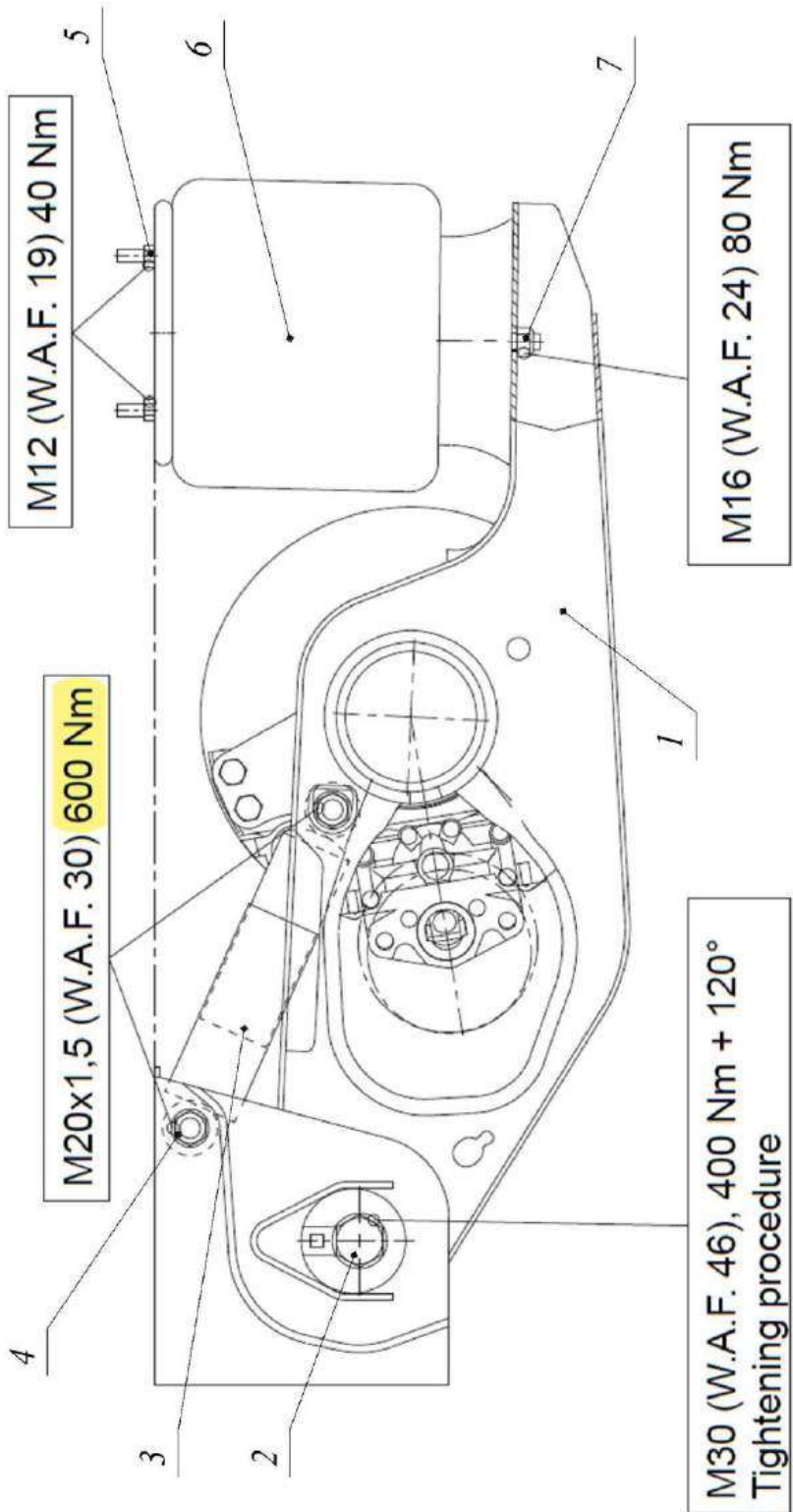


1-рама; 2-вісь передня; 3-вісь середня; 4-вісь задня; 5-механізм підйому осі; 6-шворінь

Рисунок 2.2 – Рама напівпричепа з установленими колісними осями

Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

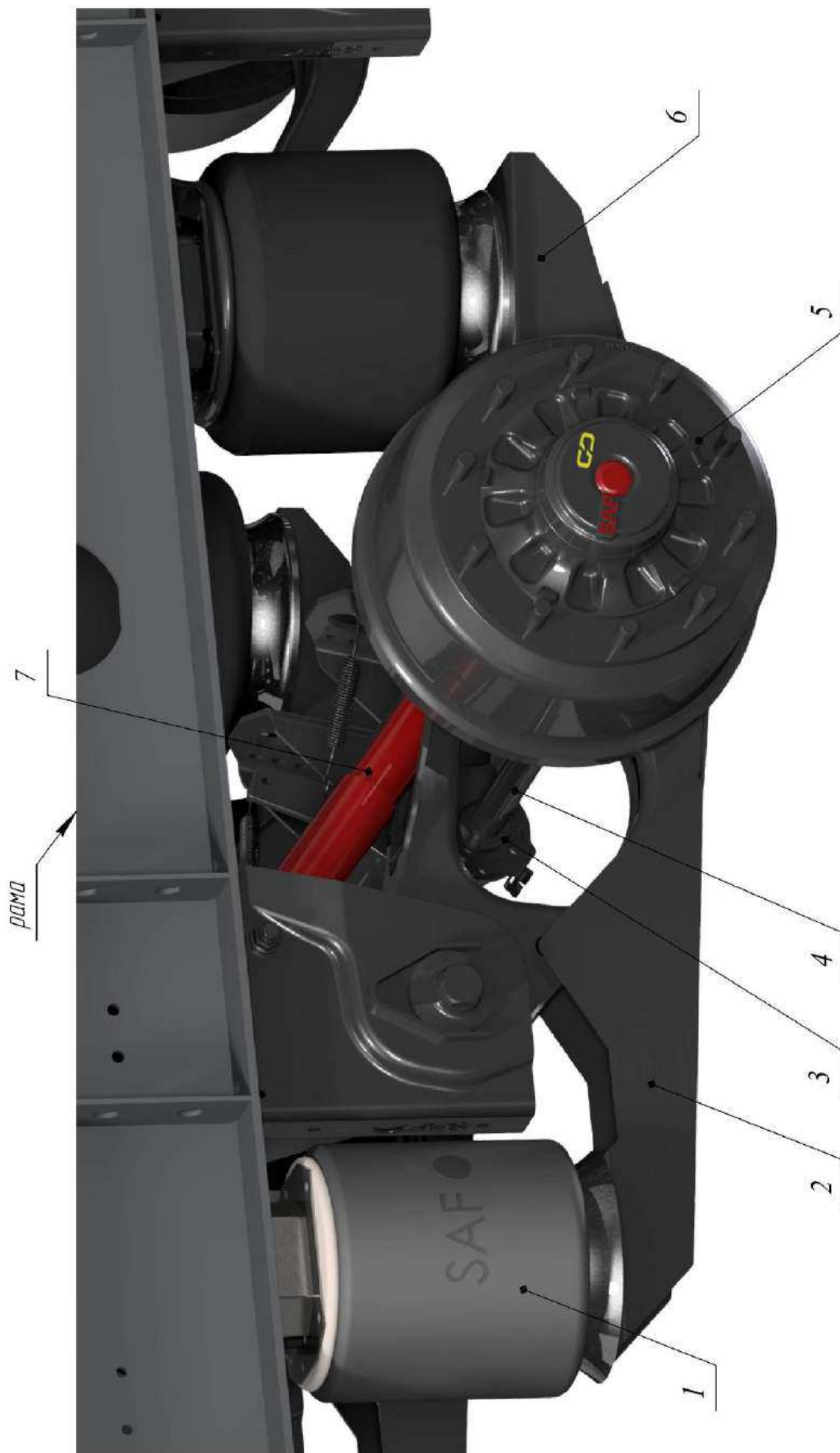
МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ



1-ресора; 2, 4, 5, 7-гайки; 3-амортизатор; 6-пневморесора

Рисунок 2.3 – Підвіска

Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
						26



1-механізм підйому осі; 2, 6-підвіска; 3, 5-гальмівний барабан; 4-вісь; 7-амортизатор

Рисунок 2.4 – Вісь напівпричепи в зборі

Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата

MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ

Арк.

27

На напівпричепі встановлюється три пневматичні залежні підвіски (рисунок 2.3). Перша вісь має механізм підйому (рисунок 2.4) і виконана з гальмівними камерами без пружинних енергоакумуляторів. Друга вісь обладнана датчиками EBS (ABS). Друга і третя вісі з гальмівними камерами з пружинними енергоакумуляторами. Пневматична підвіска дозволяє змінювати вантажну висоту напівпричепа за допомогою пневматичного крана, встановленого з лівої сторони рами напівпричепа. Необхідно періодично виконувати підтяжку гайок різьбових з'єднань при повністю завантаженому напівпричепі.

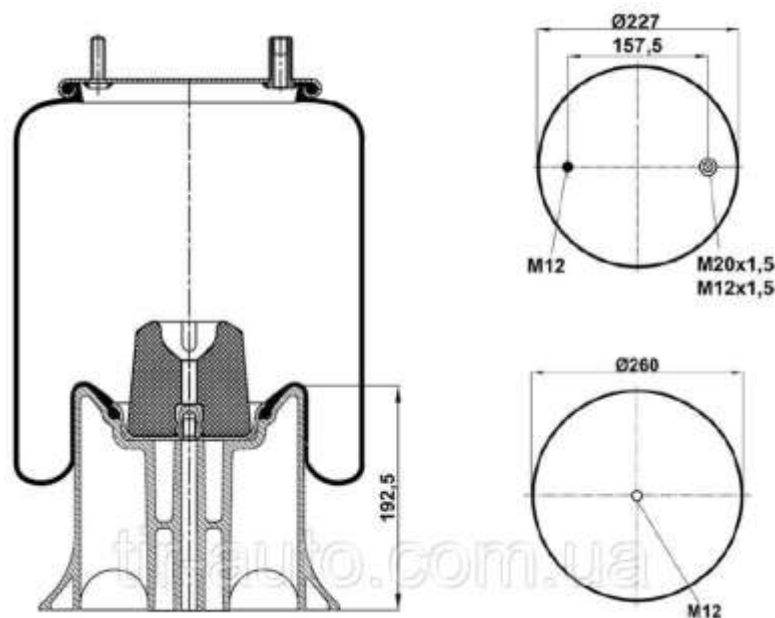


Рисунок 2.5 – Пневморесора в зборі

Гідрообладнання напівпричепа складається з гідроциліндра, маслопроводу (шланга), гідро сповільнювача і запірною пристрою. Нагнітання робочої рідини (оливи) в гідроциліндр виконується через запірний пристрій із гідросистеми тягача. Гідроциліндр напівпричепа підключений до загальної гідросистеми автопотяга, забезпечує перекидання і обмеження кута перекидання кузова до 41°, його опускання і зупинку в будь-якому проміжному положенні, а також автоматичну зупинку перекидання при перевантаженні напівпричепа. Управління гідроциліндром виконується з кабіни тягача. Гідроциліндр конструктивно

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		28

виконаний телескопічним з п'ятьма висувними ланками. Він встановлений в передній частини напівпричепа і закріплений шарнірно в опорах одним кінцем на кузові, а другим – на рамі напівпричепа. Для нормальної роботи гідрообладнання рекомендовано застосовувати спеціальні оливи для гідросистем, які містять у своєму складі проти спінювальні, проти емульсійні і проти зносні присадки. В'язкість оливи необхідно вибирати виходячи з умов кліматичного району експлуатації напівпричепа. Для дуже холодного клімату рекомендована в'язкість оливи повинна складати 22 сСт, для холодного – 46 сСт, для помірного – 68 сСт, для жаркого – 100 сСт. До гідроциліндра 4-ма болтами кріпиться гідро сповільнювач, котрий забезпечує повільне опускання кузова при зриві шланга живлення, тим самим, запобігаючи різкому падінню кузова і, як наслідок, пошкодженню рами напівпричепа і тягача.

## **2.2 Розробка розрахункової схеми та математичної моделі комбінованої пневморесори напівпричепа-самоскида**

З метою підвищення ефективності експлуатації напівпричепа-самоскида пропонується провести удосконалення конструкції пневморесор середньої та задньої осі шляхом встановлення у самі пневматичні балони конічних пружин (рис. 2.6). Конічні пружини мають низку конструктивних переваг перед стандартними циліндричними, що робить їх незамінними в умовах обмеженого простору або специфічних навантажень. При стисненні пружини спочатку працюють м'якіші витки, а потім, при більшому навантаженні, підключаються жорсткіші витки, забезпечуючи плавне зростання загальної жорсткості системи. Конічна пружина володіє прогресивною жорсткістю: на більш широкому (великому) кінці, де більше витків і більший діаметр, пружина м'якша і менш жорстка (легше стискається); на більш вузькому (маленькому) кінці, де менше витків і менший діаметр, пружина стає жорсткішою (потребує більшої сили для стиснення).

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		29

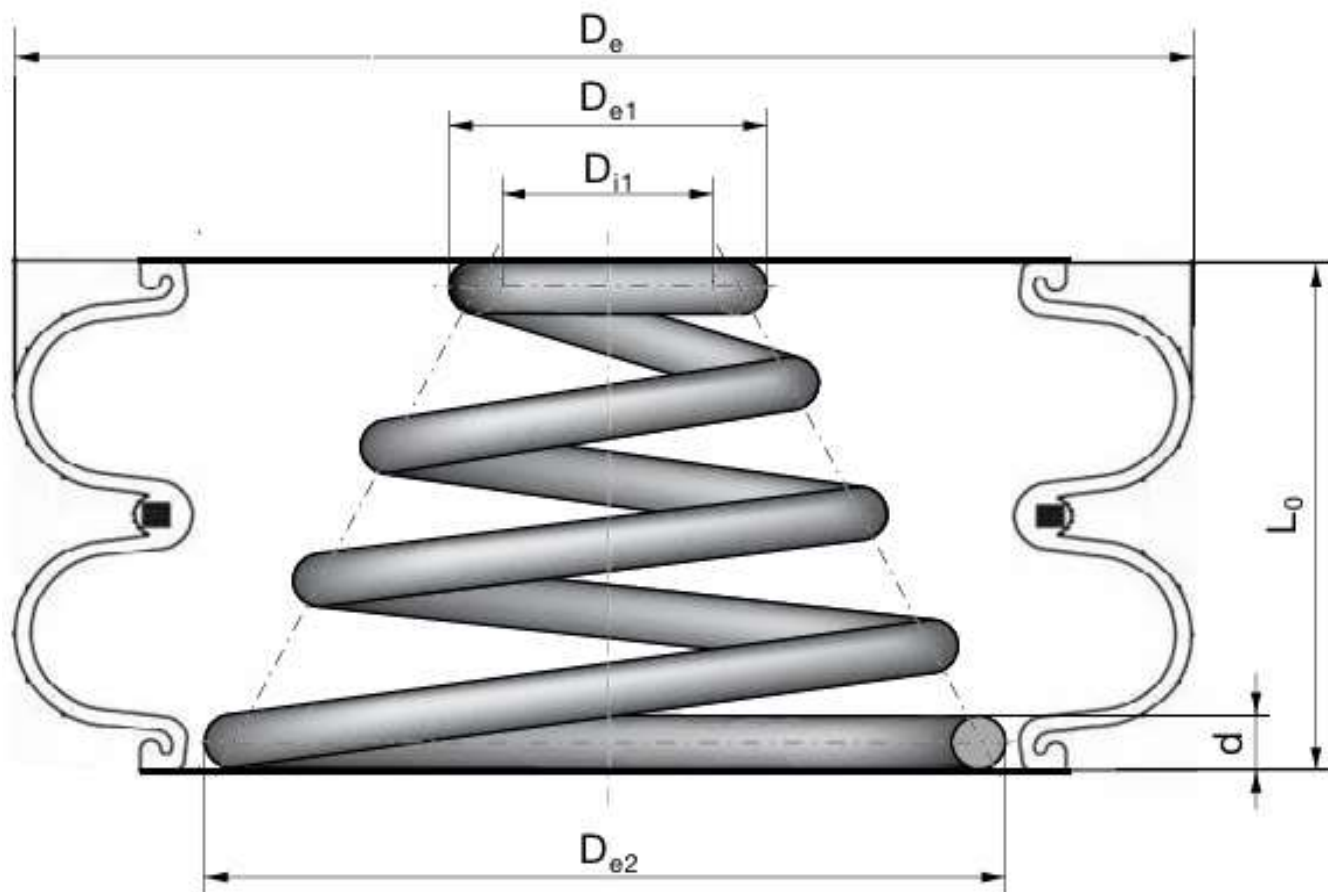


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема пневморесори Aircraft 2В-300 із встановленою конічною пружиною

Запропонована конструкція дасть можливість стабілізувати положення рами напівпричепа під час підйому кузова, коли робота пневматичної камери буде нестабільною.

В літературних джерелах [10], пружно-дисипативна система моделюється системою Фойгта – Кельвіна (рис. 3.7). При паралельному з'єднанні деформації елементів є однаковими, а загальне напруження  $\sigma$  дорівнює сумі напружень у лівій  $\sigma_1$  та правій  $\sigma_2$  вітці. Математична залежність між відносною деформацією  $\varepsilon$  і загальним напруженням  $\sigma$ , характеризується таким рівнянням:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = E\varepsilon + \alpha \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}, \quad (2.1)$$

					МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		30

де  $\sigma_1$ ;  $\sigma_2$  – напруження у лівій та правій вітці моделі;

$E$  – модуль пружності матеріалу (модуль Юнга);

$\varepsilon$  – відносна деформація;

$\alpha$  – коефіцієнт демпфування з'єднання.

Коефіцієнт демпфування системи згідно [109] визначається таким чином:

$$\alpha = \frac{\chi \cdot k}{2\pi \cdot \omega}, \quad (2.2)$$

де  $\chi$  – коефіцієнт гістерезисного поглинання;

$\omega$  – кругова частота, що визначається тривалістю силового імпульсу.

Для конічної пружини використовують формулу, що визначає еквівалентну жорсткість, яка враховує зміну діаметра:

$$k = \frac{Gd^4}{8D^3N} \quad (2.3)$$

де  $G$  – модуль зсуву матеріалу пружини (залежить від модуля Юнга);

$d$  – діаметр дроту;

$D$  – середній діаметр пружини;

$N$  – кількість витків.

Для конічної пружини  $D$  є середнім між найбільшим і найменшим діаметрами витків.

					МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		31

### 2.3 Числова реалізація моделі комбінованої пневморесори

Для дослідження побудуємо імітаційну модель комбінованого пневмоамортизатора в програмному середовищі MapleSim [11]. Для цього скористаємося наявними бібліотеками моделей твердих та пружних тіл, а також моделей силових факторів, що спричиняють абсолютну деформацію пружних тіл (рис. 2.7).

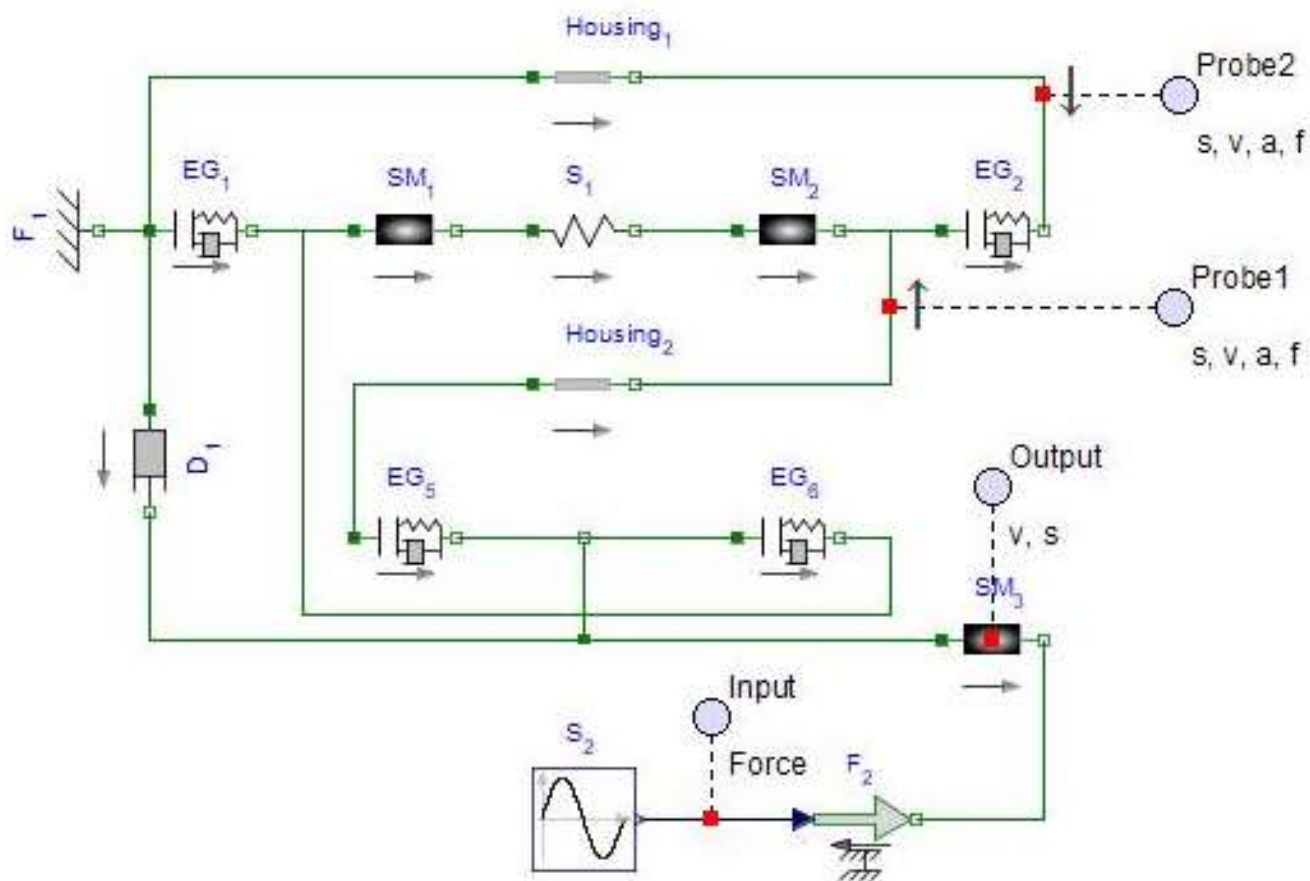
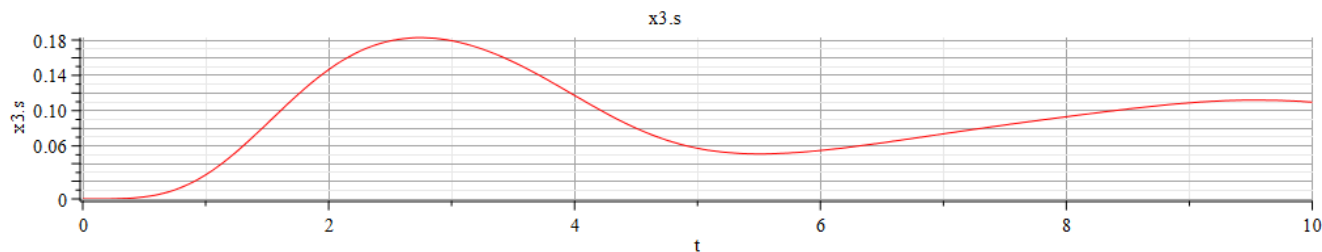


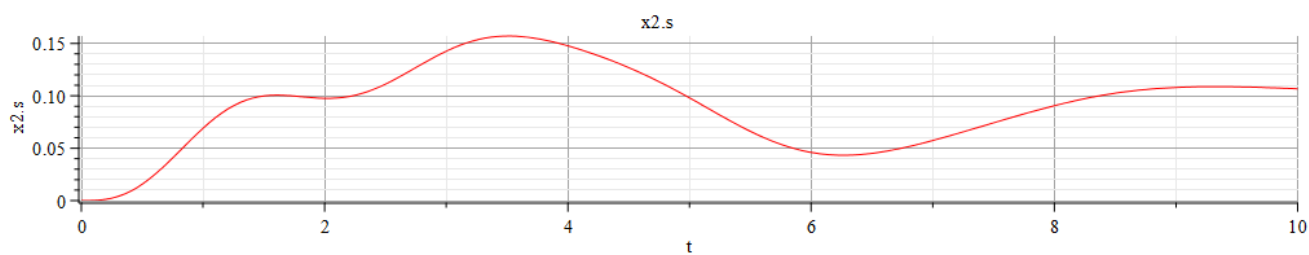
Рисунок 2.7 – Імітаційно-числова модель комбінованого пневмоамортизатора

Змодельуємо роботу пружини при дії вертикального навантаження стиску  $F=150\div 300\text{кН}$ , максимальному ході пружини  $0,2\text{м}$ . Діаметр нижньої основи пружини  $D_{e2}=30\text{см}$ , діаметр дроту  $d=12\text{мм}$ , кількість витків  $N=4$ , модуль зсуву сталі  $G=80\text{ГПа}$ . Час реалізації процесу моделювання приймемо  $10\text{с}$ .

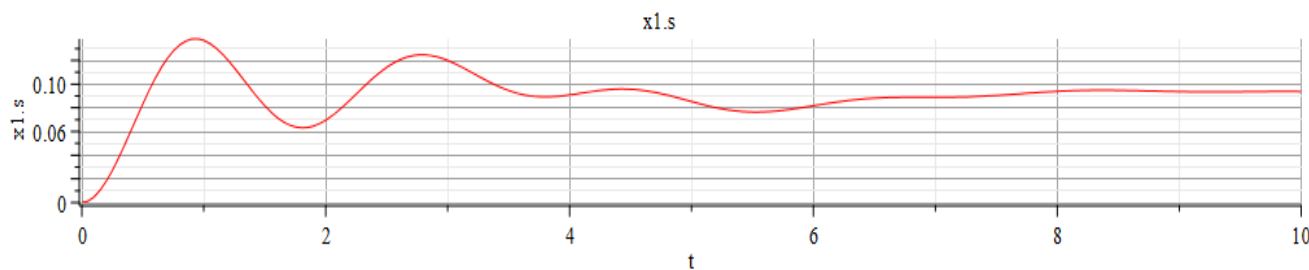
					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		32



a)



б)



в)

Рисунок 2.8 – Результати імітаційного моделювання при зміні жорсткості кінчної пружини комбінованого пневмоамортизатора

а) – мала жорсткість; б) – середня жорсткість; в) велика жорсткість

Як показують результати моделювання жорсткість конічної пружини в процесі стиснення збільшується (має прогресивний характер). При стисненні на 0,2м під дією максимальної сили 300кН середня жорсткість буде становити  $1,5 \times 10^6$  Н/м. Якщо на початку стиснення жорсткість була мінімальною, то в міру прикладання навантаження вона неперервно зростала через поступове виключення найбільших витків із деформації. Таким чином, при піднятті кузова на максимальний кут при виході з ладу пневматичної камери (чи обох камер) конічні пружини через поступове збільшення жорсткості дадуть змогу уникнути перекидання напівпричепа.

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		34

### 3. РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРУЖНОГО ЕЛЕМЕНТА ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ НАПІВПРИЧЕПА-САМОСКИДА

#### 3.1 Вибір вихідних даних та побудова розрахункової схеми

Проведемо дослідження пружно-дисипативної механічної системи комбінованого амортизатора ходової частини напівпричепа-самоскида для якого підберемо наступні вихідні дані [9, 13]: маса зосереджена на верхньому торці пружини  $m = 1,0$  кг; зведена жорсткість пружини  $c_1 = c_2 = 50$  Н/м; власна частота пружини  $\omega = 18$  рад/с; кут схилю осі пружини (кут підйому кузова)  $\alpha = 60^\circ$ ; коефіцієнт опору  $\mu = 10 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ ; коефіцієнти навантаження  $a = b = 4$  Н; (рис. 3.1).

Необхідно визначити закон руху зосередженої маси  $D$  на торці конічної пружини, якщо в початковий момент видовження пружини з еквівалентною жорсткістю  $\lambda_0 = 3$  см, а зосередженій масі надана початкова швидкість  $V_0 = 60$  см/с спрямована до точки  $A$ . Вважатимемо, що вісь пружини на момент підняття кузова буде йому паралельною. Також проведемо дослідження отриманого закону руху на інтервалі  $t \in [0; 2c.]$ .

Спочатку зображаємо зосереджену масу  $D$ , який прикріплений до пружини, що еквівалентна заданим пружинам, у поточний момент часу (рис. 3.1), на якому:  $l$  – довжина недеформованої пружини;  $\lambda_{ст}$  – її статична деформація;  $O$  – початок осі  $Ox$ ;  $x$  – поточна координата вантажа  $D$ .

Жорсткість еквівалентної пружини:

$$c = c_1 + c_2 = 50 + 50 = 100 \text{ Н/м.}$$

Статична деформація еквівалентної пружини:

					МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		35

$$\lambda_{cm} = \frac{mg \sin 60^\circ}{c} = \frac{1 \cdot 9,8 \cdot 0,866}{100} = 0,085 \text{ м} = 8,5 \text{ см.} \quad (3.1)$$

Зображаємо сили, що діють на масу  $D$  (рис. 3.1):  $m\vec{g}$  – вага вантажа;  $\vec{N}$  – нормальна реакція напрямної  $AB$ ;  $\vec{R}$  – сила опору, величину якої визначають за формулою:  $R = \mu \cdot V = 10\dot{x}$ ;  $\vec{F}$  – сила пружності пружини, величину якої визначають за законом Гука:  $F = c\Delta l = c(x + \lambda_{cm})$ ;  $\vec{Q}$  – зовнішня вимушуюча сила, яка змінюється за законом:

$$Q = a \sin \omega t + b \cos \omega t = 4 \sin 18t + 4 \cos 18t, \text{ Н.}$$

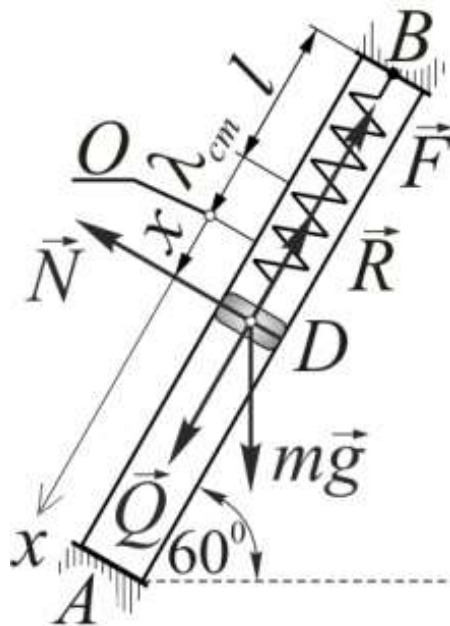


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема пружини із зосередженою масою та прикладеними до неї силами

Надалі вибираємо систему координат. Початок осі  $O$  розміщуємо у положення статичної рівноваги. Саму вісь  $Ox$  проводимо уздовж напрямної  $AB$  (рис. 3.1).

					МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		36

### 3.2 Складання та розв'язок рівняння руху торця пружини

Складаємо диференціальне рівняння руху зведеної маси [13] в проекції на вісь  $Ox$ :

$$m\ddot{x} = \sum_{i=1}^n X_i;$$

$$m\ddot{x} = Q + mg \sin 60^\circ - R - F.$$

Підставляємо значення сили пружності і розкриваємо дужки, отримуємо:

$$m\ddot{x} = Q + mg \sin 60^\circ - R - cx - c\lambda_{\text{ст}},$$

або з урахуванням прийнятих числових даних

$$\ddot{x} = 4 \sin 18t + 4 \cos 18t - 10\dot{x} - 100x;$$

або

$$\ddot{x} + 10\dot{x} + 100x = 4 \sin 18t + 4 \cos 18t; \quad (3.2)$$

Отримане рівняння (3.2) є диференціальним рівнянням руху зведеної маси  $D$ . З математичної точки зору це є неоднорідне лінійне диференціальне рівняння другого порядку зі сталими коефіцієнтами. Розв'язання його складається з двох частин:

$$x = x_1 + x_2,$$

де  $x_1$  – загальний розв'язок відповідного однорідного рівняння:

$$\ddot{x}_1 + 10\dot{x}_1 + 100x_1 = 0; \quad (3.3)$$

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		37

$x_2$  – частинний розв’язок неоднорідного рівняння.

Для знаходження  $x_1$  складаємо характеристичне рівняння:

$$K^2 + 10K + 100 = 0;$$

і находимо його корені  $K_{1,2} = -5 \pm \sqrt{25 - 100} = -5 \pm 8,66i$ .

Так як корені характеристичного рівняння є комплексними, тому розв’язок рівняння (3.2) має вигляд:

$$x_1 = e^{-5t} (C_1 \cos 8,66t + C_2 \sin 8,66t), \quad (3.4)$$

де  $C_1, C_2$  – сталі інтегрування.

Частинний розв’язок неоднорідного рівняння  $x_2$ , виходячи з вигляду правої частини рівняння (3.4)

$$x_2 = C_3 \cos 18t + C_4 \sin 18t. \quad (3.5)$$

Підставляємо (3.5) в (3.4):

$$\begin{aligned} & -324C_3 \cos 18t - 324C_4 \sin 18t - 180C_3 \sin 18t + \\ & + 180C_4 \cos 18t + 100C_3 \cos 18t + 100C_4 \sin 18t = \\ & = 4 \sin 18t + 4 \cos 18t \end{aligned}$$

і прирівнюємо коефіцієнти при однойменних функціях  $\sin 18t$  і  $\cos 18t$  в обох частинах рівняння

$$-324C_3 + 180C_4 + 100C_3 = 4; \quad -324C_4 - 180C_3 + 100C_4 = 4$$

					МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		38

й отримуємо систему двох рівнянь:

$$-224C_3 + 180C_4 = 4; \quad -180C_3 - 224C_4 = 4,$$

з якої знаходимо:

$$\Delta = 224^2 + 180^2 = 82576;$$

$$\Delta_3 = 4(-224 - 180) = -1616; \quad \Delta_4 = 4(-224 + 180) = -176,$$

$$C_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta} = -\frac{1616}{82576} = -0,02 \text{ м} = -2 \text{ см};$$

$$C_4 = \frac{\Delta_4}{\Delta} = -\frac{176}{82576} = -0,002 \text{ м} = -0,2 \text{ см}.$$

Тоді загальний розв'язок неоднорідного диференціального рівняння (3.2)

$$x = e^{-5t} (C_1 \cos 8,66t + C_2 \sin 8,66t) - 2 \cos 18t - 0,2 \sin 18t, \text{ см.} \quad (3.6)$$

Для знаходження сталих інтегрування рівняння (3.6) диференціюємо за часом:

$$V = [8,66(C_2 \cos 8,66t - C_1 \sin 8,66t) - 5(C_1 \cos 8,66t + C_2 \sin 8,66t)] \cdot e^{-5t} + 36 \sin 18t - 3,6 \cos 18t \quad (3.8)$$

і підставляємо початкові умови (при  $t = 0$ ,  $V_0 = 60 \text{ см/с}$ ;

$x_0 = \lambda_0 - \lambda_{\text{ст}} = 3 - 8,5 = -5,5 \text{ см}$ ) в рівняння (3.6) і (3.7):

					МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		39

$$-5,5 = C_1 - 0,02 \Rightarrow C_1 = -3,5 \text{ см};$$

$$60 = -5C_1 + 8,66C_2 - 3,6 \Rightarrow C_2 = 5,32 \text{ см}.$$

Знайдені величини підставляємо в рівняння (3.6) та отримуємо закон руху зведеної маси  $D$ :

$$x = e^{-5t} (5,3 \sin 8,66t - 3,5 \cos 8,66t) - 2 \cos 18t - 0,2 \sin 18t, \text{ см. (3.9)}$$

Отже, отримана залежність (3.9) є шуканим законом руху зведеної маси  $D$  і торця пружини.

### 3.3 Дослідження закону руху торця пружини в обраному часовому інтервалі

У відповідності до (3.9) закон руху зведеної маси  $D$  на торці пружини має вигляд:

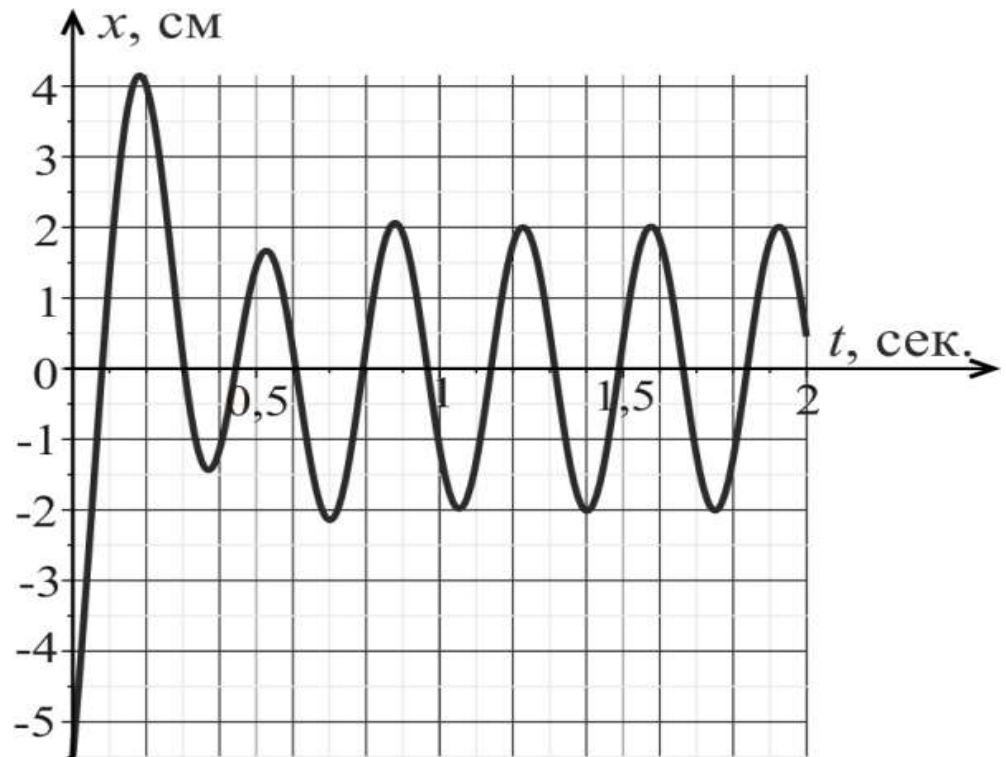
$$x(t) = e^{-5t} (5,3 \sin 8,66t - 3,5 \cos 8,66t) - 2 \cos 18t - 0,2 \sin 18t, \text{ см.}$$

Це рівняння описує рух системи з загасанням та зовнішньою вимушуючою силою, що характерно для фізики коливань або систем керування [13]. Воно є загальним розв'язком лінійного неоднорідного диференціального рівняння другого порядку. Множник  $e^{-5t}$  вказує на експоненціальне зменшення амплітуди з часом через демпфування (тертя або опір). Підставляючи в останній вираз значення часу з інтервалу  $t \in [0; 2\pi]$ , отримуємо числові значення координати торця пружини (табл.3.1), за яким надалі будуємо графічну залежність (рис. 3.2).

					МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		40

Таблиця 3.1

$t, \text{с}$	$x, \text{см}$
0	-5,5
0,2	4,013
0,4	-1,154
0,6	0,270
0,8	0,334
1	-1,129
1,2	1,767
1,4	-2,014
1,6	1,832
1,8	-1,273
2	0,454

Рисунок 3.2 – Закон коливального руху тіла  $D$ 

Таким чином, отримана графічна залежність координати руху торця пружини у віднульовому циклі від часу аналітичним методом з достатньою точністю повторює графічну залежність, отриману методом імітаційного моделювання, що підтверджує адекватність розробленої аналітичної та імітаційної моделі.

					МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		41

## 4. ОХОРОНА ПРАЦІ У ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕННЯХ ТЗОВ “НАДВІРНЯНСЬКА АВТОБАЗА”

### 4.1 Аналіз потенційно-небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища

При обслуговуванні та ремонті рухомого складу автомобільного транспорту виникають різного роду небезпеки та шкідливі фактори для працюючого персоналу. В агрегатному відділенні здійснюють розбирання, ремонт, збирання і випробовування вузлів та механізмів вантажних автомобілів та спецтехніки. Дане відділення обладнане монтажним-демонтажним обладнанням та інструментом, установками, та стендами, які приведені в таблиці 4.1. В даній таблиці також приведений аналіз потенційно-небезпечних виробничих факторів.

Таблиця 4.1 -Аналіз потенційно-небезпечних факторів у агрегатній дільниці

Джерело небезпеки	Характеристика небезпеки
1. Стенд для ремонту редукторів і коробок передач	Виривання важких деталей з рук під час монтажу і демонтажу на стенд
2. Стенд для ремонту задніх мостів – 2450; [15, с. 27]	Виривання важких деталей з рук під час монтажу, демонтажу на стенд
3. Верстак слюсарний	Виривання важких деталей з рук або верстака під час монтажу, демонтажу
4. Стенд для ремонту двигунів К-185	Падіння двигуна, втрата стійкості.
5. Стенд для ремонту карданних валів і рульового керування – 3067; [15, с. 27]	Виривання важких деталей з рук під час монтажу і демонтажу на стенд
7. Підвісна кран-балка НКМ-201 Q= 1,5 т; [16, с. 182]	Можливе травмування шляхом падіння вантажів при недостатньо надійному зачепленні.
8. Радіально - свердлильний верстат - НРС- 15, 2кВт; [16, с. 183]	Попадання стружки в очі. Можливе ураження електрострумом $U = 380 \text{ В}$ , $I = 10 \text{ А}$ , $\Gamma = 50 \text{ ГЦ}$ , $L_p=78\text{дБ}$ , $L_a=85\text{дБА}$

9. Пристрій для розбирання, збирання і регулювання зчеплення	Можливе травмування рук при недотриманні техніки безпеки
10. Настільний прес ОКС-918, P=2,5МПа	Пошкодження органів людини внаслідок попадання їх під рухому частину

В таблиці 4.2 приведена характеристика речовин, які мають місце в агрегатному відділенні.

Таблиця 4.2 - Характеристика шкідливих речовин.

Назва речовини або матеріалу	ГДК речовин, мг/м <sup>3</sup>		Перша допомога при отруєнні
	в робочій зоні	в атмосфері	
1. Бензин	100	5	Свіже повітря
2. Гас	300	10	Свіже повітря

#### 4.2 Забезпечення нормальних умов праці

Підприємство розташоване у м. Надвірна. Загальна площа підприємства становить 3,1 га. На території розміщені виробничий та адміністративний корпус, стоянка, мийка автомобілів, очисні споруди, контрольно-технічний пункт та автозаправна станція.

Велика увага приділяється обладнанню робочих місць з метою полегшення умов праці та її охорони. Планування зон та ділянок показано у графічній частині магістерської роботи.

На підприємстві крім виробничих, допоміжних і адміністративних приміщень необхідні також санітарно - побутові приміщення і медпункт, які розміщені в адміністративному корпусі. Улаштування санітарно-побутових приміщень відповідає ДСТУ П.92-96

Основні санітарно-побутові приміщення згідно [17, с. 80] приведені у таблиці 4.3.

					MP.ATm - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		43

Таблиця 4.3 Санітарно-побутові приміщення

Назва приміщення	Назва побутових пристроїв	Норми площі на одного чоловіка	Кількість працюючих	Фактична площа, м <sup>2</sup>
1.Гардеробні блоки	Шафа двійна 50×40	1,1	257	250
2. Санвузли	Унітаз	Один унітаз – 0,9 м <sup>2</sup> на 18 працюючих	257	12
3.Кімната відпочинку	Місця для сидіння	0,2 м <sup>2</sup> на одного чоловіка	257	50
4. Медпункт	Медичне обладнання	Загальний	257	30

#### 4.2.1 Метеорологічні умови на робочому місці

Метеорологічні умови оцінюються сукупністю таких факторів, як температура, вологість, рух повітря, барометричний тиск, інфрачервоне випромінювання. Організм працюючого знаходиться постійно під впливом факторів метеорологічних умов. В таблиці 4.4 приведені оптимальні значення метеорологічних умов в робочих зонах виробничих приміщень згідно ДСТУ 12.1.005-96

Таблиця 4.4 - оптимальні значення метеорологічних умов в робочих зонах виробничих приміщень.

Характеристика приміщень	Категорія	Період поточного року	Температура, °С.	Відносна Вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Агрегатна дільниця	III	холодний	13-19	Не більше 75	Не більше 0,5
	III	теплий	13-26	Не більше 75	0,3-0,7

#### 4.2.2 Характеристика вентиляції.

Для підтримки оптимального стану повітряного середовища у виробничих і адміністративно-побутових приміщеннях обладнані центральне

					МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		44

опалення і приточно-витяжна вентиляція. В таблиці 4.5 наведена характеристика вентиляції агрегатної дільниці.

Таблиця 4.5 - Характеристика вентиляції агрегатно-моторної дільниці

Назва дільниці	Тип вентиляції	Кратність повітрообміну	Вентиляційне обладнання
Агрегатна	приточно-витяжна	5	Відцентровий вентилятор Ц4-76. V = 2640 м <sup>3</sup> /добу

Згідно вимог техніки безпеки система вентиляції не повинна переохолоджувати або перегрівати людину. Вентиляція виконана пожежо-, електро- та вибухобезпечною.

#### 4.2.3 Характеристика освітленості.

У виробничих умовах освітленість повинно забезпечити хорошу видимість на робочому місці, не визиваючи втоми очей.

У всіх виробничих і допоміжних приміщеннях, де здійснюється ТО і ПР повинно максимально використовуватись природне світло. Оптимальне значення та характеристика освітлення агрегатної дільниці наведена в таблиці 8.6, згідно ДСТУ П-4-99

Таблиця 4.6 - Характеристика освітлення агрегатної дільниці

Назва дільниці	Освітленість				Тип світильника
	штучне, лк		звичайне, %		
	комбінова	загаль	аварій	евакуацій	
Агрегатна	750	300	15	0.5	ВЗГ-200

#### 4.2.4 Міроприємства по зниженню шуму, вібрації, ультразвуку та електромагнітного випромінювання.

Електромагнітні хвилі при дії на людину визивають нагрів його організму. При дії хвиль високих і надвисоких частот живі тканини ведуть себе як діелектрики з деякою іонною провідністю, обумовленою електричними властивостями вмісту кліток і міжклітинної рідини.

Методи захисту від електромагнітного поля:

1. екранування робочого місця;
2. віддалення робочого місця від джерела електромагнітного поля;
3. раціональне розміщення обладнання;
4. раціональні режими роботи і обслуговуючого персоналу;
5. застосування засобів індивідуального захисту.

Захист від дії вібрації поділяється на колективні методи, які включають в себе методи пониження вібрації впливанням на джерело збудження і методи зниження вібрації на шляхах їх поширення, та індивідуальні методи із використанням засобів індивідуального захисту.

До колективних методів відносяться:

1. загороджуючі засоби;
2. віброізоляція;
3. вібропоглинання;
4. віброгашення;
5. дистанційне управління.

Методи захисту від шуму поділяються на колективні та індивідуальні.

До колективних методів відносяться:

1. технічні засоби боротьби;
2. конструктивні рішення;
3. технологічні рішення;
4. будівельно-акустичні міроприємства;
5. застосування дистанційного управління;
6. організаційні міроприємства.

#### 4.2.5 Засоби індивідуального захисту.

Засоби індивідуального захисту використовуються для підвищення працездатності та здоров'я людини в процесі роботи на протязі всього робочого часу. Засоби індивідуального захисту поділяються на засоби індивідуального захисту слуху, органів зору, тіла людини.

Засоби індивідуального захисту агрегатної дільниці наведені в таблиці 4.7.

					МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		46

Таблиця 4.7 - Засоби індивідуального захисту.

Шкідливий	Призначення	Назва засобів	Професія
Механічні пошкодження	1. Захист очей 2. Захист	Захисні окуляри ГОСТ 12.4.013-85 Робочі	Слюсар
Шум з перевищенням ГДК до 10 дБ	Захист органів слуху	Протишумні навушники ВЦННІОТ-2М протишумні вкладиші	слюсар, майстер

#### 4.3 Забезпечення безпеки технологічних процесів, монтажу та експлуатації обладнання.

Органом управління охороною праці на підприємстві являється головний інженер. В безпосередньому підпорядкуванні якого знаходиться інженер по ТБ, який виконує управління охороною праці в цілому на підприємстві, і зокрема в агрегатній дільниці.

##### Техніка безпеки в агрегатній дільниці.

###### Перед початком роботи:

- одягнути і привести в порядок спец, одяг;
- підготувати робоче місце;
- перевірити справність інструменту обладнання;
- при виявленні несправності інструментів, обладнання, електропостачання - повідомити майстра ремонтної зони.

###### Під час роботи:

- зняття транспортування і встановлення вузлів і агрегатів на стенди проводити тільки з допомогою піднімально-транспортних засобів;
- розбирання і збирання агрегатів виконувати тільки на столі або на стендах при допомозі знімачів і відповідних пристроїв;
- при збиранні і випробовуванні, агрегат надійно закріпити на стенді;

					МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		47

- зняття і установку пружин проводити з допомогою спеціальних пристроїв;
- зняті деталі складувати на стелажах;
- забороняється застосовувати етилований бензин для миття деталей і вузлів;
- не допускати попадання мастильних матеріалів на підлогу;
- при отриманні травми на виробництві, негайно звертатися за допомогою і повідомити про даний випадок майстру рем. зони.

Після закінчення роботи:

- вимкнути обладнання і привести робоче місце в порядок;
- прибрати інструменти, пристрої в відведене для цього місце;
- повідомити майстру про всі недоліки, виявлені під час роботи;
- заборонено мити руки в маслі, бензині, керосині і витирати їх ганчір'ям, забрудненим тирсою і стружкою.

Також існують і суб'єктивні засоби захисту. До них відносяться:

1. сигнальні пристрої, які можуть бути як світловими так і звуковими;
2. попереджувачі знаки і надписи, які попереджають працюючих про небезпеку;
3. контрольно-вимірювальні прилади, які дозволяють слідкувати за станом працюючого об'єкту або процесу і регулювати його в відповідних межах;
4. умовне фарбування, яке використовують щоб проінформувати працюючих про характер небезпеки.

Технічні міри захисту від виявлених потенційно-небезпечних виробничих факторів згідно [17, с. 108] наведені в таблиці 4.8.

Для забезпечення безпеки монтажу слід обов'язково дотримуватись правил техніки безпеки встановлення та конкретної групи устаткування.

При монтажі слід виконувати такі вимоги:

- при монтажі великогабаритного обладнання слід перевірити кріплення;
- навантажувати підйомник не вище його паспортної вантажопідйомності;
- електропривід підйомника повинен відповідати вимогам безпечної роботи;
- стан канатів повинен задовольняти вимогам ГОСТ 25573-82;
- у конструкції рами не повинно бути жодних тріщин і викривлень;
- знос гаку не повинен перевищувати 10% його первинної величини.

При монтажі гідравлічного підіймача повинно бути:

1. приєднання гумових рукавів до гідроциліндра, вхідного штуцера, роздавального трубопроводу повинно бути міцним і здійснюватись тільки за допомогою штуцерів чи кінців із справною різьбою і стяжних хомутів;
2. робочий пусковий механізм повинен бути:

					МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		48

2.1 розташований так, щоб виключити можливість випадкового включення;

2.2 влаштований так, щоб при знятті тиску від руки оператора автоматично закривався впускний клапан.

При роботі на обладнанні, яке живляться від електроенергії забороняється:

- включати обладнання при несправності кабелю живлення і відсутності надійного заземлення електрообладнання;
- проводити роз'єднання штепсельного з'єднання при включеному двигуні;
- виконувати роботи по агрегатній дільниці без відключення його від джерела енергії, зламаним і зношеним інструментом.

При роботі на підйомачі забороняється:

- проводити ремонтні роботи, не перевіривши надійність кріплення автобуса на підйомачі;
- проводити роботи на підйомачі, у якому порушене фундаментне кріплення;
- не допускається експлуатація підйомача, у якому пошкоджено раму або відсутня необхідна кількість кріпильних елементів.

Таблиця 4.8 - Технічні міри захисту від виявлених потенційно-небезпечних виробничих факторів

Небезпечний фактор виробничого середовища	Вибраний захисний пристрій	Технічна характеристик а пристрою або засобу	Місце установки, строки використання
Небезпека Електро-травматизму	1. Індивідуальн і засоби захисту 2. Заземлення	Діелектричні рукавиці ТУ38-40- 632-72	Електроточило, радіально-свердлильний верстат
Небезпека травми за рахунок падіння важких предметів	1. Надійне кріплення 2. Поставити упор	Дотримання правил техніки безпеки	Стенд для обкатки коробок передач, двигунів

#### 4.4 Розрахунок вентиляції агрегатної дільниці

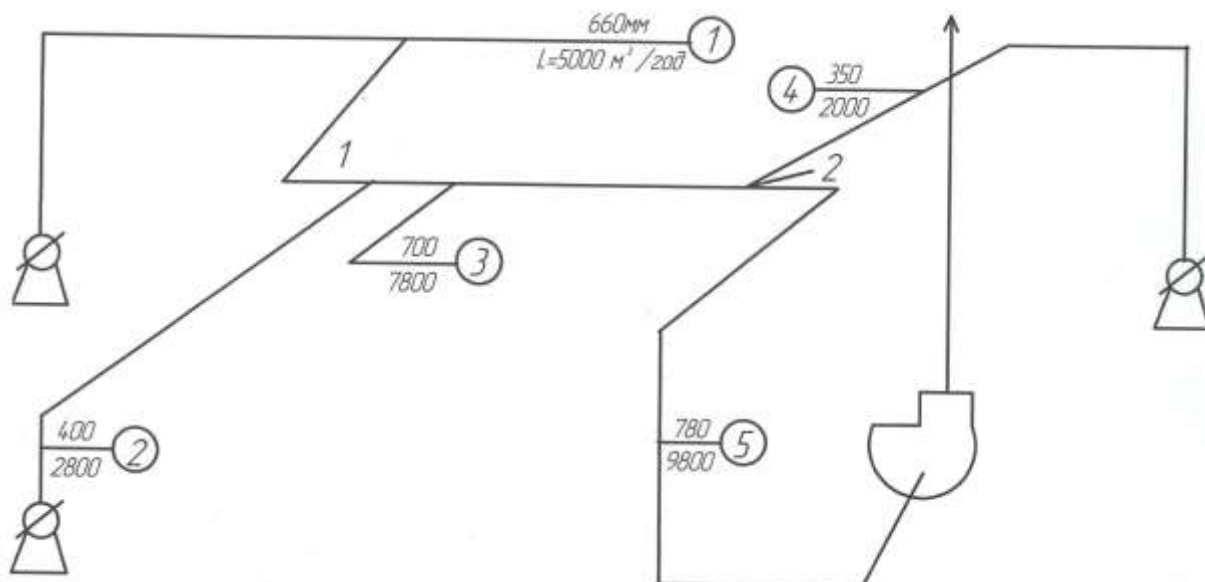


Рисунок 4.1.- Схема вентиляції агрегатної дільниці

Розрахунок проводимо з найбільш відділеної точки повітропроводу. Приймаємо швидкості руху повітря в трубопроводі [18, с. 193] для п'яти ділянок:

$$\begin{aligned} V_1 &= 4 \text{ м/с}; & V_4 &= 5,5 \text{ м/с}; \\ V_2 &= 5 \text{ м/с}; & V_5 &= 5,5 \text{ м/с}. \\ V_3 &= 7,5 \text{ м/с}; \end{aligned}$$

Довжини ділянок трубопроводу агрегатної дільниці рівні:

$$\begin{aligned} l_1 &= 12 \text{ м}; & l_4 &= 10 \text{ м}; \\ l_2 &= 10 \text{ м}; & l_5 &= 12 \text{ м}. \\ l_3 &= 3 \text{ м}; \end{aligned}$$

По номограмі [17, с. 193] намічаємо діаметри повітропроводів і уточнюємо їх при виборі трійників:

$$\begin{aligned} d_1 &= 660 \text{ мм}; & d_4 &= 350 \text{ мм}; \\ d_2 &= 400 \text{ мм}; & d_5 &= 780 \text{ мм}. \\ d_3 &= 700 \text{ мм}; \end{aligned}$$

Розраховуємо дійсні значення швидкості за формулою:

$$V = \frac{4L}{\pi d^2}. \quad (4.1)$$

$$V_1 = \frac{4 \times 5000}{\pi \times 0.66^2 \times 3600} = 4,06 \text{ м/с}; \quad R_1 = 0,25 \text{ Па/м};$$

$$V_2 = \frac{4 \times 2800}{\pi \times 0.4^2 \times 3600} = 6,15 \text{ м/с}; \quad R_2 = 1,0 \text{ Па/м};$$

									Арк.
									50
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ				

$$V_3 = \frac{4 \times 7800}{\pi \times 0.7^2 \times 3600} = 8,25 \text{ м/с};$$

$$R_3 = 0,9 \text{ Па/м};$$

$$V_4 = \frac{4 \times 2000}{\pi \times 0.35^2 \times 3600} = 5,7 \text{ м/с};$$

$$R_4 = 1,0 \text{ Па/м};$$

$$V_5 = \frac{4 \times 9800}{\pi \times 0.78^2 \times 3600} = 5,7 \text{ м/с};$$

$$R_5 = 0,4 \text{ Па/м}.$$

Визначаємо питомі витрати тиску на тертя [18, с. 193] і обчислюємо втрати на тертя на кожній ділянці за формулою:

$$\Delta P_{mpi} = \ell_i \cdot R_i. \quad (4.2)$$

$$\Delta P_{mp1} = 12 \times 0,25 = 3 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{mp4} = 10 \times 1 = 10 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{mp2} = 10 \times 1 = 10 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{mp5} = 14 \times 0,4 = 5,6 \text{ Па}.$$

$$\Delta P_{mp3} = 3 \times 0,9 = 2,7 \text{ Па};$$

$$\sum \Delta P_{mp} = 3 + 10 + 2,7 + 10 + 5,6 = 31,3 \text{ Па}.$$

Приймаємо коефіцієнти місцевих опорів.

Для ділянок 1 і 2, які належать трійнику 1,  $\xi_n$  і  $\xi_o$  залежать від відношення і площі проходу та площі трійника  $\frac{f_n}{f_c} = 0,88$  витрати у відводі до витрати у

стволі  $\frac{L_o}{L_c} = 0,35$ ; площі відводу до площі ствола  $\frac{f_o}{f_c} = 0,03$ .

З урахуванням екстраполяції маємо:  $\frac{L_o}{L_c} \quad \xi_n = 0,75 \quad \xi_o = 0,15$ .

Для ділянок 3 і 4, які входять в трійник 2 в залежності від  $\frac{f_n}{f_c} = 0,79$ ;

$$\frac{L_o}{L_c} = 0,2; \quad \frac{f_o}{f_c} = 0,4; \quad \xi_n = 0,25; \quad \xi_o = 1,7.$$

Необхідну витрату повітря може забезпечити вентилятор Ц4-70. На вході у вентилятор потрібний дифузор з вентилятором розкриття  $15^\circ$ . Тоді:

$$\frac{F_1}{F_0} = 0.145/0.126 = 1.1; \quad \xi = 0.15.$$

Визначаємо втрати тиску в місцевих опорах. Для цього беремо найдовшу вітку ( $\ell_1 + \ell_3 + \ell_5$ ). Втрати тиску в місцевих опорах визначаємо за формулою:

$$\Delta P_{заг} = \Delta P_1 + \Delta P_3 + \Delta P_5 + \Delta P_{g5}. \quad (4.3)$$

Спочатку знайдемо динамічні тиски на 1, 3, 5 ділянках за формулою:

$$P_g = \frac{\rho V^2}{2} \quad (4.4)$$

$$P_{g1} = \frac{\rho V_1^2}{2} = \frac{1,2 \times 4,06^2}{2} = 9,86 \text{ Па};$$

					МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		51

$$P_{g3} = \frac{\rho V_3^2}{2} = \frac{1,2 \times 8,25^2}{2} = 40,8 \text{ Па};$$

$$P_{g5} = \frac{\rho V_5^2}{2} = \frac{1,2 \times 5,7^2}{2} = 19,4 \text{ Па}.$$

Ділянка 1. Зонт  $\xi = 0,17$ . Дросель-клапан, 3 відводи  $90^0$ ;  $d=660$  мм для трьох  $\xi = 3 \times 0,4 = 1,2$ ; прохід трійника  $\xi_n = 0,75$ ;

$$\sum \xi_1 = 0,17 + 1,2 + 0,75 = 2,12;$$

$$\Delta P_1 = P_{mp1} + \sum \xi_1 P_{g1} = 3 + 2,12 \times 9,86 = 23,9 \text{ Па}.$$

Ділянка 3. Прохід трійника  $\xi_n = 0,25$ ;

$$\Delta P_3 = P_{mp3} + \xi_n P_{g3} = 2,7 + 0,25 \times 40,8 = 12,90 \text{ Па}.$$

Ділянка 5. 4 коліна під кутом  $90^0$ ;  $d=780$  мм;  $\xi = 4 \times 0,4 = 1,6$ ;

$$\Delta P_5 = 5,6 + 19,4 + 1,5 = 26,5 \text{ Па}.$$

На вході у вентилятор:

$$\sum \xi_5 = 1,6 + 0,15 = 1,75;$$

$$\Delta P_5 = 5,6 + 1,75 + 19,4 = 26,75 \text{ Па};$$

$$\Delta P_{заг} = 12,90 + 23,90 + 26,5 = 63,3 \text{ Па}.$$

Результати розрахунку параметрів вентиляції агрегатної ділянки заносимо в таблицю 4.9.

Перепад тиску на непередбачені втрати:

$$P_{неп} = \Delta P_з \times 1,1 = 63,3 \times 1,1 = 69,63 \text{ Па}.$$

На 10 % збільшуємо витрати повітря:

$$L_{max} = L \times 1,1 = 9800 \times 1,1 = 10780.$$

Для установки вибираємо вентилятор Ц4-70 А6,3 105-1 з такими параметрами [18, с. 194]:  $n=950$  об/хв;  $L=11000$  м<sup>3</sup>/год.;  $P_в=0,4$  кПа;  $ККД=0,72$ .

Таблиця 4.9. - Результати розрахунку параметрів вентиляції

№ ділянки	Довж. $\ell$ , м	Діаметр трубопр. $d$ , мм	Витрати $L$ , м <sup>3</sup> /год.	Питомі втрати тертя $P_{тр}$ , Па
1	12	660	5000	3
2	10	400	2800	10
3	3	700	7800	2,7
4	10	350	2000	10
5	14	780	9800	5,6

Продовження таблиці 4.9

№ ділянки	Динаміч. тиск $P_g$ , Па	Місцеві опори $\sum \xi$	Швидк. руху $V$ , м/с	Пов. тиск на ділян.
1	9,86	2,12	4,06	23,9
2			6,15	
3	40,8	0,25	8,25	26,5
4			5,7	
5	19,4	1,75	5,7	26,75

Потужність електродвигуна знаходимо за формулою:

$$N = \frac{LK_3 P_g 10^{-6}}{3,6 \eta_g \eta_n}, \quad (4.5)$$

$$N = \frac{11000 \times 1,3 \times 0,4 \times 10^{-3}}{3,6 \times 0,72 \times 0,98} = 2,3 \text{ кВт},$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запасу,  $K_3=1,05 \div 1,5$  [18, с. 193], приймаємо  $K_3=1,3$ ;

$P_g$  – тиск вентилятора;

$\eta_g$  - ККД вентилятора;

$\eta_n$  - ККД передачі, приймаємо 0,98.

Отже, вибираємо двигун серії 4A90LA4 з такими параметрами:

- потужність  $N=3,2$  кВт;

- частота обертання  $1420 \text{ хв}^{-1}$ .

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання магістерської роботи на тему “Підвищення ефективності експлуатації напівпричепів-самоскидів ТзОВ “Надвірнянська автобаза” будівельної компанії “VSGroup” шляхом удосконалення елементів ходової частини” досягнуто ряд результатів, аналіз яких свідчить про доцільність правильної експлуатації активних підвісок напівпричепів-самоскидів з метою підвищення їх ефективності їх експлуатації.

В рамках виконання магістерської роботи вирішено такі завдання:

1. Проаналізовано особливості експлуатації та навантажування елементів підвісок напівпричепів під час їх розвантаження. Встановлено, що однією з причин перекидання напівпричепа при розвантаженні є незадовільний стан елементів підвіски, передчасний вихід з ладу пневморесор внаслідок перевантаження напівпричепа, нерівномірного завантаження, порушення його експлуатації, а також старіння та зношування елементів підвісок.

2. Розроблено розрахункову схему та імітаційну модель у програмному середовищі MapleSi навантаженості елементів ходової частини напівпричепа. Отримано часові залежності кінематичних та силових параметрів роботи активної підвіски напівпричепа-самоскида під час його розвантаження.

3. Розроблено аналітичну модель пружного елемента ходової частини напівпричепа-самоскида для встановлення закону його руху. Отримано диференціальне рівняння та закон руху торця конічної пружини комбінованої пневморесори. Таке удосконалення дає можливість підвісці краще реагувати на можливе перекидання; при піднятті кузова на максимальний кут при виході з ладу пневматичної камери (чи обох камер) конічні пружини через поступове збільшення жорсткості дадуть змогу уникнути перекидання напівпричепа.

Змодельовано роботу пружини при дії вертикального навантаження стиску  $F=150\div 300\text{кН}$ , максимальному ході пружини 0,2м. Як показують результати моделювання жорсткість конічної пружини в процесі стиснення збільшується (має про-

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		

гресивний характер). При стисненні на 0,2м під дією максимальної сили 300кН середня жорсткість буде становити  $1,5 \times 10^6$  Н/м. Якщо на початку стиснення жорсткість була мінімальною, то в міру прикладання навантаження вона неперервно зростала через поступове виключення найбільших витків із деформації.

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		55

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Кашканов А.А., Ребедайло В.М. Спеціалізований рухомий склад автомобільного транспорту. Вінниця: ВДТУ, 2002. 164с.
2. Спеціалізований рухомий склад на автомобільному транспорті / В.М. Краснокутський та ін. Харків: Мадрид, 2020. 240 с.
3. Дюндик С. М. Модель для дослідження динаміки підвіски автомобіля спеціального призначення. Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. 2019. Вип. 1 (33). С. 45.
4. Аналіз моделей напівпричепів. <https://www.renamax.city/аналіз-моделей-напівпричепів-як-обра/>
5. Peculiarities of the of Engineering Disciplines Teaching Process Organization Using Three-Dimensional Computer Modeling Methods / V.O. Yelistratov et al. Proceedings from MEES '22: 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System. Kremenchuk, 2022. P. 1–5.
6. The Intellectual Organization Main Directions for the Car Wheel Rims Production within the Framework of the Industry 4.0 Program / O.V. Pavlenko et al. Proceedings from MEES '22: 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System. Kremenchuk, 2022. P. 1–4.
7. Murphy D.J., Harshman W.C. Farm Dump Truck and Trailer Safety. Pennsylvania State University, College of Agricultural Sciences, E-44, 2005. P. 1–4.
8. Харьков О., Павленко О., Єлістратов В., Черниш А., Пузир Р. Моделювання напруженого стану опори механізму підйому кузова великовантажного автомобіля-самоскида. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2024. Вип. 1 (144). С. 202-208.
9. Напівпричіп-самоскид НПС-2650. Паспорт. NPS01-00-00-00ПС. <https://egritech.org/uk/product/polupricep-samosval-nps-2650-uk/>
10. Нанівський Р. А. Моделювання динаміки колісних транспортних засобів під час руху шляхом із нерівностями. Вісник машинобудування та транспорту.

					МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		56

2022. № 2 (16). С. 72–80. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2022-16-2-72-80>.

11. MapleSim User's Guide. Maplesoft, 2013. 254р.
12. САПР. Інтегрована система моделювання технологічних процесів і розрахунку обладнання: Навч. посіб. Авт. О.С.Сахаров, В.Ю.Щербина, О.В. Гондлях, В.І. Сівецький. К.: ТОВ “Поліграф Консалтинг”, 2006. 156с.
13. Павловський М. А. Теоретична механіка : підручник. Київ : Техніка, 2002. 512с.
14. Канарчук В.Є. та ін. Основи технічного обслуговування та ремонту автотранспортних засобів. Книга 1. Організація, планування і управління. Київ: Вища школа, 1994р. 406с.
15. Канарчук В.Є. та ін. Основи технічного обслуговування та ремонту автотранспортних засобів. Книга 2. Організація, планування і управління. Київ: Вища школа, 1991р. 406с.
16. Правила охорони праці на автомобільному транспорті. Київ, 1997.
17. Жидецький П.Б. Основи охорони праці . Підручник. Львів: Афіша, Ю2, 370 с.
18. Правила охорони праці підчас технічного обслуговування та ремонту дорожньої техніки. Київ: Освіта, 2001.

					МР.АТм - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		57

# ДОДАТОК А

## Текст основної програми моделювання

### Programm Modelica

```
model PreLoad "Preload of a spool using ElastoGap models."

extends Modelica.Icons.Example;
Translational.Components.ElastoGap innerContactA(
  c=1000e3,
  d=250,
  s_rel0=0.001);
Translational.Components.ElastoGap innerContactB(
  c=1000e3,
  d=250,
  s_rel0=0.001);
Translational.Components.Mass spool(
  L=0.19,
  m=0.150,
  s(start=0.01475, fixed=true),
  v(fixed=true));
Translational.Components.Fixed fixedLe(          s0=-0.0955);
Translational.Components.Mass springPlateA(
  m=10e-3,
  L=0.002,
  s(start=-0.093, fixed=true),
  v(fixed=true));
Translational.Components.Mass springPlateB(
  m=10e-3,
  s(start=-0.06925, fixed=true),
  L=0.002,
  v(fixed=true));
Translational.Components.Spring spring(          c=20e3, s_rel0=0.025);
Translational.Components.ElastoGap outerContactA(
  c=1000e3,
  d=250,
  s_rel0=0.0015);
Translational.Components.ElastoGap outerContactB(
  c=1000e3,
  d=250,
  s_rel0=0.0015);
Translational.Components.Rod rod1(          L=0.007);
Translational.Components.Damper friction(          d=2500);
Translational.Sources.Force force;
Translational.Components.Rod housing(          L=0.0305);
Translational.Components.Rod rod3(          L=0.00575);
Translational.Components.Rod rod4(          L=0.00575);
Translational.Components.Rod rod2(          L=0.007);
Modelica.Blocks.Sources.Sine sineForce(amplitude=150, freqHz=0.01);

equation
connect(outerContactA.flange_b, springPlateA.flange_a);
connect(springPlateA.flange_b, spring.flange_a);
connect(spring.flange_b, springPlateB.flange_a);
connect(springPlateB.flange_b, outerContactB.flange_a);
connect(outerContactB.flange_b, housing.flange_b);
connect(springPlateA.flange_b, rod1.flange_a);
connect(innerContactA.flange_a, rod3.flange_a);
connect(innerContactA.flange_b, rod1.flange_b);
connect(rod2.flange_a, innerContactB.flange_a);
connect(rod4.flange_b, innerContactB.flange_b);
```

						Арк.
					МР.АТМ - 64.00.00.000.ПЗ	58
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		

```
connect(friction.flange_b,rod3. flange_a);
connect(rod3.flange_b,rod4. flange_a);
connect(rod2.flange_b,springPlateB. flange_a);
connect(spool.flange_a,rod4. flange_a);
connect(sineForce.y, force.f);
connect(force.flange, spool.flange_a);
connect(outerContactA.flange_a, fixedLe.flange);
connect(housing.flange_a, fixedLe.flange);
connect(friction.flange_a, fixedLe.flange);
end PreLoad;
```

					MP.ATM - 64.00.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		59

**Івано-Франківський національний технічний університет  
нафти і газу**



**Мрічко Віталій Іванович**

**“Підвищення ефективності експлуатації напівпричепів-самоскидів ТзОВ  
“Надвірнянська автобаза” будівельної компанії “VSGroup” шляхом  
удосконалення елементів ходової частини”.**

**Спеціальність: 274 – Автомобільний транспорт**

**Керівник: д.т.н, професор Гриджук Ярослав Степанович**

## **Актуальність роботи**

Однією з причин втрати стійкості напівпричепів-самоскидів є незадовільний стан елементів підвіски, передчасний вихід з ладу пневморесор внаслідок перевантаження напівпричепа, нерівномірного завантаження, порушення його експлуатації, а також старіння та зношування елементів підвісок. Як показує практика експлуатації напівпричепів-самоскидів, при підйомі завантаженого кузова на більші кути у критичні моменти не витримують навантаження і дегерметизуються або руйнуються пневморесори.

**Мета роботи полягає** полягає у підвищенні ефективності роботи активних підвісок напівпричепів-самоскидів шляхом імітаційного моделювання їх динаміки.

## **Завдання дослідження**

1. Проаналізувати особливості експлуатації та навантажування елементів підвісок напівпричепів під час їх розвантаження.

2. Розробити розрахункову схему та імітаційну модель навантаженості елементів ходової частини напівпричепа.

3. Розробити аналітичну модель пружного елемента ходової частини напівпричепа-самоскида для встановлення закону його руху.

**Об'єкт дослідження** є процеси динамічного навантажування пневморесор підвісок напівпричепів-самоскидів під час їх розвантаження.

**Предмет дослідження** є вплив динамічного навантажування пневморесор підвісок напівпричепів-самоскидів під час їх розвантаження.

## **Наукова новизна**

1. Отримали подальший розвиток методи оцінки навантаження елементів підвісок напівпричепів-самоскидів при їх розвантаженні.
2. Розроблено математичну модель для дослідження руху елемента активної підвіски напівпричепа-самоскида.
3. Встановлено закономірності зміни деформації елемента активної підвіски напівпричепів-самоскидів при їх розвантажуванні.

## **Практичне значення**

1. Дано практичну рекомендацію по застосуванню конічної пружини у пневморесорі задля більшої ефективності роботи підвіски напівпричепа-самоскида під час його розвантаження.
2. Розроблено імітаційні моделі дослідження динаміки активної підвіски напівпричепа-самоскида з бібліотекою блоків динамічного навантажування.

## **ОСНОВНІ ЧАСТИНИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ**

- 1. ВИСВІТЛЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЗА ОБРАНОЮ ТЕМАТИКОЮ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.**
- 2. РОЗРОБКА РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ, ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕМЕНТА ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ НАПІВПРИЧЕПА-САМОСКИДА ТА ПРОВЕДЕННЯ ЧИСЕЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ.**
- 3. РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРУЖНОГО ЕЛЕМЕНТА ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ НАПІВПРИЧЕПА-САМОСКИДА**
- 4. ОХОРОНА ПРАЦІ У ВИРОБНИЧИХ ВІДДІЛЕННЯХ У ТзОВ “Надвірнянська автобаза”.  
ВИСНОВКИ.**

# ФАКТОРИ, ЩО НЕГАТИВНО ВПЛИВАЮТЬ НА СТІЙКІСТЬ НАПІВПРИЧЕПА-САМОСКИДА ТА ЇХ НАСЛІДКИ

Причинами втрати стійкості напівпричепа-самоскида можуть бути умови розвантаження (стан і особливості опорної поверхні, погодні умови), а також особливості його конструкції самоскида, роботи механізмів та вузлів. Однією з таких причин є незадовільний стан елементів підвіски, передчасний вихід з ладу пневморесор внаслідок перевантаження напівпричепа, нерівномірного завантаження, порушення його експлуатації, а також старіння та зношування елементів підвісок. Як показує практика експлуатації напівпричепів-самоскидів, при підйомі завантаженого кузова на кути більші 35градусів у критичні моменти не витримують навантаження і дегерметизуються або ж руйнуються пневморесори.

**Руйнування пневморесори**



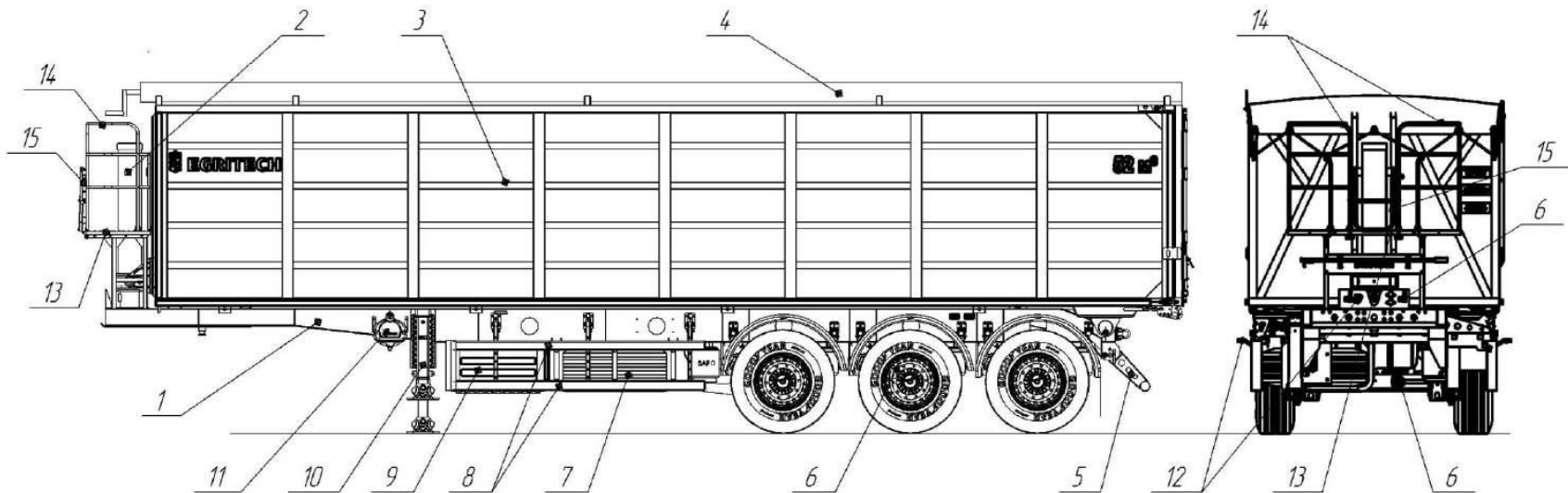
**Перекидання напівпричепа-самоскида**



# ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАПІВПРИЧІП-САМОСКИД ТА ЙОГО СКЛАДОВІ

Автомобільний напівпричіп НПС–2650 призначений для перевезення різних будівельних і сільськогосподарських сипких вантажів (зерна, мінеральних добрив, щебню тощо) по дорогам I і II категорії.

## Загальний вигляд автомобільного напівпричіпа-самоскида НПС–2650

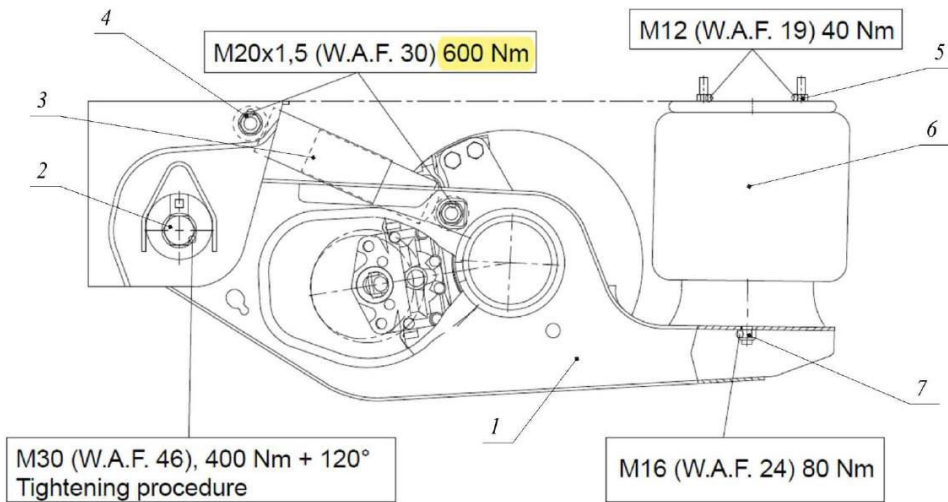


1-шасі (рама напівпричепи); 2-гідроциліндр; 3- кузов; 4-тент; 5-задній захисний пристрій (ЗЗП);  
6-електронно-пневматична гальмівна система; 7- колесо запасне; 8-захисний боковий пристрій;  
9-ящик; 10-пристрій опорний; 11-ємність для води (30 л); 12-електрообладнання;  
13-площадка; 14-огородження; 15-драбина

# ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО НАПІВПРИЧІП-САМОСКИД ТА ЙОГО СКЛАДОВІ

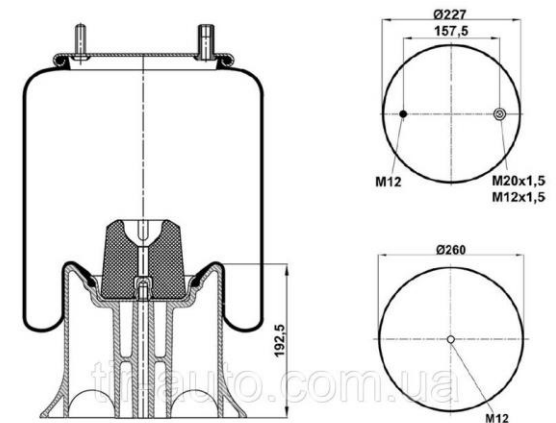
На напівпричепі встановлюється три пневматичні залежні підвіски. Перша вісь має механізм підйому і виконана з гальмівними камерами без пружинних енергоакумуляторів. Друга вісь обладнана датчиками EBS (ABS). Друга і третя осі з гальмівними камерами з пружинними енергоакумуляторами. Пневматична підвіска дозволяє змінювати вантажну висоту напівпричепа за допомогою пневматичного крана, встановленого з лівої сторони рами напівпричепа.

## Пневматична підвіска



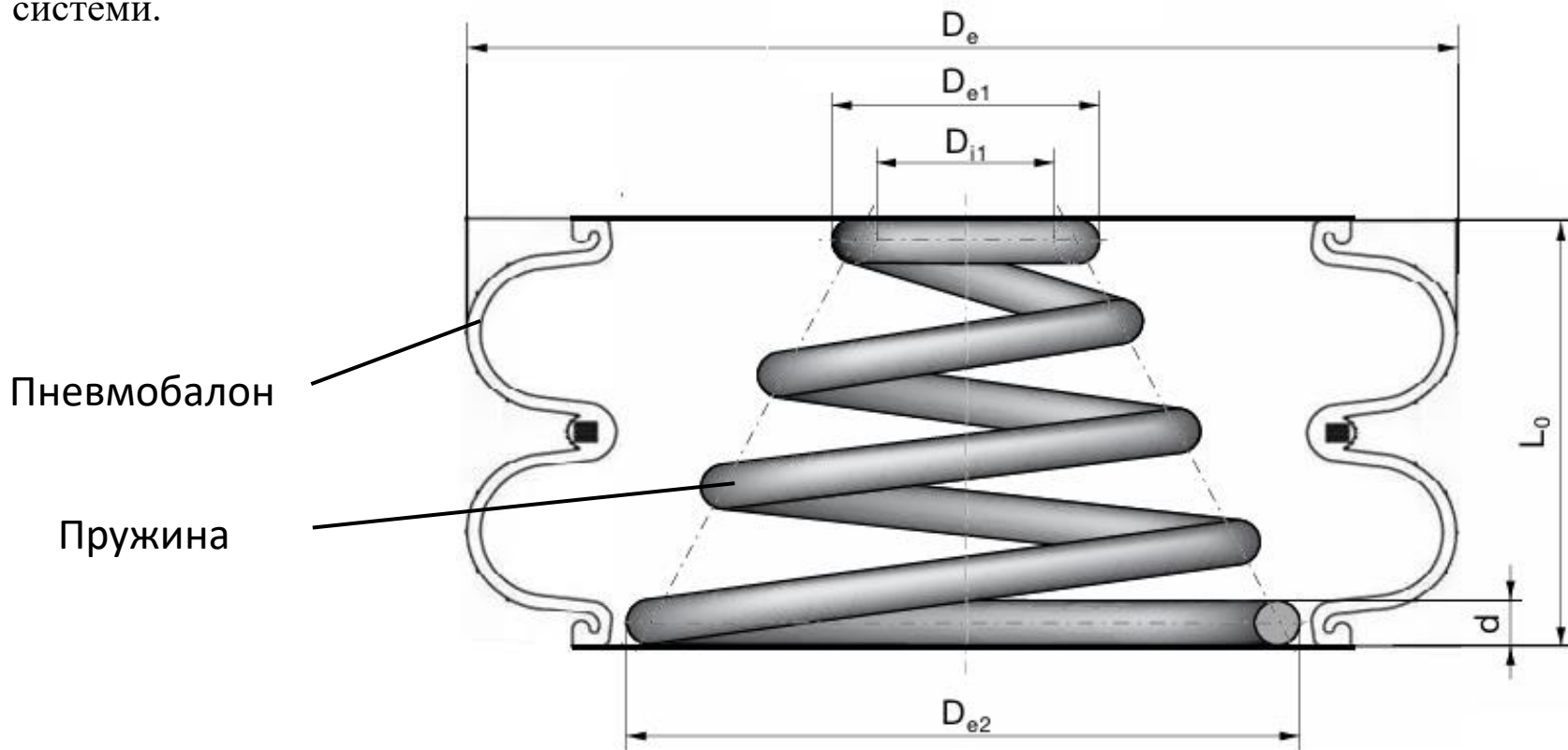
1-ресора; 2, 4, 5, 7-гайки; 3-амортизатор; 6-пневморесора

## Пневморесора



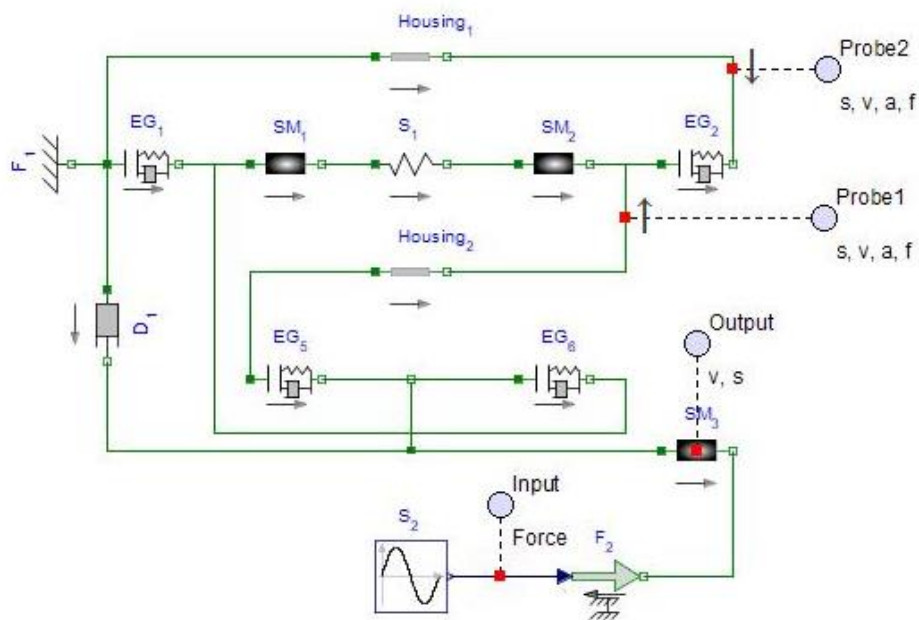
# РОЗРОБКА РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ ТА МОДЕЛІ КОМБІНОВАНОЇ ПНЕВМОРЕСОРИ НАПІВПРИЧЕПА-САМОСКИДА

З метою підвищення ефективності експлуатації напівпричепа-самоскида пропонується провести удосконалення конструкції пневморесор середньої та задньої осі шляхом встановлення у самі пневматичні балони конічних пружин. Конічні пружини мають низку конструктивних переваг перед стандартними циліндричними, що робить їх незамінними в умовах обмеженого простору або специфічних навантажень. При виході з ладу пневмобалона при стисненні пружини спочатку працюють м'якіші витки, а потім, при більшому навантаженні, підключаються жорсткіші витки, забезпечуючи поступове зростання загальної жорсткості системи.

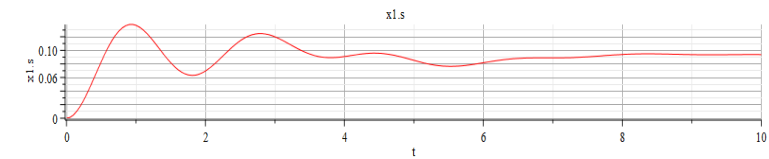
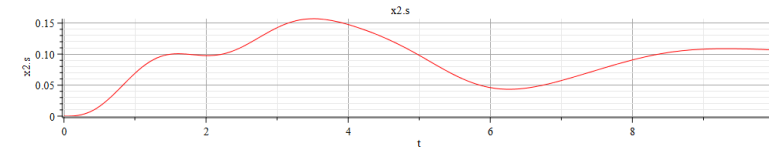
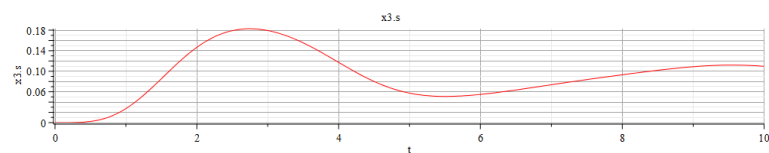


# РОЗРОБКА РОЗРАХУНКОВОЇ СХЕМИ ТА МОДЕЛІ КОМБІНОВАНОЇ ПНЕВМОРЕСОРИ НАПІВПРИЧЕПА-САМОСКИДА

## Імітаційно-числова модель комбінованої пневморесори



## Результати імітаційного моделювання при зміні жорсткості кінчної пружини



а) – мала жорсткість; б) – середня жорсткість; в) велика жорсткість

# РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОМБІНОВАНОЇ ПНЕВМОРЕСОРИ НАПІВПРИЧЕПА-САМОСКИДА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ РУХУ ТОРЦЯ ПРУЖИНИ

Диференціальні рівняння руху торця пружини

$$m\ddot{x} = Q + mg \sin 60^\circ - R - cx - c\lambda_{ст}$$

$$\ddot{x} + 10\dot{x} + 100x = 4 \sin 18t + 4 \cos 18t;$$

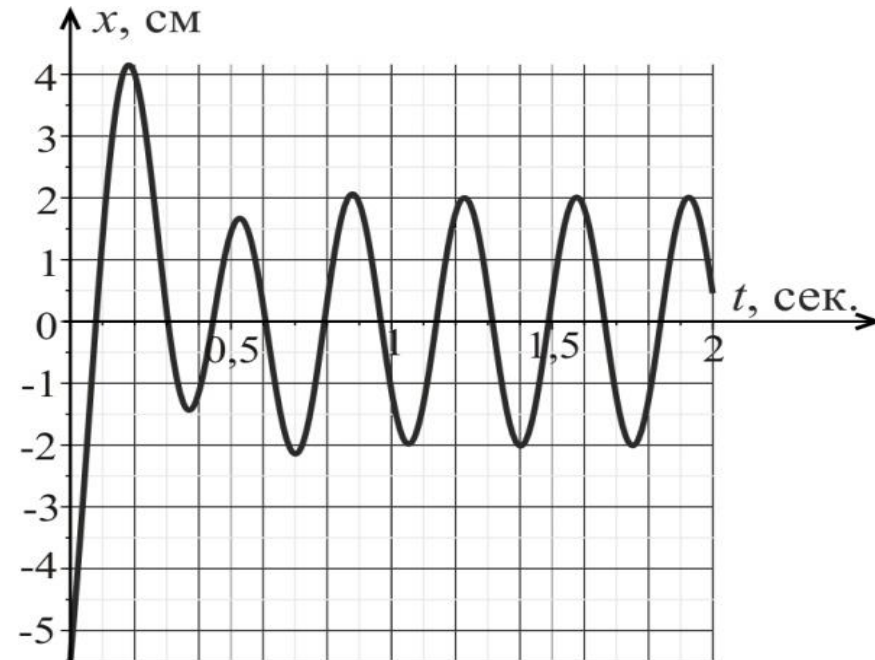
Закон руху зведеної маси на торці пружини:

$$x = e^{-5t} (5,3 \sin 8,66t - 3,5 \cos 8,66t) - 2 \cos 18t - 0,2 \sin 18t$$

Закон зміни швидкості торця пружини:

$$V = \left[ 8,66(C_2 \cos 8,66t - C_1 \sin 8,66t) - 5(C_1 \cos 8,66t + C_2 \sin 8,66t) \right] \cdot e^{-5t} + 36 \sin 18t - 3,6 \cos 18t$$

Результат дослідження залежності координати руху торця пружини у віднульовому циклі



У результаті виконання магістерської роботи на тему “Підвищення ефективності експлуатації напівпричепів-самоскидів ТзОВ “Надвірнянська автобаза” будівельної компанії “VSGroup” шляхом удосконалення елементів ходової частини” досягнуто ряд результатів, аналіз яких свідчить про доцільність правильної експлуатації активних підвісок напівпричепів-самоскидів з метою підвищення їх ефективності їх експлуатації.

В рамках виконання магістерської роботи вирішено такі завдання:

1. Проаналізовано особливості експлуатації та навантажування елементів підвісок напівпричепів під час їх розвантаження. Встановлено, що однією з причин перекидання напівпричепу при розвантаженні є незадовільний стан елементів підвіски, передчасний вихід з ладу пневморесор внаслідок перевантаження напівпричепу, нерівномірного завантаження, порушення його експлуатації, а також старіння та зношування елементів підвісок.

2. Розроблено розрахункову схему та імітаційну модель у програмному середовищі MapleSim навантаженості елементів ходової частини напівпричепу. Отримано часові залежності кінематичних та силових параметрів роботи активної підвіски напівпричепу-самоскида під час його розвантаження.

3. Розроблено аналітичну модель пружного елемента ходової частини напівпричепу-самоскида для встановлення закону його руху. Отримано диференціальне рівняння та закон руху торця конічної пружини комбінованої пневморесори. Таке удосконалення дає можливість підвісці краще реагувати на можливе перекидання; при піднятті кузова на максимальний кут при виході з ладу пневматичної камери (чи обох камер) конічні пружини через поступове збільшення жорсткості дадуть змогу уникнути перекидання напівпричепу.

Змодельовано роботу пружини при дії вертикального навантаження стиску  $F=150\div 300\text{кН}$ , максимальному ході пружини  $0,2\text{м}$ . Як показують результати моделювання жорсткість конічної пружини в процесі стиснення збільшується (має прогресивний характер). При стисненні на  $0,2\text{м}$  під дією максимальної сили  $300\text{кН}$  середня жорсткість буде становити  $1,5\times 10^6\text{ Н/м}$ . Якщо на початку стиснення жорсткість була мінімальною, то в міру прикладання навантаження вона неперервно зростала через поступове виключення найбільших витків із деформації.

## **БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА**

**Тема роботи:** “Підвищення ефективності експлуатації напівпричепів-самоскидів ТзОВ “Надвірнянська автобаза” будівельної компанії “VSGroup” шляхом удосконалення елементів ходової частини”.

1. Обсяг пояснювальної записки – 70 с.
2. Кількість рисунків – 22
3. Кількість таблиць – 11
4. Перелік слайдів ілюстративного матеріалу – 10

\_\_\_\_\_ 2025р.