

## **ВИПУСКНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

ТЕМА:

***«Теоретичне узагальнення можливостей та доцільності  
зміни діаметру колісних дисків при експлуатації  
сучасних легковиків»***

спеціальність: **274 «Автомобільний транспорт».**

Виконав \_\_\_\_\_ /М.Є. Беляєв/

Керівник роботи \_\_\_\_\_ /А.В. Веснін/

## ЗМІСТ РОБОТИ

ВСТУП ТА ОБГРУНТУВАННЯ МЕТИ РОБОТИ .....	4
1. АВТОМОБІЛЬНІ ШИНИ ТА ДИСКИ ЯК ОБ'ЄКТ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ .....	6
1.1. Загальні відомості про експлуатацію, режими роботи та підвищення ресурсу автомобільних шин. ....	6
1.2. Характеристики та функціональні особливості високонавантажених шин для спеціальної автомобільної техніки.....	7
1.3. Теоретичне узагальнення сучасних методів підвищення ресурсу автомобільних шин та шин для автомобільної спеціальної техніки .....	12
2. ТЕОРЕТИЧНЕ УЗАГАЛЬНЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЯКОСТЕЙ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ШИН ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ .....	16
2.1. Опис шин та умов їх експлуатації .....	16
2.2 Систематизація особливостей експлуатації високонавантажених шин для автомобільної спецтехніки .....	18
2.3. Аналіз переліку необхідних дій при проведенні технічного обслуговування високонавантажених шин та його вплив на їх напрацювання .....	21
2.4. Обґрунтування доцільності регулярного вимірювання тиску в висконавантажених шинах .....	24
3. ОГЛЯД ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТИСКУ У ВИСОКОНАВАНТАЖЕНІЙ ШИНІ.....	28
3.1. Способи та методи розрахунку фактичного ресурсу шин .....	28
3.2. Обґрунтування та аналіз загальної моделі втрати тиску у висконавантажених шині через дифузію в резині .....	31
3.3. Стабілізація тиску високонавантажених шин при заповненні їх інертними газами.....	35

4. УЗАГАЛЬНЕННЯ НАПРЯМКІВ ЗБІЛЬШЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕРМІНІВ НАПРАЦЮВАНЬ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ШИН ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНОЇ АВТОТЕХНІКИ	45
4.1. Правильний вибір шин .....	45
4.1. Забезпечення доброго стану під'їзних доріг.....	46
4.3. Відповідне навчання водіїв як спосіб збільшення строків напрацювань високонавантажених шин.....	47
4.4. Якісне обслуговування та ремонт високонавантажених шин, як дієвий спосіб збільшення загального ресурсу.....	48
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	51
5.1. Умови безпеки для працівників на гірничих кар'єрах .....	51
5.2. Основи проведення безпечних робіт при обслуговуванні, ремонті та монтажі високонавантажених коліс і шин.....	53
5.3. Теоретичний аналіз заходів безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РАБОТІ .....	62
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63

## ВСТУП ТА ОБГРУНТУВАННЯ МЕТИ РОБОТИ

Актуальність теми полягає в тому, що в Україні працює більше 200 підприємств, де використовують близько 2,5 тисяч кар'єрних автосамоскидів. Ефективна робота цих машин має значний вплив на всі ключові аспекти функціонування гірничо-видобувних підприємств. Кар'єрні автосамоскиди відіграють важливу роль у сфері промислового транспортування на кар'єрах, призначені для перевезення великих об'ємів сипучих вантажів, від 30 до 560 тонн.

Ефективність використання такого автотранспорту визначається багатьма факторами, зокрема, ускладненими умовами гірничої роботи, такими як уклон технічних трас, зменшення площ робочих місць, погіршення стану доріг на території кар'єрів. Це призводить до зниження продуктивності автосамоскидів, збільшення витрат пального та витрат на обслуговування та ремонт, що відображається у вартості видобутку.

Проблема довговічності шин також відіграє велику роль у надійності і ефективності роботи автосамоскидів. Умови експлуатації шин визначають їхню конструкцію та матеріали, які впливають на опір та стійкість до пошкоджень. Сьогодні ця проблема стала надзвичайно актуальною через дефіцит шин на ринку, що призводить до зростання витрат та зниження безпеки роботи автосамоскидів.

Загалом, ці проблеми не лише збільшують фінансові витрати, але й мають прямий вплив на безпеку та ефективність гірничо-видобувного виробництва.

Мета представленої роботи полягає в оцінці можливості підвищення терміну служби великогабаритних шин кар'єрних автосамоскидів та спецтехніки за допомогою використання інертних газів як наповнювачів. Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання:

1. Проаналізувати та визначити основні фактори, які впливають на тривалість служби пневматичних шин у транспортних засобах.

2. Теоретично встановити залежність зносу шин, що дозволить оцінити їхню пробіжну відстань у транспортних засобах та розглянути вплив умов експлуатації на терміни служби шин.

3. Провести розширений теоретичний аналіз отриманих результатів роботи.

4. Визначити ефективні заходи та засоби, спрямовані на підвищення термінів служби великогабаритних шин та розробити рекомендації щодо їхнього застосування.

Основна ідея для проведення теоретичного аналізу полягає в розробці комплексу дієвих заходів, які дозволять збільшити термін служби шин та підвищити загальну ефективність використання кар'єрного автотранспорту.

Об'єктом проведення аналізу є масив теоретичних відомостей щодо процесу експлуатації великогабаритних шин кар'єрних автосамоскидів розміром 33.00 – R51. Предметом аналізу є заходи та засоби підвищення термінів служби та тривалості роботи шин кар'єрної автотехніки.

Основні результати роботи полягають у обґрунтуванні моделі для оцінки тиску у великогабаритних шинах під впливом дифузії газу через шину з урахуванням умов експлуатації, що дозволяє теоретично визначати та встановлювати регулярність контролю тиску для конкретного підприємства. До того ж, як результат роботи, слід вважати формування комплексу заходів та рекомендацій для підвищення термінів служби та тривалості великогабаритних шин шляхом стабілізації тиску під час експлуатації.

## 1. АВТОМОБІЛЬНІ ШИНИ ТА ДИСКИ ЯК ОБ'ЄКТ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ

1.1. Загальні відомості про експлуатацію, режими роботи та підвищення ресурсу автомобільних шин.

Розвиток конструкції автомобільних шин непосредствено пов'язаний з удосконаленням конструкції транспортної техніки. Одними з ключових характеристик сучасних шин є економічність у використанні потужності транспорту для катання, хороше зчеплення з дорогою, довговічність, надійність, збереження якості, міцність, зносостійкість, гнучкість, прохідність, безпека та низький рівень шуму. Ефективність та тривалість експлуатації шин значною мірою залежать від їх малюнка протектора, який повинен забезпечувати хороше зчеплення з мокрим або брудним покриттям, високу стійкість до зносу та комфортний рух без шуму.

Зношування шин під час експлуатації впливає на загальний технічний стан транспортних засобів, що може знизити продуктивність та збільшити витрати на їх утримання. Один із факторів, що впливає на знос протектора та термін служби шин, - це режим руху транспортних засобів.

Швидкість руху транспортних засобів є основною характеристикою режиму руху, яка залежить від умов місця та часу. При цьому, дорожні умови (стан доріг), географічне положення, клімат і погода суттєво впливають на фактичну швидкість руху. Навантаження на шини, яке виникає під час перевезення, також має велике значення для їхнього терміну служби.

Недбале водіння транспортних засобів, яке включає гостре гальмування, різке рух з місця, наїзди на перешкоди та необережні переїзди, може призвести до передчасного зносу шин. Дослідження показали, що різні водії на одному маршруті можуть мати суттєву різницю в пробігах шин через різний стиль водіння.

Один із способів підвищення терміну служби шин - це використання інертних газів для накачування. Наприклад, застосування азоту може уникнути окислення матеріалів шини та покращити її технічні властивості.

Регулярний контроль за тиском у шинах є важливим аспектом експлуатації транспортних засобів, оскільки нестача або надмір тиску може негативно вплинути на ефективність їхньої роботи. Необхідно розробляти методики для визначення оптимальної періодичності перевірки тиску у шинах для різних умов експлуатації.

Недоцільне використання шин може призвести до великих втрат палива, що є актуальною проблемою як для України, так і для інших країн. Тому важливо вдосконалювати методи управління технічним станом шин та сприяти їхньому тривалому використанню, що сприятиме економії ресурсів та підвищенню ефективності транспортних засобів.

## 1.2. Характеристики та функціональні особливості високонавантажених шин для спеціальної автомобільної техніки

Шини для кар'єрних автосамоскидів, які є складними та вартісними виробами з обмеженим терміном служби, мають значний вплив на витрати транспорту, особливо у сфері видобутку корисних копалин. Тому підвищення довговічності та надійності цих шин є важливим з позицій економіки.

На великогабаритних шинах для вездорожніх колісних машин, які використовуються в кар'єрах і на шахтах, встановлюється маркування "OFF THE ROAD" відповідно до міжнародних стандартів. Ці шини використовуються в різних умовах, включаючи гідротехнічні, дорожні та будівельні роботи.

Національний технічний комітет стандартизації ТК 46 "Шини та виробни шинної промисловості" укладає роботи зі стандартизації великогабаритних і надвеликогабаритних шин в Україні та СНД. Він також

активно представляє інтереси в міжнародних організаціях, таких як ISO, ETRTO, TRA, STRO, CEN.

Конструкція пневматичних шин полягає у пружній оболонці, заповненій повітрям під тиском, що встановлюється на обід колеса. Ці шини можуть бути камерними або безкамерними. Безкамерні шини є удосконаленою версією, де покриття виконує функції як звичайної покриття, так і камери. Вони призначені для роботи в надскладних умовах і повинні бути міцними, еластичними та стійкими до зношування. рис. 1.1.

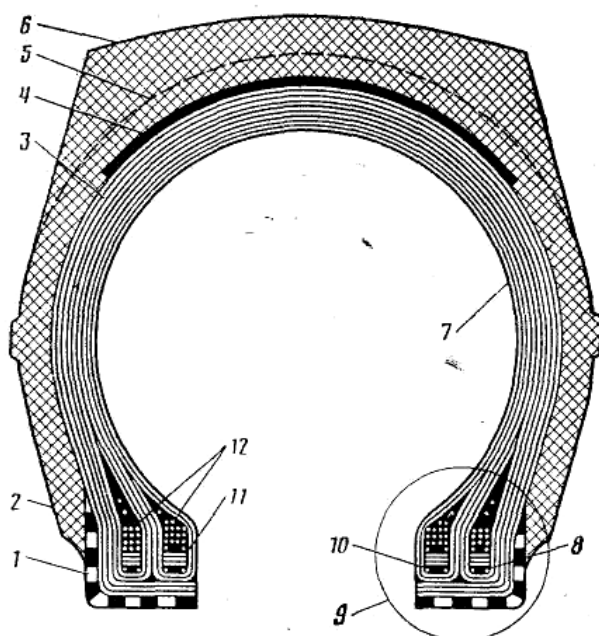


Рис. 1.1. Класична будова сучасної автомобільної шини:

1 - бортова стрічка; 2 - боковина; 3 - шари корду; 4 - бреккер; 5 - протектор; 6 - бігова доріжка; 7 - каркас; 8 - п'ята; 9 - борт покриття; 10 - ноский; 11 - проволочне кільце; 12 - кріпильні стрічки крила.

Каркас шини, який є основою для передачі навантаження, складається з прогумованого корду та гумових прошарків, забезпечуючи міцність та еластичність. Товщина та якість корду мають великий вплив на довговічність та опір зношуванню покриття.

Під впливом прикладених сил до колеса шини відбувається деформація лише на певній ділянці колеса, яку називають робочою зоною. Ця зона розташована в області контакту шини з дорогою і займає приблизно одну третину довжини кола.

Бреккер діагональної шини є резинокордним пластом, розташованим між каркасом і протектором. Він складається з розрідженого корду,



перемежованого потовщеними шарами гуми. Ці потовщені шари дозволяють ниткам корду рухатися під час експлуатації шини. Конструкція брекера залежить від типу і призначення шини, і вона сприяє покращенню зв'язку між каркасом і протектором. Брекер також зменшує ударні навантаження на каркас шини та сприяє більш рівномірному розподілу навантаження по поверхні покриття.

Протектор це товстий шар гуми на зовнішній стороні шини, який контактує з дорогою під час кочення. Він забезпечує необхідний зчеплення з дорогою, захищає каркас від пошкоджень та зменшує коливання в трансмісії. Протектор також має рельєфний малюнок, який впливає на знос шини, коефіцієнт опору коченню та зчеплення з дорогою. Товщина та малюнок протектора залежать від умов експлуатації та конструкції шини.

Боковини шини захищають каркас від механічних пошкоджень і вологи. Вони повинні бути достатньо еластичними для вигинів, але не повинні значно впливати на жорсткість каркаса. Це важливо для тривалої ефективної роботи шини.

Протектор – це товстий шар гуми зі структурним рельєфом, що розташований на зовнішній стороні шини і безпосередньо контактує з дорожнім покриттям під час руху. Його головна функція - забезпечити тривалий термін експлуатації шини, добрий зчеплення з дорогою, амортизувати поштовхи і удари, зменшити коливання в трансмісії, а також захистити каркас від механічних пошкоджень. Під час руху шини, протектор працює на двостороннє стиснення, зсув і розтягування, що зумовлює значні деформації в порівнянні з іншими шарами шини. Протектор складається з двох основних частин - рельєфного малюнка і підканавочного шару. Товщина підканавочного шару зазвичай становить 20-30% від загальної товщини протектора. Оптимальний вибір глибини малюнка та товщини підканавочного шару залежить від умов експлуатації шини, типу дорожнього покриття, швидкості руху, кліматичних умов і властивостей матеріалів шини. Ширина протектора зазвичай складає 70-80% ширини профілю шини.

Малюнок протектора має значний вплив на рівень опору коченню, знос шини і зчеплення з дорогою, тому він має відповідати вимогам безпеки, тривалості експлуатації та економічності. Боковини шини, що покривають стінки каркаса, також грають важливу роль у захисті шини від механічних пошкоджень і вологи. Жорстка частина покришки, або борт, служить для кріплення шини на ободі колеса і має свої особливості конструкції, залежно від типу шини. Радіальні і діагональні шини мають свої переваги та недоліки, і вибір між ними залежить від конкретних умов експлуатації.

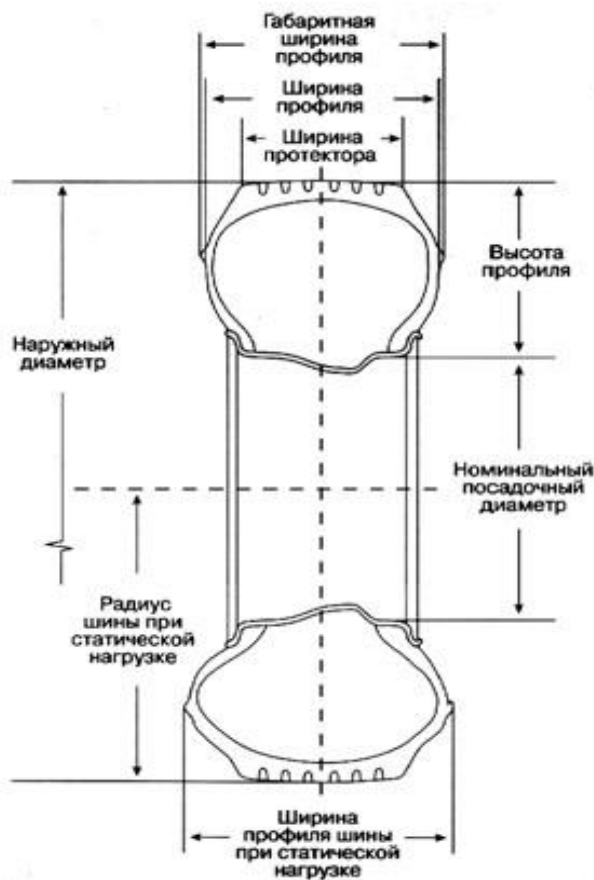


Рис. 1.2. Типові параметри що відносяться до сучасних автомобільних шин.

Наприклад, радіальна шина розміром 33.00-R51 має такі характеристики:

- 33 - ширина шини в дюймах;
- 00 - відношення ширини до висоти профілю (серія);
- R - радіальна конструкція;

Типорозмір великогабаритної (радіальної та діагональної) шини включає значення ширини профілю шини (у дюймах) і її посадковий діаметр (у дюймах). Після ширини профілю вказують відношення висоти профілю шини до його ширини (у відсотках). Радіальну конструкцію шини позначають значком-літерою «R» у її типорозмірі.

- 51 - номінальний діаметр у дюймах.

Стандарти для великогабаритних шин містять вимоги до розмірів, навантажень, рекомендованого тиску в шинах, а також допустимі ободи та маркування шин. Ці стандарти також визначають характеристики малюнка протектора, експлуатаційні параметри і рекомендації щодо вибору шин для нових машин.

Нормативи експлуатації великогабаритних шин визначають основні фактори, що впливають на їхню ефективність і працездатність:

- навантаження;
- тиск у шинах;
- швидкість руху;
- умови експлуатації та стан доріг;
- експлуатаційна продуктивність;
- обслуговування шин;
- правильна установка.

Неурахування цих факторів може призвести до швидкого зношування, відмови шини або інших проблем у її експлуатації.

Відмова шин при перевищенні навантаження подібна відмові в разі експлуатації з недоліками у внутрішньому тиску. Перед користуванням автомобілем потрібно перевірити внутрішній тиск, який для "холодної" шини (при температурі, яка дорівнює температурі навколишнього середовища) повинен відповідати встановленому нормативу на шину.

Під час експлуатації шини важливо підтримувати оптимальний внутрішній тиск, який розраховується з урахуванням температури шини, температури навколишнього середовища, фактичного навантаження на шину, швидкості руху, відстані поїздки та особливостей конструкції автомобіля.

У разі інтенсивної експлуатації транспортного засобу (наприклад, при зміні) внутрішній тиск у шині збільшується на 10-12% від встановленого нормативу. Є перелік можливих відмов шин при експлуатації, якщо внутрішній тиск нижче або вище рекомендованого нормативу. Перевищення

максимальної швидкості, встановленої для шини, може призвести до її теплового руйнування.

Максимальна експлуатаційна продуктивність шини - це умовний показник, що обчислюється як добуток середнього навантаження на середню швидкість руху під час експлуатації, при якій температура елементів шини досягає критичного значення.

1.3. Теоретичне узагальнення сучасних методів підвищення ресурсу автомобільних шин та шин для автомобільної спеціальної техніки

Дослідження методів підвищення довговічності шин кар'єрних автосамоскидів є актуальним питанням, оскільки це важливий аспект надійності та ефективності транспортних засобів у кар'єрній промисловості. Умови експлуатації, конструкція та властивості матеріалів шин визначають їхню тривалість служби та оптимальну ефективність.

Пневматична шина є ключовим елементом кар'єрного транспорту, від якого залежать не лише технічні параметри автомобілів, такі як продуктивність, швидкість, вантажопідйомність та надійність, а й економічні показники. Великогабаритні та понадвеликогабаритні шини, що використовуються в кар'єрних автосамоскидах, відносять до класу позашляхових шин і мають специфічні властивості, такі як багат шаровість, велика вага, особливості деформації та руйнування.

Ефективна експлуатація шин дозволяє збільшити продуктивність устаткування за рахунок скорочення простоїв і зниження виробничих витрат. Особливу увагу слід приділяти правильному внутрішньому тиску, оскільки недоліки у цьому параметрі можуть спричинити нерівномірне зношування шин та збільшення ризику руйнування.

Дослідження вказують, що більшість ушкоджень шин виникають через неправильний внутрішній тиск. Регулярна перевірка та належний контроль за цим параметром є важливими для підвищення тривалості служби шин та безпеки руху. Дослідженнями з цієї тематики займалися різні науковці, які

враховували фактори, такі як внутрішній тиск, температура, навантаження та швидкість руху, для визначення оптимального ресурсу шин та розробки ефективних методів експлуатації.

Починаючи з 1980-х років, став помітний розвиток усвідомлення важливості регулювання тиску повітря в шинах під час руху. Це стосується не лише підвищення тривалості служби шин і підвіски, але й з позицій безпеки та економії палива. Зростаючий інтерес до цієї теми особливо підтвердив статистичний матеріал, опублікований компанією "Porsche", який показав, що до 75% аварій в Західній Європі та до 10% аварій зі смертельними наслідками відбуваються через низький тиск у шинах. Не вчасно виявлене падіння тиску може призвести до неочікуваних маневрів при гальмуванні, розгоні та віражах, особливо на гладких дорогах.

Потребу у глибшому вивченні цієї проблеми підкреслили події 2000 року, коли через раптове падіння тиску в шинах Firestone в аваріях загинуло більше 270 осіб, а багато інших отримали поранення. При зниженні тиску в шинах збільшується деформація шин і зменшується тиск на ґрунт. Це призводить до зменшення глибини колії, енергозатрат на її формування та опір коченню коліс по ґрунту. Однак, збільшення деформації шин також збільшує втрати енергії через внутрішнє тертя та опір коченню, що призводить до загальних втрат у шинах.

У дослідженні Бабічева О.Ф. «Підвищення ресурсу пневматичних шин транспортних засобів» проаналізовано параметри технічного стану шин, виявлено фактори, що впливають на їхню довговічність, та розроблено нові методи оцінки ресурсу пневматичних шин. Зеночкіна М.Ю. у своїй статті розглядає технічні та економічні аспекти вибору великогабаритних шин з радіальним каркасом для гірничого пневмоколісного транспорту, що допомагає покращити ефективність та безпеку експлуатації.

Основні розміри радіальних шин для робочих машин включають 17.5R25, 20.5R25, 23.5R25, 26.5R25, 29.5R25, 35/65R33, 45/65R45, і так далі. Крім високої стійкості до навантажень і швидкісної здатності, радіальні

шини для транспортних машин також мають розміри 23.5R25, 26.5R25, 29.5R25, 18.00R25, 21.00R33, 21.00R35, 24.00R35, 2700R49, 33.00R51, 36.00R51, 40.00R57, 56/80R63, 59/80R63, і т.д.

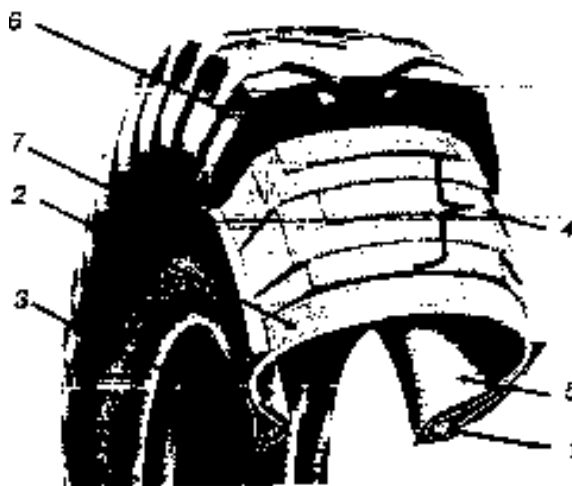


Рис. 1.3 Візуалізація узагальненої конструкції радіальної автомобільної шини: 1 - бортове кільце; 2 - металлокаркас; 3 - заворот каркаса; 4 - брекерне посилення; 5 - внутрішній гермослой; 6 - протектор бігової доріжки; 7 – боковина.

У дисертації Сичева А.В. «Розробка методики розрахунку змін тиску газу в шинах та заходи щодо його стабілізації» досліджувалася зміна внутрішнього тиску шин різного призначення під впливом експлуатаційних факторів, зокрема, для шин вантажівок і автобусів. Негативний вплив недостатнього тиску у шинах на ефективність транспортних засобів визнаний як загальновідомий факт як в Україні, так і за кордоном. Наприклад, за даними Департаменту Енергоресурсів США, понад 3,5 мільйонів галонів пального витрачається щодня через недостатній тиск у шинах.

Актуальність цього дослідження виправдується не лише фінансовими втратами, а й безпековими питаннями, оскільки недостатній тиск впливає на стійкість, керованість і гальмівні властивості автотранспорту. Цей дослідження виокремлює значення стабільності тиску у шинах для покращення ефективності та безпеки експлуатації.

Також дослідження вказує на велику частку шин, які зношуються швидше через ненормативний тиск, що призводить до збільшення викидів шкідливих речовин і створює проблеми з переробкою шин, оскільки недостатньо підприємств для їх утилізації. Стабілізація тиску в шинах може значно зменшити кількість утилізованих шин та позитивно вплинути на екологічну ситуацію.

Насичення шин азотом має декілька переваг:

1. Забезпечує підвищений рівень безпеки, оскільки автомобіль керується краще.

2. Збільшує термін служби шин, оскільки ризик нерівномірного зношування та пошкоджень через порізи та удари знижується.

3. Менше витрат палива завдяки оптимально низькому опору коченню.

Отже, підвищення тривалості використання пневматичних шин розміру 33.00 – R51 у реальних умовах експлуатації варто розглядати як актуальну проблему, що має важливе наукове, практичне і економічне значення. Розв'язання цієї проблеми допоможе зекономити цінні ресурси та гроші, а також підвищить ефективність використання автопарку через прогнозування параметрів пневматичних шин.

## 2. ТЕОРЕТИЧНЕ УЗАГАЛЬНЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЯКОСТЕЙ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ШИН ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

### 2.1. Опис шин та умов їх експлуатації

Прогрес у розробці конструкцій шин визначається вимогами, що накладаються на них залежно від конструкцій автомобілів та умов експлуатації. Важливі експлуатаційні характеристики автомобіля, такі як вантажопідйомність, тягова сила на ведучих колесах, економічність витрат палива, стійкість, прохідність, комфортність, безшумність та безпека руху, значно залежать від якості шин.

Рівень технічної ефективності шин визначається тим, як дотримуються правил їхнього догляду, правильне завантаження автосамоскідів, розподіл гірничої маси у кузові, а також стан та параметри доріг, по яких рухаються машини, швидкість руху та кваліфікація водіїв. Термін служби шин також залежить від міцності гірничих порід, температури, кількості опадів та кліматичних умов.

Розмаїття конструкцій шин, різні типи протекторів дозволяють вибирати шини відповідно до умов їхнього використання. При виборі шин важливо довірятися рекомендаціям виробників. Найсуттєвішими параметрами при виборі є: економічність у витратах потужності та палива, зчеплення з дорогою, довговічність, надійність, міцність, зносостійкість протектора, еластичність, прохідність, безпека, ремонтпридатність та експлуатаційні витрати. Оцінка перших трьох параметрів може бути здійснена за допомогою методів, які використовуються при тестуванні автомобілів для визначення коефіцієнтів зчеплення, кочення та споживання палива.

Економічність шини у витратах потужності автомобіля на кочення визначається коефіцієнтом кочення, який залежить від типу і стану



дорожнього покриття. Цей параметр впливає на запас потужності транспортного засобу та споживання палива.

Витрата потужності на кочення шини залежить від деформації та внутрішнього тертя, площі контакту з дорогою, малюнка протектора та матеріалу шини.

Міцність шини визначається конструкцією, властивостями матеріалу та технологією виготовлення. Вона виражається у величині тиску стисненого повітря, що призводить до розриву каркаса, а також у величині деформацій під дією навантаження та радіальної сили.

Еластичність шини визначається її пружністю, розтяжністю та гнучкістю. Ця якість залежить від товщини каркаса, розташування ниток корду, матеріалу та тиску повітря.

Твердість шини показує її здатність пружати під дією зовнішніх сил. Вона визначається радіальною, тангенціальною та бічною твердістю.

Прохідність шини впливає на прогнозовану прохідність автомобіля у складних дорожніх умовах та має важливий вплив на його м'якість ходу та стійкість.

У процесі вивчення питань, пов'язаних із підвищенням тривалості служби шин розміром 33.00 – R51, було виявлено, що дотримання оптимального тиску повітря всередині шин відіграє важливу роль у забезпеченні їхньої довговічності. Занадто високий або низький тиск призводить до прискореного зношування шин. Недостатній контроль за рівнем тиску у шинах помітно скорочує їхній термін служби. Надмірний тиск призводить до нерівномірного стирання протектора та руйнування каркаса шини, тоді як низький тиск може призвести до перегріву покришки та розшарування ниток корду, що ускладнює ремонт і може спричинити відшарування протектора або боковин. Знижений тиск також збільшує витрату палива та може призвести до нерівномірного зношування протектора, що може спостерігатися у вигляді увігнутих пасок по краях бігової доріжки шини.

Термінове звернення до сервісних пунктів для перевірки та регулювання тиску повітря в шинах допомагає уникнути багатьох зазначених проблем та забезпечує безпеку під час експлуатації автомобіля з такими шинами.

## 2.2 Систематизація особливостей експлуатації високонавантажених шин для автомобільної спецтехніки

В цьому розділі мова йде про питання що дають відповідь на необхідність врахування ключових чинників, які впливають на економічну ефективність використання шин. Серед них:

- навантаження на шину в радіальному напрямку.
- максимальна допустима швидкість руху автомашини.
- середня експлуатаційна швидкість руху автосамоскида ( $V_{с.е.}$ , км/год).
- тиск повітря всередині шини ( $P.$ , кПа, кгс/см).
- технічне обслуговування автосамоскида та шин.
- стан дорожнього покриття, вибоїв і відвалів.

Відхилення від рекомендацій щодо будь-якого з цих факторів неодмінно призведе до швидшого зношування шин і їхнього передчасного виходу з ладу. Це, в свою чергу, призведе до значного збільшення витрат на транспортування.

Радіальне навантаження на шину навантаженого автосамоскида не повинно перевищувати номінального значення, зазначеного в технічній документації. Для уникнення перевантаження окремих позицій шин, матеріал у кузові слід розміщувати рівномірно згідно з паспортом завантаження, що розроблений з урахуванням особливостей гірничих умов кар'єрів та розрізів.

Кожного місяця споживач оцінює експлуатаційне навантаження на шину, використовуючи різні методи, такі як зважування, використання датчиків навантаження, повторне зважування, маркшейдерський вимір і т.д., для 10% автосамоскидів з шинами розміру 33.00-R51. Перевищення максимально допустимого навантаження на шину призводить до скорочення

її терміну служби через надмірне теплове і деформаційне пошкодження, інтенсивне зношування протектора та інших елементів.

Ефективність використання шин вимірюється розподілом загального наробітку в кілометрах на загальну тривалість зміни в годинах. Середня експлуатаційна швидкість руху автосамоскида та величина плечей перевезень у кар'єрах не повинні перевищувати значень, встановлених в технічних документах для шин розміру 33.00-R51.

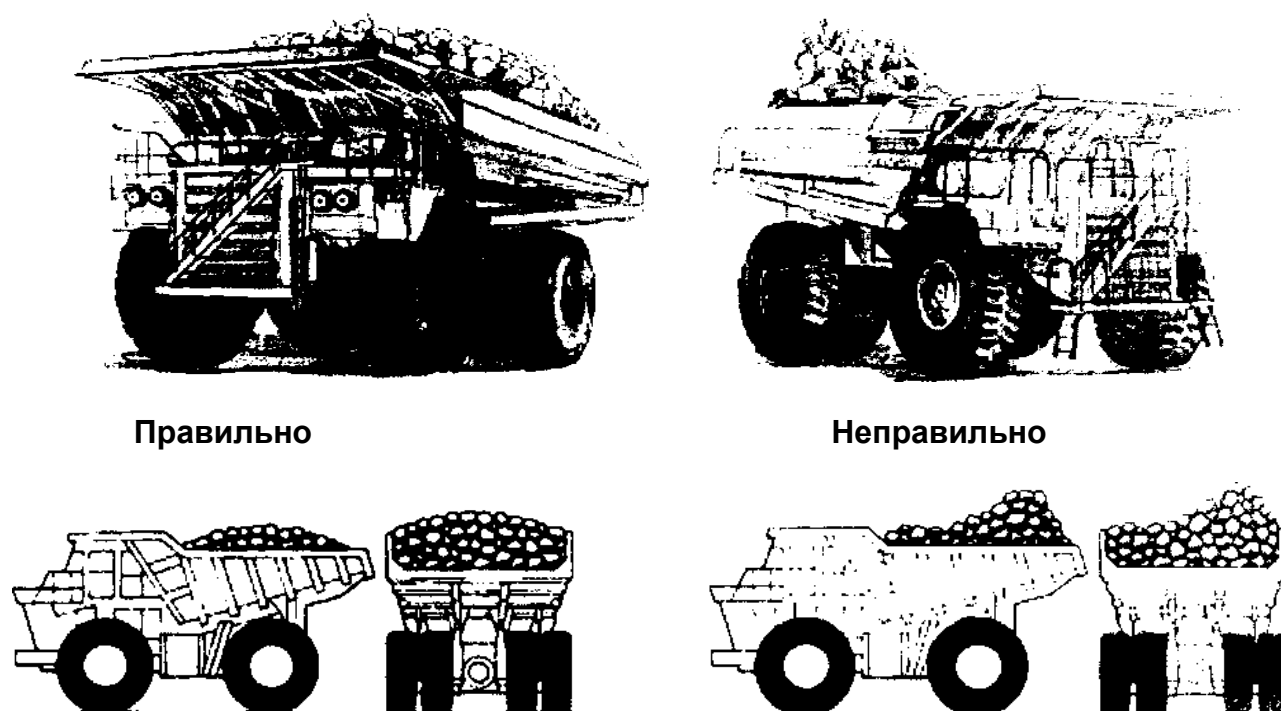


Рис. 2.1 Загально-типові правила якісної експлуатації високонавантажених шин при завантаженні кар'єрного самоскида.

Для важко навантажених шин великовантажних автомобілів дуже важлива підтримка номінального тиску всередині шини. Внутрішній тиск повітря в "холодній" шині повинен відповідати нормам, встановленим ДЕРЖСТАНДАРТОМ на шини для температури навколишнього повітря не вище 20°C.

Недотримання норм тиску повітря в шині призводить до скорочення терміну її служби через теплове руйнування, механічні ушкодження,

інтенсивне зношування протектора та інші проблеми. Таблиця 2.1 показує вплив недотримання норм тиску повітря на шині.

Таблиця 2.1.

## Відмови високонавантажених шин у залежності від тиску

Тиск нижче ніж рекомендований	Тиск вище ніж рекомендований
Відшарування протектора, розшарування (розрив) брекера, каркаса і подальше руйнування через збільшення теплотворення в шині.	Посилене зношування центральної частини протектора, через зменшення плями контакту шини з дорогою.
Відшарування покривних гум боковини, зламвання або розрив каркаса внаслідок підвищення деформації шини.	Вихід окремих ниток корду у внутрішній порожнині шини. Руйнування, розривши каркаса. Розрив покривної гуми боковини в місцях порізів.
Розшарування борта і надбортової частини шини.	Окружні тріщини в центрі бігової доріжки протектора.
Нерівномірне посилене зношування кутів протектора, що виникає при підвищенні деформації шини	

Для шин з недостатнім тиском повітря потрібно підняти тиск (за нормами для температури навколишнього повітря не більше 20°C) на 0,15-0,20 кгс/см<sup>2</sup> на кожні 10°C збільшення температури. У разі інтенсивної експлуатації автомобіля (більше, ніж на одну зміну), рекомендується підняти тиск у шині на 10-12% вище норми для холодного стану. На рис. 2.2. відображено вплив можливих порушень норм тиску повітря в шинах в різні боки.

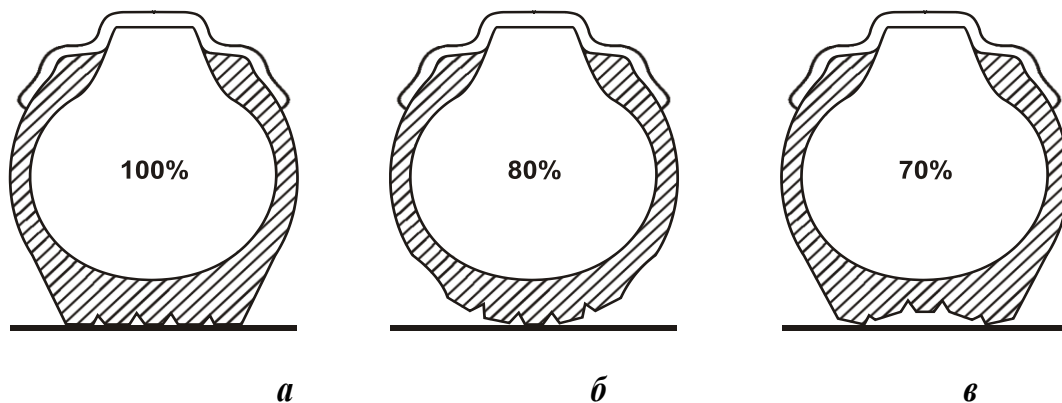


Рис. 2.2 Візуалізація можливих порушень норм тиску повітря в шинах на використання ресурсу ходимості в %. а - при нормальному тиску повітря; б - при тиску, підвищеному на 20%; в - при тиску, зниженому на 30%.

Кар'єрні дороги та дороги до екскаваторів і відвалів повинні бути у такому стані, щоб уникнути пошкоджень шин. Під час технічного обслуговування доріг необхідно:

- Регулярно чистити постійні та тимчасові дороги, зони навантаження та розвантаження від уламків породи.

- Запобігати наявності гострих виступів каміння.

- Проводити своєчасний ремонт пошкоджених ділянок, ущільнювати м'яку поверхню та дренувати затоплені ділянки доріг.

Взимку дороги потрібно очищати від снігу та льоду. Для протиожеледних заходів рекомендується використовувати суміш хлористого кальцію і хлористого натрію у кількості 30-40 г/м<sup>2</sup>.

2.3. Аналіз переліку необхідних дій при проведенні технічного обслуговування високонавантажених шин та його вплив на їх напрацювання

Під час технічного обслуговування шин проводяться такі роботи:

- Перевірка та налаштування внутрішнього тиску повітря у шинах.

- Огляд технічного стану шин, дисків, вентилів та інших елементів, а також заміна дефектних деталей, якщо потрібно.

Ці операції зазвичай виконуються під час відповідного технічного обслуговування автомобіля (ТО-1, ТО-2) не рідше, ніж один раз на тиждень. Огляд здійснюється з метою забезпечення ефективності перевезень і безпеки руху. Найважливіші дефекти шин та їх причини подано у таблиці 2.2.

Якщо виявлено інтенсивне або нерівномірне зношування протектора чи інші експлуатаційні дефекти, необхідно негайно встановлювати їхні причини і приймати заходи для усунення, незалежно від графіку технічного обслуговування.

Рекомендації щодо перестановки шин визначаються технічним керівництвом підприємства і ґрунтуються на технічній необхідності.

Систематизація основних дефектів високонавантажених шин  
автомобільної спецтехніки

Вид експлуатаційного дефекту	Причина
Однобічне зношування	Неправильне регулювання кутів установки коліс. Несвоєчасна перестановка коліс. Низький тиск у шині й (або) перевантаження.
Гребінчастий (пилкоподібний) знос	Несвоєчасна перестановка коліс. Низький тиск у шині або перевантаження. Несправна підвіска (перекошені осі)
Істотне зношування в окремих місцях посередині протектора	Наслідку блокування коліс при раптовому гальмуванні. Можлива овальна форма гальмового барабана, у результаті чого при блокуванні коліс гальмовий барабан завжди перебуває в тому самому положенні.
Порізи в області протектора	Зовнішні порізи протекторної частини. Ковзання (занос), пробуксовка на нерівній дорозі.
Порізи від диска (ушкодження при монтажі)	Ушкоджені диски. Невідповідний розмір диска і його елемента Неправильний монтаж (демонтаж).
Відрив протекторних доріжок	Наїзд на бордюр або крайку дороги на великій швидкості. Неправильний тиск у шині або перевантаження. Різкий поворот на високій швидкості.
Високотемпературне відшарування (край брекера, брекер-каркас)	Низький тиск у шині або перевантаження. Їзда на надмірно високій швидкості. Використання невідповідних шин.
Розриви від порізів (ударів)	Зовнішні порізи протекторної частини. Необережне водіння і висока швидкість. Надмірний тиск у шині та перевантаження.
Відшарування плечової частини	Удар об перешкоду (удар великої сили). Несвоєчасна перестановка коліс. Неправильний тиск у шині та перевантаження.
Розрив борта	Невідповідний розмір диска і його елементів. Ушкоджені диски. Неправильний тиск у шині та перевантаження.
Розрив каркаса в плечовій частині	Перевантаження при низькому тиску в шині.
Місцеві розшарування в брекері	Влучення вологив ниті брекера в місці проколу або ушкодження протектора
Зовнішні тріщини над бортовою частиною	Низький тиск у шині або перевантаження.
Перетирання борту закраїни обода	Їзда на шині при зниженому тиску. Експлуатація шини на ободі з деформованими закраїнами.
Механічне ушкодження борта	Некваліфікований монтаж.
Тріщини по гумі герметичного шару на внутрішній поверхні шини	Їзда на шині при зниженому тиску.
Випадання ниток першого каркаса	Те ж саме.
Відшарування заворотів шарів каркаса	Неправильний тиск у шині та перевантаження. Генерація теплоти від сильного гальмування.

Підставами для цього можуть бути наступні фактори:

- пошкодження шини.
- нерівномірне зношування малюнка протектора.
- потреба у правильному підборі здвоєних шин.

Перед виїздом на роботу водій повинен перевірити технічний стан шин, дисків, тиск повітря, наявність вентилів і ковпачків, а також переконатися у відсутності сторонніх предметів.

Вимірювання тиску в шинах з глибокими порізами і здуттям до каркасу заборонено і такі шини повинні негайно зняти. На лінію не можна випускати автосамоскиди, які мають наступні проблеми з шинами:

- зношування малюнка протектора до нуля по індикатору зношування.
- відшарування протектора або здуття покривних гум незалежно від розміру.
- злам каркаса або розшарування каркаса.
- тріщини, які досягають корду.
- порізи з ушкодженням шарів корду каркаса.
- несправні вентиля або вентиля без ковпачків.
- тиск повітря, що не відповідає нормам.

Після тривалої стоянки автосамоскида за низьких температур, перед початком роботи необхідно обмежити швидкість до 5-10 км/год для розігріву шин.

При транспортуванні великовантажних автосамоскидів до нових об'єктів експлуатації слід дотримуватися таких вимог:

- Автосамоскид має бути незавантаженим.
- Перед виїздом перевіряти тиск повітря в шинах і, за потреби, підвищити його на 12-14% від нормативного значення.
- Максимальна швидкість на автодорогах не повинна перевищувати 32 км/год для автосамоскидів вантажопідйомністю 75-180 тонн.
- Проводити охолодження шин кожні 80 км або через кожні 2 години їзди на 30 хвилин, а також через кожні 4 години - на 1 годину.

Місця стоянки автосамоскида повинні бути чистими, без нафтопродуктів та інших речовин, що можуть пошкодити гуму. Заборонено стоянку з недостатнім тиском у шинах або більше 48 годин з повним навантаженням.

2.4. Обґрунтування доцільності регулярного вимірювання тиску в високонавантажених шинах

Необхідність постійного контролю тиску в шинах обґрунтовується наступними вимогами:

1. Тиск повітря в шині має вимірюватися манометром з межами від 0 до 1000 кПа (10 кгс/см<sup>2</sup>) та точністю 0,5 або 1,0, який має шкалу з кроком 10-20 кПа (0,1-0,2 кгс/см<sup>2</sup>). Манометри потребують перевірки на відповідність класу точності за встановленими правилами. Нагріта шина не повинна мати тиск вище норми для холодного стану більше ніж на 110 кПа (1,1 кгс/см<sup>2</sup>).

2. Якщо тиск в нагрітій шині перевищує допустиме значення, автосамоскид слід припинити, встановити та усунути причину збільшення тиску (наприклад, перевантаження або перевищення швидкості). Якщо порушень не виявлено, шині слід дати час на охолодження перед перевіркою тиску на відповідність нормі.

3. Внаслідок експлуатації при підвищених деформаціях через їзду з низьким тиском, перевантаженням або вищою швидкістю, шина може стати вибухонебезпечною через руйнування каркаса. Тому замір тиску виконується в холодних шинах, коли вони повністю остигли.

4. Недотримання рекомендованого тиску, будь то недокачування чи перекачування, негативно впливає на пробіг і робочі характеристики шин, спричиняючи прискорене зношування, деформацію контактної плями на ґрунті, погіршення порізостійкості та інші негативні наслідки. Графік на рис. 2.3 ілюструє зменшення терміну служби шин при систематичному використанні під некоректним тиском.



Отже, величина та характер відхилення тиску від рекомендованих значень має вирішальне значення для ефективності використання шин. На рис. 2.3 наведені реальні приклади контролю тиску в шинах 33.00R51, що встановлені на жорстко-зчленованих кар'єрних самоскидах з вантажопідйомністю 120-135 тонн.

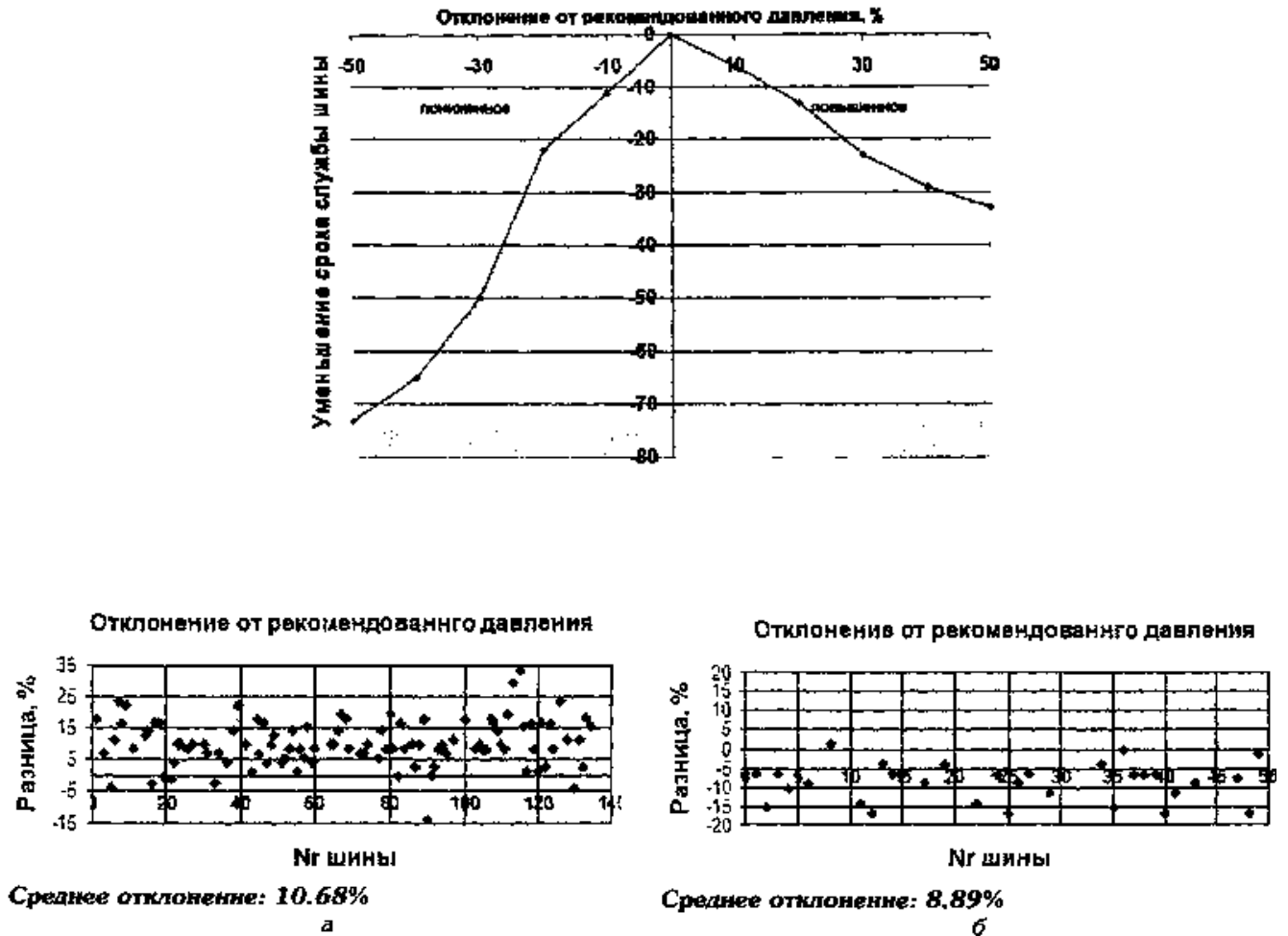


Рис. 2.3 Візуалізація фактичного скорочення напрацювання високонавантаженої шини (%) при недотриманні рекомендованого внутрішнього тиску

У випадку, коли розглядається системне перекачування шин (рис. 2.3. а), це сталося через недостатню інформованість експлуатаційних служб щодо рекомендованого тиску в шинах. У другому випадку (рис. 2.3. б), було помічено переважну недокачку шин, зумовлену відсутністю системного контролю тиску через зношеність колісних дисків.

Обидва ці випадки викликали втручання відповідальних фахівців обох підприємств для вирішення ситуації. Незалежно від тенденції до недокачування або перекачування, легко розрахувати середнє відхилення тиску від рекомендованого значення в усій вибірці даних. У випадках, що розглядалися, відхилення становили 10,68% і 8,89% відповідно до графіка на (рис. 2.3), що еквівалентно середньому недопробігу шин на рівні 5-10%.

Контроль тиску в шинах виконується тільки в "холодних" шинах, тобто тих, що охололи до температури навколишнього середовища або гаражного приміщення. При налаштуванні тиску в "холодній" шині у гаражі перед виїздом на лінію на 24 і більше годин, вводиться коригування відповідно до табличних даних залежно від різниці температур. Такий підхід також використовується, коли тиск у шині регулюється усередині приміщення при низьких зовнішніх температурах.

Таблиця 2.3.

Номінальне значення тиску повітря в шині

$\Delta t, ^\circ\text{C}$	10	20	30	40	50	60
$\alpha$ кПа (кгс/см <sup>2</sup> )	20(0,2)	30(0,3)	50(0,5)	70(0,7)	80(0,8)	100(1,0)

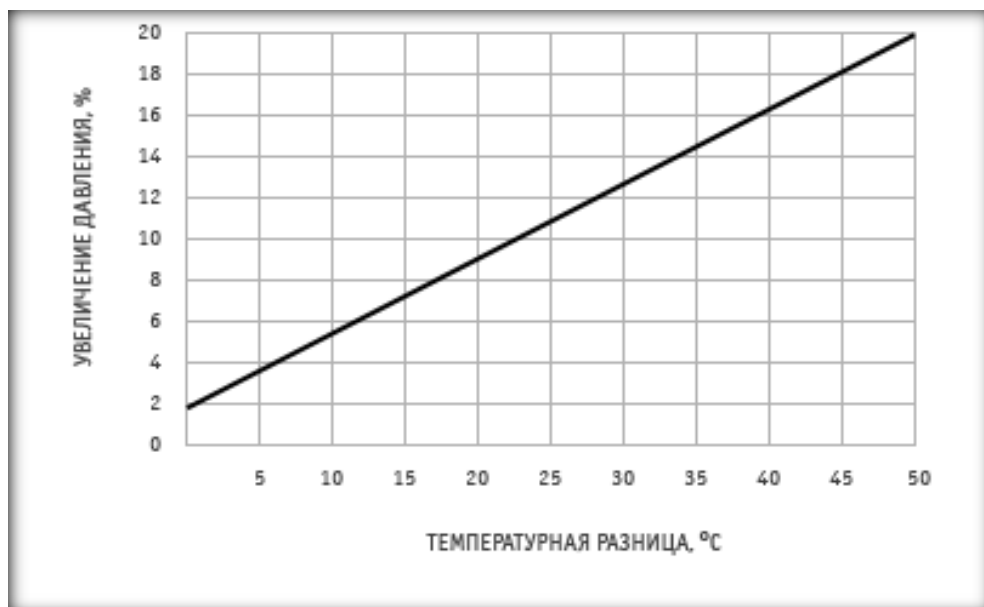


Рис. 2.4. Гфічна залежність підвищення внутрішнього тиску у високонавантажений шині.

Належить встановлювати тиск повітря в "холодній" шині згідно з вказівками у посібнику з експлуатації або уточненим значенням, що надає виробник шин. Перевіряти тиск у "гарячій" шині слід щодня після кожної зміни. Норма для тиску в нагрітій шині не повинна перевищувати ту, яка встановлена для холодного стану, на більш як 110 кПа (1,1 кгс/см<sup>2</sup>). Забороняється зниження тиску у "гарячій" шині та продовження експлуатації.

Забороняється проводити вимір тиску в шинах з глибокими порізами, що досягають каркаса, а також у шинах здуттям. Реєстрація вимірів тиску в шинах дозволяє виявити заводські дефекти шини або причину збільшення тиску (наприклад, перевантаження, перевищення середньої експлуатаційної швидкості) на ранніх етапах і запобігти їхньому передчасному виходу з ладу.

Інші вказівки щодо технічного обслуговування шин слід дотримуватися відповідно до Правил технічної експлуатації великогабаритних шин розміром 33.00 – R51. Наприклад, коли температура шини і навколишнього повітря стають однаковими, наприклад у гаражі, шину слід надувати до певного тиску, використовуючи графіки та таблиці залежності тиску від температури.

### 3. ОГЛЯД ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТИСКУ У ВИСОКОНАВАНТАЖЕНІЙ ШИНІ

#### 3.1. Способи та методи розрахунку фактичного ресурсу шин

Кар'єрні автосамоскиди з вантажопідйомністю 120-180 тонн є основним типом технологічного автотранспорту на більшості кар'єрів гірничодобувної галузі. Високий рівень ефективності експлуатації таких автосамоскидів суттєво залежить від ресурсу їхніх великогабаритних шин (ВГШ).

Аналіз конструктивних і експлуатаційних параметрів, що впливають на ресурс пневматичних шин, показав, що основним чинником зниження ресурсу є підвищена температура каркаса через підвищений тиск, підканавку і протектор. Більшість шин виходить з ладу через термічне руйнування в області з'єднання протектора з підканавочним шаром і каркасом. Тому важливо знати допустимі температурні режими, при яких не відбувається деградація гуми і корда, та зберігається необхідна міцність зв'язку між елементами шини.

Для визначення цих температур була використана модель шини 33.00 – R51.

Експериментальні дослідження температурного режиму під час експлуатації шини на ґрунті показали, що найвища температура виникає в плечовій зоні і дорівнює 1100С. Отже, для оцінки ресурсу необхідно враховувати температуру саме в цій зоні [20].

Був проведений статистичний аналіз для встановлення математичних залежностей між температурою та часом руху  $t$ , радіальним навантаженням  $Q$ , швидкістю руху  $V$ , та внутрішнім тиском  $P$  в характерних зонах шини.

Для кожної з цих зон були отримані залежності:

$$y_{c1} = -14,75P + 0,64V + 0,0057Q + 0,35t, \quad (3.1)$$

$$y_{c2} = -11,41P + 0,57V + 0,0074Q + 0,32t, \quad (3.2)$$

$$y_{c3} = -7,85P + 0,66V + 0,0061Q + 0,34t. \quad (3.3)$$

За допомогою рівнянь (3.1), (3.2) або (3.3) можна провести точний прогноз температури нагрівання шини, враховуючи значення часу руху  $t$ , внутрішнього тиску  $P$ , швидкості руху  $V$  та радіального навантаження  $Q$ , в залежності від досліджуваної зони шини. Для розрахунку ресурсу шини варто скористатися отриманим рівнянням (3.3) для плечової зони.

Була розроблена методика для обчислення фактичного ресурсу пневматичних автомобільних шин. Залежність величини ресурсу у кілометрах від швидкості руху  $V$  визначається за формулою:

$$L = \frac{t_0 \cdot \exp[U_0 - \gamma(\sigma_a, \sigma_c, \gamma_{c3}) \cdot (\sigma_a + \alpha_c \sigma_c)]}{k \cdot \gamma_{c3}} \cdot V, \quad (3.4)$$

де  $t_0$ ,  $U_0$ ,  $\gamma$  – постійні величини, що залежать від властивостей гуми;  $\sigma_a$  – амплітуда циклу напруги, Па;  $\sigma_c$  – середня напруга, Па;  $k$  – постійна Больцмана;  $\gamma_{c3}$  – температура шини,  $^{\circ}\text{K}$ ;  $V$  – швидкість руху шини, м/с.

На основі досліджень теплового режиму ВГШ під час експлуатації з достатньою точністю можна визначити температуру передніх тш.п і задніх тш.з нових шин 33.00 – R51 на автосамоскидах за допомогою кореляційних залежностей (3.5) та (3.6):

$$t_{\text{ш.п.}} = 38,4 + 0,6t_c + 0,1608Q_{\text{п.р}}V_{\text{с.э}}, \quad (3.5)$$

$$t_{\text{ш.з.}} = 22,5 + 0,6t_c + 0,1833Q_{\text{з.р}}V_{\text{с.э}}, \quad (3.6)$$

де  $Q_{\text{п.р.}}$ ,  $Q_{\text{з.р}}$  – середня за транспортний цикл перевезення гірничої маси, радіальна навантаження відповідно на передні і задні шини;  $V_{\text{с.э}}$  – середня експлуатаційна швидкість автосамоскиду.

Значення  $Q_{\text{п.р.}}$ ,  $Q_{\text{з.р}}$  можуть бути визначені за формулами (3.7) і (3.8):

$$Q_{\text{п.р.}} = 0,5(Q_{\text{п.р.}}^{\text{п}} + Q_{\text{п.р.}}^{\text{г}}), \quad (3.7)$$

$$Q_{\text{з.р.}} = 0,5(Q_{\text{з.р.}}^{\text{п}} + Q_{\text{з.р.}}^{\text{г}}), \quad (3.8)$$

де  $Q_{\text{п.р.}}^{\text{п}}$ ,  $Q_{\text{п.р.}}^{\text{г}}$ ,  $Q_{\text{з.р.}}^{\text{п}}$ ,  $Q_{\text{з.р.}}^{\text{г}}$  – радіальна навантаження відповідно на передні і задні шини на твердому горизонтальному майданчику від маси порожнього  $Q^{\text{п}}$  і навантаженого  $Q^{\text{г}}$  автосамоскида.

Середня експлуатаційна швидкість визначається за формулою:

$$V_{c.э} = \frac{2}{\tau_n} \sum_{i=1}^N S_i n_i, \quad (3.9)$$

де  $S_i, n_i$  - відповідно відстань перевезення і число ходок на  $i$ -му маршруті;  $\tau_n$  - час в наряді;  $N$  – кількість маршрутів.

Протягом одного робочого циклу, коли автосамоскид працює ритмічно (без перерв), приймається час двох повних змін з урахуванням певних технологічних затримок при навантаженні та розвантаженні, а також перерви на обіди і перезміну. Якщо автосамоскид працює не ритмічно, то час на один наряд дорівнює 24 годинам.

Для визначення середнього радіального навантаження на шини проводилося зважування автосамоскида по вісі. Отримані середні радіальні навантаження для передніх шин ( $Q_{п.р} = 289$  кН) і задніх шин ( $Q_{з.р} = 246$  кН) використовувалися для розрахунку температур передніх (тш.п) і задніх (тш.з) шин моделі 33.00-R51 за допомогою формул (3.7) і (3.8), а також припустимих швидкостей автосамоскида в залежності від значень  $t_c$  і  $V_{c.э}$  і при граничних значеннях температури ( $t_d = 1100$ С) для передніх ( $V_{(C.Эд)^п}$ ) і задніх ( $V_{(C.Эд)^з}$ ) шин.

Дослідження теплового стану та аналіз робочої здатності великогабаритних шин в умовах підприємства показали, що безперервна експлуатація нових шин тривалістю три дні з перевищенням припустимих швидкостей  $V_{(C.Эд)^п}$  призводить до їх виходу з ладу через теплові поломки. Для зниження температури в шинах необхідно зменшити швидкість  $V_{c.э}$  шляхом перегляду маршрутів, таким чином, щоб за дві зміни швидкість не перевищувала  $V_{(C.Эд)^п}$ , як показано в таблиці 3.1. Враховуючи, що на підприємстві існують як довгі, так і короткі маршрути, перегляд маршрутів не вплине на загальну продуктивність роботи кар'єру.

Ще одним способом зниження температури шин і підвищення припустимих швидкостей експлуатації автосамоскида є вирівнювання теплового режиму передніх і задніх шин. Дослідження температурного режиму шин з різним ступенем зношування протектора показали значне зниження температури в залежності від ступеня зношеності.

## Експлуатаційні температури шин 33.00 – R-51

Температура навколишнього середовища	Температура, °С, передніх (задніх) шин для різних експлуатаційних швидкостей автосамоскида, км/ч				Допустимі швидкості руху автосамоскида, км/ч	
	10	12	14	16	$V_{С.Эд}^п$	$V_{С.Эд}^з$
10	91 (73)	100 (82)	109 (91)	119 (100)	14,1	18,1
20	97 (79)	106 (88)	115(97)	125 (106)	12,8	16,8
30	103 (85)	113 (94)	121 (103)	131 (112)	11,5	15,5

Температура передніх шин, зношених на 40%, вирівнюється з температурою нових задніх, що дозволяє підвищити припустиму швидкість автосамоскида на 4,0 км/год.

3.2. Обґрунтування та аналіз загальної моделі втрати тиску у високонавантаженої шині через дифузію в резині

Виробник шин рекомендує внутрішній тиск, який підтверджується результатами досліджень і тестів, а також розрахунками за математичною моделлю. Зниження тиску до 160 кПа зменшує ресурс на 11%, а до 140 кПа - на 23%, що підтверджує вплив тиску на тривалість служби шин, як описано фаховій літературі. Такі тиски спричиняють збільшення максимальної температури, що є небезпечним з точки зору безпеки. Висока температура є серйозним чинником, який прискорює передчасне руйнування шин через розшарування їх структури. Зниження тиску також призводить до істотного збільшення опору коченню.

Зміна тиску газу у шинах при використанні автомобілів зумовлена двома основними факторами. По-перше, це зміна температури. У процесі експлуатації автомобіля температура повітря в шинах коливається, що призводить до зміни тиску. Другий фактор - це витік повітря з шини. Досвід показує, що тиск у шині поступово зменшується через дифузію газу через гуму та інші причини. Давайте розглянемо ці фактори докладніше.

Зміна температури газу в шині відбувається через сезонні коливання температури навколишнього середовища. Газ у шині розширюється при нагріванні та стискається при охолодженні, що відповідає закону Бойля - Маріотта (пропорційно відношенню абсолютних температур). Наприклад, при зміні температури середовища від  $+50^{\circ}$  до  $-40^{\circ}$  (типовий діапазон для більшості шин) тиск газу в шині змінюється у 1,43 рази. Таким чином, весняно-літній період може призводити до збільшення тиску у шині або його стабілізації, якщо це збільшення (до 1,1 рази) компенсується витоком газу через дифузію. Однак в осінньо-зимовий період тиск незабаром зменшиться у 1,1 рази або більше, оскільки температура і дифузія діють у зворотньому напрямку. Тому в цей період слід більш уважно контролювати тиск у шинах.

Крім того, зміна температури газу в шині пов'язана з режимами руху автомобіля, гальмування та іншими факторами. Наведемо основні дані та співвідношення й встановимо найбільш важливі компоненти, на які можна впливати, для розрахунку швидкості дифундирування газу через матеріал шини. Стадії процесу дифузії представлені на рис. 3.1:

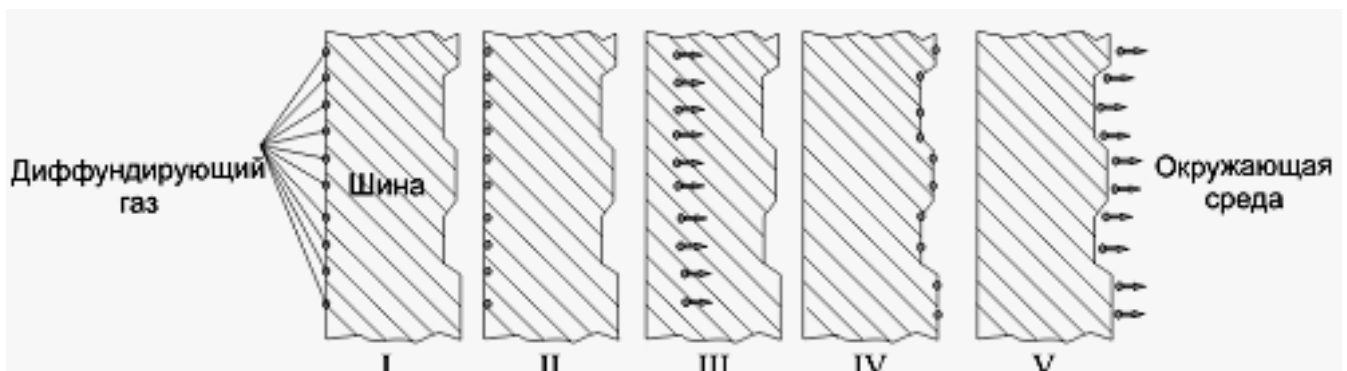


Рис. 3.1. Візуалізація основних стадій дифузії газу у високонавантажений шині автомобіля.

- I** - стадія - адсорбція газу-наповнювача на внутрішній поверхні шини;
- II** - розчинення газу в матеріалі шини з боку цієї поверхні;
- III** - активізована дифузія газу в шину й через неї;
- IV** - виділення газу з розчину на протилежну поверхню шини;
- V** - десорбція газу із цієї поверхні шини.



Дифузія газу описується першим законом Фіка, що для одномірного переносу газу в напрямку перпендикулярному поверхні шини, має вигляд:

$$I = -D \left( \frac{\partial c}{\partial x} \right) \quad (3.10)$$

де  $I$  - кількість речовини, що провів в одиницю часу через одиницю площі перетину по нормалі;  $D$  - коефіцієнт дифузії;  $\partial c / \partial x$  - градієнт концентрації.

Рівняння показує, що дифузія відбувається в напрямку зменшення концентрації (або тиску газу у шині). Щодо стаціонарного потоку згідно з законом Генрі, коли проникність газу через матеріал шини пропорційна тиску, рішення рівняння Фіка призводить до такого виразу для коефіцієнта дифузійної проникності:

$$k = \frac{Q\delta}{\Delta p S t} \quad (3.11)$$

де  $Q$  - кількість речовини, що пройшли через поверхню товщиною  $\delta$  і площею  $S$  за час  $t$  при заданому градієнті концентрації (тиску в шині). Цей коефіцієнт залежить від багатьох факторів: структури матеріалу, будови та розмірів молекул газу, температури, тиску. Він визначається експериментально.

Цей коефіцієнт залежить від багатьох факторів і визначається експериментально. Також для визначення коефіцієнта дифузії можна використовувати формулу Ейнштейна:

$$D = \frac{RT}{N\delta\pi\eta r} \quad (3.12)$$

де  $R$  - газова постійна,  $T$  - абсолютна температура (К),  $N$  - число Авогадро,  $\eta$  - в'язкість середовища (Па\*с),  $r$  - радіус молекул, що дифундують.

З урахуванням факторів, що впливають на падіння тиску у шині, можна запропонувати модель з таким виглядом:

$$\Delta p_w(t) = k_{\text{загр}} \times k_{\text{стар}} \times k_{\text{дин}} \times \Delta p_w^{\text{стар}} \times t \quad (3.13)$$

де  $\Delta p_w$  - втрати тиску газу в шині;  $k_{\text{загр}}$  - коефіцієнт, що враховує ступінь завантаження автомобіля;  $k_{\text{стар}}$  - коефіцієнт, що враховує ступінь старіння

шини;  $k_{\text{дин}}$  - динамічний коефіцієнт, тобто що враховує збільшення втрат газу-наповнювача при динамічній деформації, в порівнянні зі статичними втратами;  $\Delta p_w^{\text{стат}}$  - величина втрат тиску в шині навантаженої в нормальних умовах;  $t$  - період експлуатації.

Далі описана модель потребує бути уточнена і вже після цього матиме вигляд:

$$\Delta p_w(t) = k_{\text{пмас}} \times k_{\text{стар}} \times k_{\text{дин}} \times \Delta p_w^{\text{диф}} \times t \quad (3.14)$$

де  $k_{\text{пмас}}$  - коефіцієнт враховуючий вплив навантаження шини вертикальним навантаженням (до повної маси автомобіля),  $\Delta p_w^{\text{диф}}$  - величина втрати тиску ненавантаженим вертикальним навантаженням шини (у результаті дифузії).

Модель можна уточнити, врахувавши вплив навантаження шини вертикальним навантаженням і величину втрат тиску через дифузію. Ця модель дозволяє визначити втрати тиску у шині залежно від умов експлуатації. Таким чином, з віднесенням цього значення до норми тиску та порівнянням з рекомендованим відхиленням (зазвичай 5%), можна планувати оптимальну частоту контролю для всього парку автомобілів у однакових умовах експлуатації.

У таблиці 3.2 подані коефіцієнти дифузійної проникності для різних газів та марок каучуку при різних температурах. Звідси можна зробити наступні висновки:

Таблиця 3.2

Коефіцієнти дифузійної проникності

Газ	Марка каучуку			
	Натуральний каучук при $T=303^{\circ}\text{K}$	Бутилкаучук при $T=303^{\circ}\text{K}$	Фторкаучук марки «Вайтон-А»	
			$T=303^{\circ}\text{K}$	$T=333^{\circ}\text{K}$
Азот	8,7	0,35	0,33	2,6
Кисень	23	1,3	1,09	6,66
Вуглекислий газ	123	5,2	5,87	29,8

Проведення аналізу приведеної таблиці, вказує на наступне:

- тип газонаповнювача має значний вплив на швидкість дифузії, що свідчить про неможливість використання вуглекислого газу для наповнення шин, оскільки його проникність через гуму значно вища (у 14 разів) в порівнянні з азотом.

- збільшення температури на 30 °С може призвести до збільшення газопроникності в 5-7 разів, що вказує на необхідність зменшення температури шин для зниження цього ефекту.

- тип гуми має значний вплив на дифузію газів; наприклад, різниця між фторкаучуком і бутилкаучуком становить 30%.

Зношення та старіння шин прямо впливають на швидкість падіння тиску. Це пов'язано з двома основними причинами. По-перше, мікрозміни в структурі гуми під час тривалої роботи шин призводять до збільшення газопроникності через ослаблення міжмолекулярних зв'язків, що робить газу легше проникати. По-друге, макророзміни, такі як мікротріщини і мікропори, дозволяють газу-наповнювачу легко виходити, що збільшує втрати тиску.

Неправильне обслуговування шин також може значно впливати на втрати тиску. Наприклад, витік газу через несправний ніпель може перевищувати втрати через дифузію. Під час монтажу безкамерних шин імовірні пошкодження, які призводять до негерметичності. Порушення правил експлуатації шин, такі як перевантаження, ненормативний тиск або перевищення допустимої швидкості, також можуть значно збільшувати втрати газу.

### 3.3. Стабілізація тиску високонавантажених шин при заповненні їх інертними газами

Для якісного розуміння процесу необхідності накачування шин азотом слід розглянути наступні питання. Скептики заперечують, кажучи, що повітря навколо нас вже майже воно ж і складається з азоту. Тому накачувати

шини ним ніби не має сенсу - ведучи аргументи, що у повітрі він уже є у достатній кількості.

Фактично, повітря в основному складається з азоту (приблизно 78%), кисню (приблизно 20%), і решти вмісту це різні гази, включаючи пари води. Однак, шанувальники "азотних шин" стверджують, що якщо понад 93-95% вмісту всередині шини становить азот, це додає значиму перевагу, як мінімум, якість повітря всередині шини.

Використання стисненого повітря також має свої недоліки через окисні властивості кисню та водяних парів. Кисень може окислити компоненти шини, що може вплинути на її міцність та безпеку. Витік кисню через стінки шини є швидшим, ніж випадок з азотом, і триває до зрівняння часткового тиску.

Експериментальним шляхом було визначено, що якщо кількість кисню в шині не перевищує 2,5% для автосамоскидів, то витік можна запобігти, збалансувавши тиск газів всередині та зовні шини шляхом накачування азоту.

Стиснене повітря проходить через фільтри, які очищають його від часток масла та інших домішок, а також відводять вологу. Проходячи через фільтр мембрани, досягається максимальна чистота азоту, яка використовується для накачування шин.

Спробую зрозуміти, як працює послуга накачування шин азотом. Скептики заперечують, кажучи, що повітря навколо нас вже майже воно ж і складається з азоту. Тому накачувати шини ним ніби не має сенсу - ведучи аргументи, що у повітрі він уже є у достатній кількості.

Фактично, повітря в основному складається з азоту (приблизно 78%), кисню (приблизно 20%), і решти вмісту це різні гази, включаючи пари води. Однак, шанувальники "азотних шин" стверджують, що якщо понад 93-95% вмісту всередині шини становить азот, це додає значиму перевагу, як мінімум, якість повітря всередині шини.

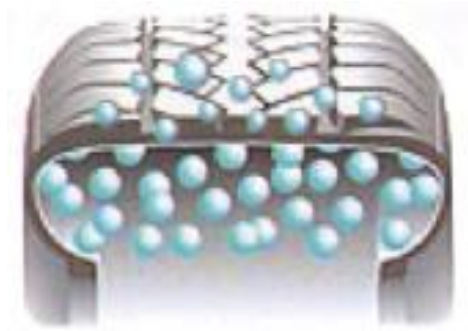


Рис. 3.2. Загальний спрощений вигляд процесу дифузії при накачуванні шини стисненим повітрям.

У колесах, накачаних стисненим повітрям, молекули кисню і пари проникають крізь шину.



Рис. 3.3. Загальний спрощений вигляд процесу дифузії при заповненні шини азотом.

Використання стисненого повітря також має свої недоліки через окисні властивості кисню та водяних парів. Кисень може окислити компоненти шини, що може вплинути на її міцність та безпеку. Витік кисню через стінки шини є швидшим, ніж випадок з азотом, і триває до зрівняння часткового тиску.

Експериментальним шляхом було визначено, що якщо кількість кисню в шині не перевищує 2,5% для автосамоскидів, то витік можна запобігти, збалансувавши тиск газів всередині та зовні шини шляхом накачування азоту.

Стиснене повітря проходить через фільтри, які очищають його від часток масла та інших домішок, а також відводять вологу. Проходячи через фільтр мембрани, досягається максимальна чистота азоту, яка використовується для накачування шин.

При використанні компресора для накачування шин у них потрапляє волога та масляний аерозоль. У дощову погоду, коли вологість у повітрі досягає 100%, кількість пари води у шинах збільшується. Під час накачування тиск у шині зростає, і, відповідно до законів фізики, пара води при цьому конденсується на поверхні гуми та внутрішній частині диску колеса.

Утворена волога разом з киснем у повітрі спричиняє корозію, руйнування і старіння гуми, що веде до втрати її властивостей, еластичності та міцності. Крім того, підвищена вологість спричиняє різкий зріст тиску у колесі під час швидкого руху автомобіля через нагрівання гуми від тертя, що веде до випаровування сконденсованої води та створення додаткового тиску.

Це стає причиною втрати еластичності та міцності гуми, неспроможності амортизувати нерівності дороги та передачі вібрацій на підшипники і кульові опори. Масляний аерозоль, утворений при роботі компресора, розчиняється у гумі та зменшує її міцність.

Накопичення вологи та втрата міцності можуть призвести до появи деформацій на шині та її руйнування. Використання азоту для накачування шин допомагає зменшити ці ризики, оскільки азот має менший коефіцієнт теплового розширення порівняно з киснем, що зменшує ризик вибуху шини при інтенсивному розігріві та навантаженні.

Крім того, азот забезпечує більш стабільний тиск у шині при коливаннях температури. Також він сприяє більшому терміну служби гуми, оскільки не вступає в реакцію з каучуком при підвищених температурах та тиску, унеможливаючи термоокислювальне старіння гуми.

Інша корисна відомість полягає в тому, що молекули кисню є більш плинними у порівнянні з молекулами азоту. Це означає, що у шині, яка

накачана звичайним повітрям, є більше можливостей для "підпускання", у порівнянні з колесом, де використано азот, як можна побачити з графіка проникності кількох видів каучуку для N<sub>2</sub> / повітря, які значно відрізняються. У Європі часто використовують азот для накачування коліс вантажних автомобілів. Прихильники такого підходу стверджують, що у великих шинах під час їзди тиск повітря може значно зростати через нагрівання покриття, що, в теорії, підвищує ризик розриву шини. Однак використання азоту може істотно знизити цей ризик у великих шинах, дозволяючи збільшити пробіг шини на 10 % в порівнянні з тими, які наповнені стисненим повітрям з (рис. 3.4).

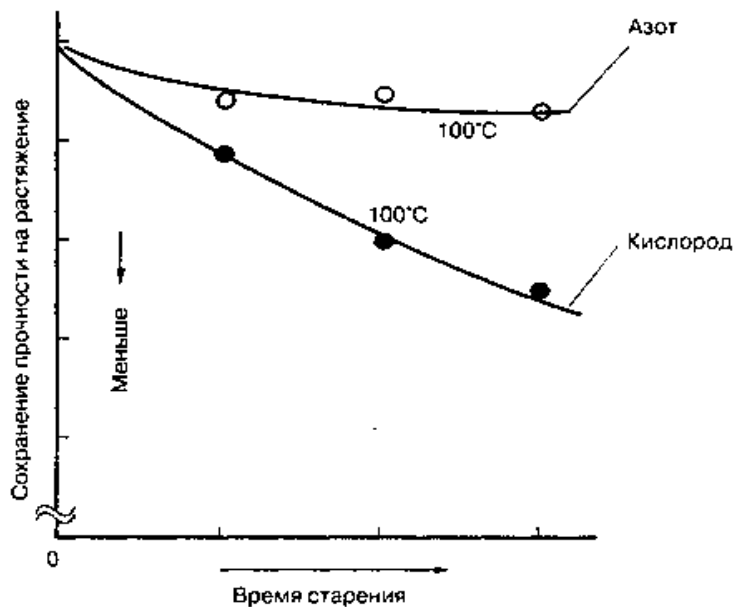


Рис. 3.4. Випробування на старіння під дією азоту і кисню (природний каучук) при 100 °С.

Якщо в колесі маємо повітря, що складається переважно з азоту (78%) та кисню (21%), для розрахунку загального витоку повітря через дифузію, необхідно спершу визначити витік кожного газу з урахуванням його парціального тиску та коефіцієнта дифузійної проникності, а потім зібрати ці дані разом. Швидкість проникнення кисню через гуму в 3-4 рази вища, ніж азоту, що суттєво впливає на загальний витік газів із шини. Такий факт, поєднаний із доступністю азоту, спричинив широке поширення технології

наповнення автомобільних шин азотом, оскільки це зменшує швидкість втрати тиску в шині майже удвічі.

У склад "шинного" газу входять азот, аргон, неон, гелій та інші корисні гази. Інструкція з використання цих газів в шинах є зрозумілою: азот застосовується для запобігання окисленню шин, неон і гелій сприяють плавному ходу та покращують амортизацію, а також зберігають постійний тиск. Важливе значення має також аргон, який використовують для запобігання виходу газової суміші через пошкодження шини та нещільні місця між шиною та диском.

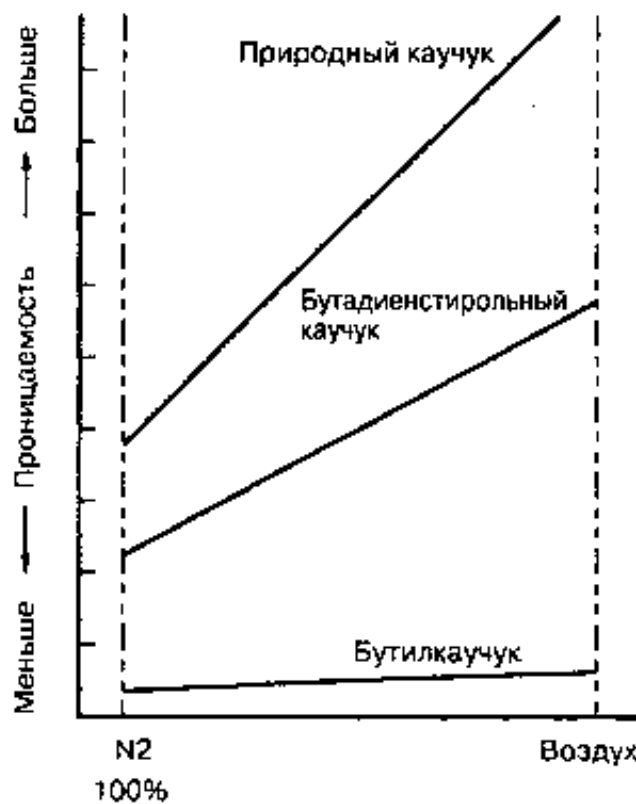


Рис. 3.5. Проникність декількох видів каучуку для N2 / повітря.

Щодо використання азоту, існують дві опції: використовувати балон з азотом високого тиску або придбати спеціальний пристрій для виробництва азоту. Для роботи генераторів азоту MAXIGAS можна використовувати як окремий повітряний компресор, так і вже наявну систему виробництва стислого повітря. Проте варто пам'ятати, що повітряні розподільні установки загалом, і системи MAXIGAS зокрема, потребують відповідного очищення та



осушення стислого повітря. На наведеній схемі зображена типова організація системи виробництва та підготовки стислого повітря та підключення до неї генератора азоту MAXIGAS.

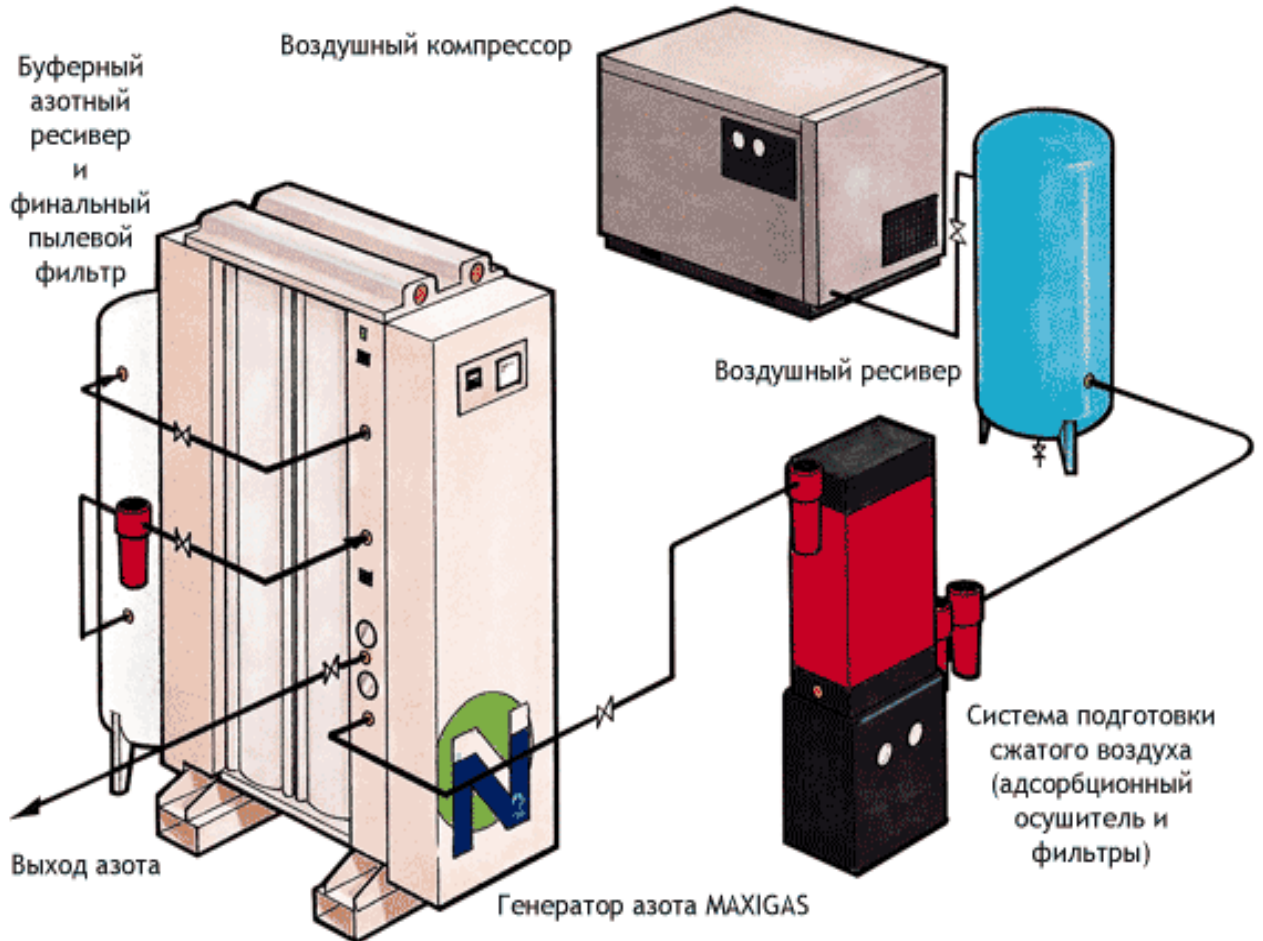


Рис. 3.6. Спрощена конструкція генератору інертного газу

Системи виробництва азоту MAXIGAS відносяться до класу адсорбційних систем, де адсорбція та регенерація адсорбенту відбуваються без нагріву і з короткими інтервалами перемикання. Багато в чому, принцип роботи MAXIGAS аналогічний принципу дії адсорбційних осушувачів з холодною регенерацією адсорбенту, який зображений на наведеній нижче схемі (рис.3.7):

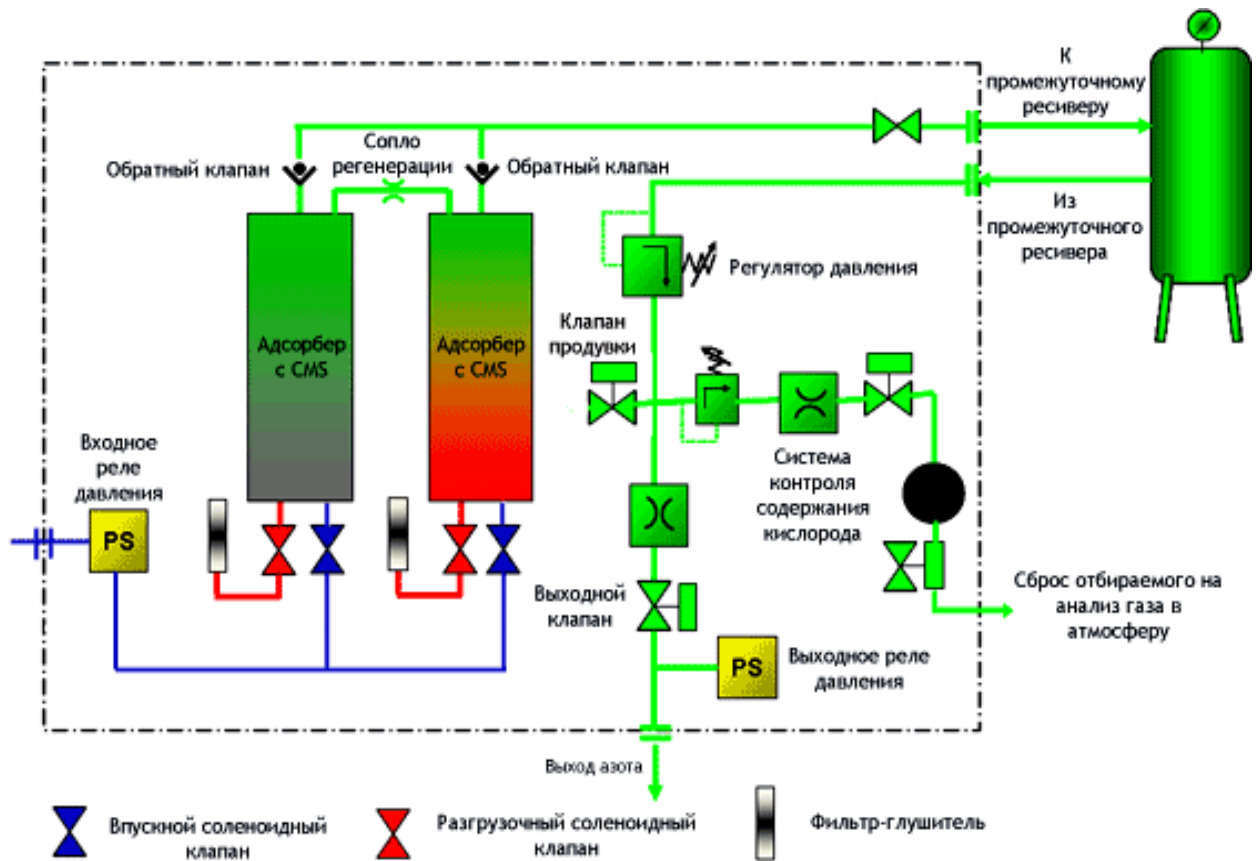


Рис. 3.7 Принципова схема функціонування генератора азоту MAXIGAS

Після очищення та осушення, стисле повітря потрапляє до генератора MAXIGAS. Вхідне реле тиску слідкує за рівнем тиску стислого повітря. Якщо тиск впаде нижче встановленого мінімуму, генератор переходить у режим очікування, щоб уникнути несправностей при адсорбції/регенерації та зберегти чистоту азоту. Система управління забезпечує сигнали для сповіщення, які можна передати на віддалений термінал оператора.

Далі, стисле повітря через один з впускних соленоїдних клапанів потрапляє до відповідного адсорбера. Адсорбери наповнені спеціальним адсорбентом - вуглецевими молекулярними ситами (CMS). Більшість молекул кисню та деякі інші гази утримуються в порах CMS, тоді як азот пройде через адсорбер.

Чистота азоту (залишковий вміст кисню) залежить від часу контакту повітря з CMS або швидкості його руху через адсорбер. Цей час контакту

зкладається в систему управління на основі попередньо обчислених даних. Тому одна модель генератора MAXIGAS може виробляти азот різної чистоти - від "брудного" із вмістом кисню 3% до високоочищеного з вмістом кисню в мільйонах часток. Рівень кисню контролюється аналізатором.

Виходячи з адсорбера, очищений азот пройде через зворотний клапан у проміжний ресивер для компенсації піків споживання. Потім, азот через регулятор тиску та вихідний клапан з реле тиску потрапить до використання. Маленька частина азоту береться для аналізу вмісту кисню перед вихідним клапаном.

Тим часом, в іншому адсорбері відбувається регенерація адсорбенту. Частина азоту подається в адсорбер для видалення кисню з CMS, а потім здійснюється відвід азоту з адсорбера через відкритий клапан. Цей процес супроводжується фільтрацією для зниження шуму відсмоктування. Робота MAXIGAS повністю автоматизована з використанням мікропроцесорної системи управління.

Найпростіший засіб для контролю та відновлення тиску показаний на рис. 3.8, таку схему можливо застосовувати як у приватних шино монтажних комплексах, так і у великих автогосподарствах при експлуатації спеціалізованої техніки.



Рис. 3.8. Принципова схема системи відновлення тиску у високонавантажених шинах.

Схема, що представлена, передбачає використання балонів із заповненням азотом, що мають показник тиску та запобіжний клапан, який

утримує тиск у шині на нормальному рівні та уникнути його перекачування. Головна перевага цієї системи полягає у можливості створення резервного запасу азоту, достатнього для кількох підкачок, що дозволяє ефективно використовувати час та зменшує витрати. Перезаправка автомобільних шин азотом може проводитися на місці, наприклад, в кар'єрі, коли тиск у шині знижується нижче норми.

Переваги використання азоту для накачування шин мають кілька аспектів. По-перше, це запобігання старінню шини та корозії диска завдяки відсутності вологи, масла та пилу, що можуть знизити довговічність колеса. По-друге, це знижує ризик вибуху шини через відсутність нагрівання та відсутність кисню, який сприяє розширенню, особливо важливо для великих автомобілів. По-третє, це підвищує стабільність тиску у шині, збільшуючи періодичність перевірки тиску до трьох разів.

Також важливо зазначити переваги заправлення шин азотом порівняно з повітрям:

1. Підвищує м'якість проходження нерівностей дорожнього покриття.
2. Поліпшує амортизацію коліс та зменшує навантаження на підвіску автомобіля.
3. Поліпшує керуваність автомобілем.
4. Забезпечує стійкість при різних маневрах на дорозі.
5. Покращує зчеплення та зменшує гальмовий шлях.
6. Зменшує шум і вібрацію від контакту шини з дорожнім покриттям.
7. Мінімізує коливання тиску у шинах при зміні умов руху.
8. Забезпечує працездатність шин при великих навантаженнях і високих температурах.
9. Зменшує зношування шин та забезпечує рівномірне зношування.

Ці переваги сприяють як поліпшенню експлуатації шин, так і забезпечують безпеку на дорозі.

#### 4. УЗАГАЛЬНЕННЯ НАПРЯМКІВ ЗБІЛЬШЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТЕРМІНІВ НАПРАЦЮВАНЬ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ШИН ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНОЇ АВТОТЕХНІКИ

##### 4.1. Правильний вибір шин

Основною умовою правильного вибору шин є точна оцінка їх функціонального призначення, яка враховує швидкість руху. Наприклад, колісні навантажувачі та автогрейдери зазвичай рухаються з помірною або низькою швидкістю, тому для них важливо мати міцні шини, стійкі до порізів та проколів із забезпеченням певних тягових навантажень.

Скрепери і самоскиди, які рухаються швидше, потребують шин, які можуть витримувати великі вагові навантаження та ефективно працювати в холодних умовах. Важливими факторами є ходові якості, тягові зусилля, прохідність та термін служби протекторів. Залежно від призначення, шини мають різне конструктивне виконання. Діагонально-кордові шини мають потужні бічні стінки для захисту від ударних і абразивних впливів, але вони нагріваються сильніше та менше підходять для високошвидкісних переміщень.

Радіальні шини, хоча мають тонкі бокові стінки та більшу схильність до порізів і проколів, зберігають низьку температуру при експлуатації і мають покращену еластичність, що позитивно впливає на зчеплення з ґрунтом та стійкість під час руху.

Вибір шини має бути здійснений з урахуванням типу транспортного засобу, характеристик ґрунту та дорожнього покриття, а також навантаження та швидкісних характеристик. Потрібно врахувати максимальне та номінальне навантаження на шину, щоб забезпечити безпеку і тривалу експлуатацію шин. Навантаження можна визначити за допомогою розрахунків або зважування транспортного засобу. Важливо пам'ятати, що перевищення навантаження може призвести до зменшення службового терміну шини.

#### 4.1. Забезпечення доброго стану під'їзних доріг

Кент Кліфтон, консультант з експлуатації компанії Caterpillar, зауважує, що порізи та проколи на під'їзних дорогах переважно виникають через прокидання вантажу. Він порівнює процес об'їзду великого каменю на легковому автомобілі з тим, що відбувається з кар'єрним самоскидом, де вчасно помітити перешкоду може бути важко.

Якість дорожнього покриття, адекватне планування та організація зон навантаження і розвантаження мають велике значення для тривалості служби шин і зменшення експлуатаційних витрат. Наприклад, зниженню зносу сприяють виправлення просипів породи на крутих поворотах і ухилах, а також усунення дорожніх вибоїв через поганий стік.

При русі по поворотах може виникнути великий бічний тиск, що спричиняє передчасний знос і руйнування гуми. Для послаблення цього тиску використовується технологія укладання дороги, яка вирівнює навантаження та зменшує стирання поверхні шини.

Нахил і розподіл маси вантажу по осях також важливі, оскільки вони впливають на стійкість і знос шин. Правильно спроектована зона відвантаження і вивантаження зменшує просипання вантажу і ушкодження шин, що виникає від обертання коліс у спокої.

Інша важлива рекомендація - уникати обертання керма та вивертання коліс у той момент, коли самоскид не рухається, щоб уникнути зносу шин.

Також важливе врахування ширини дороги. Рекомендується, щоб дороги були ширшими в три рази, ніж найширший вантажний автомобіль, щоб уникнути прямого контакту шин з узбіччям і уникнути з'їзду в стічну канаву.

Важливо також використовувати відповідні матеріали для будівництва і утримання дорожнього покриття в належному стані. Якщо поверхня дороги м'яка або волога, то опір коченню для великих шин може бути значним, що веде до контакту бічної стінки шини з брудом. Це може сприяти стиранню гумового покриття шин.

Умови, коли поверхня мокра, також створюють великий опір коченню, що є додатковою загрозою для шин. Волога поверхня спричиняє пробуксовування коліс, що може призвести до зношування гуми. Тому важливо забезпечувати чистоту дорожнього покриття.

Дизайн під'їзної дороги має значний вплив на термін служби шин. Однак найбільша загроза для них - це камені на дорозі, які можуть призвести до проколів і порізів шини, пошкодження протектора та втрати її структурної цілісності.

Одним із важливих аспектів для підтримання доброго стану дорожнього покриття під'їзних колій до кар'єру є забезпечення його чистоти та відсутності каменів та інших відходів. Це може позитивно позначитися на терміні служби шин.

4.3. Відповідне навчання водіїв як спосіб збільшення строків напрацювань високонавантажених шин

Ретельна програма навчання операторів великовантажної техніки може призвести до збільшення терміну служби шин. Така програма включає навчання техніці керування транспортним засобом, безпеки та технічного обслуговування. Розробка такої програми може бути підтримана дилерами обладнання. Основні принципи цього процесу навчання включають:

1. Водії навантажувачів повинні уникати наїзду на навали порід, що може призвести до зношування шин, і працювати лише на чистій та рівній поверхні.

2. Водіям самоскидів не слід розвантажувати шляхом ударів задніх коліс об бруствер, щоб уникнути пошкоджень кузова від матеріалу, який залишився у кузові.

3. Машиністам слід очікувати завантаження від бульдозера, стоячи на одному місці, оскільки це ефективніше, ніж самонавантаження з пробуксовуванням коліс.

Хоча невелика пробуксовка є нормальним явищем при руху, надмірна пробуксовка у важких умовах може значно скоротити термін служби шин. Однак використання радіальної смуги на колесах для візуального контролю пробуксовування допомагає виявляти це явище та вчасно йому запобігати.

Водіям також потрібно нагадати про такі правила:

- Використовувати техніку в межах виробничих параметрів, що відповідають формулі  $TxM/2$ .
- При поворотах на двомоторних скреперах знижувати оберти заднього двигуна.
- Уникати руху в уламках породи або рідкого матеріалу, що може спричинити пробуксовування шин.
- Уникати калюж масла, мастила та палива, які можуть пошкодити шини.
- Уникати різких гальмувань та поворотів на великій швидкості.
- Використовувати систему гальмування-уповільнення при русі під ухил.
- Використовувати гідравліку для впровадження ковша навантажувача у вибій, а не напір самої машини.

4.4. Якісне обслуговування та ремонт високонавантажених шин, як дієвий спосіб збільшення загального ресурсу.

Найефективнішим методом, який забезпечує економію виробничих витрат, пов'язаних з експлуатацією шин, є уважний персонал, який здійснює технічне обслуговування. Частина цієї програми повинна бути спрямована виключно на шини і містити регулярні перевірки тиску повітря, щоб уникнути використання шин зі зниженим тиском, а також перевірку на надмірну прогибаємість і ознаки перегріву. Рекомендований тиск повітря може бути позначений фарбою поруч із повітряним клапаном шини.

Повноцінна програма технічного обслуговування також повинна включати регулярні перевірки стінок і країв шин. Підгорілі стінки - це



наслідок різкого гальмування або залипання гальм. У обох випадках внутрішній розігрів може досягти високої температури і спричинити розрив шин навіть після того, як транспортний засіб зупинився. Уламки породи, що вбиті у дорожнє покриття і потрапили у верхні шари шини, можуть завдати шкоди каркасу. У разі пошкодження шини необхідно видалити осколки породи, а потім заміксувати порізи, щоб запобігти подальшим пошкодженням.

Також важливо враховувати сумісність шин. Наприклад, монтаж шин різного діаметра на здвоєних колесах може призвести до перевантаження шини більшого діаметра і передчасного виходу її з ладу. Тому нова шина не повинна монтуватися поруч із старою і зношеною. Під час підбору шин для здвоєних коліс слід ретельно виміряти їхні діаметри і контролювати їх під час експлуатації, щоб вони відповідали рекомендаціям виробників шин або обладнання.

Недоліки у транспортному засобі також можуть призвести до передчасного виходу шин з ладу. Зсув ведучої вісі, відсутність балансування коліс або їх деформація, нерегульовані гальма - усе це може спричинити нерівномірне зношування шин.

Точне ведення журналу експлуатації шин допомагає зберігати корисну інформацію про їхні терміни служби і виробничі витрати. Ця інформація також допомагає розраховувати витрати на шини при плануванні майбутніх робіт. Мета полягає в тому, щоб забезпечити мінімальну вартість перевезення матеріалу, а це передбачає мінімізацію витрат на шини на кожну тонну. Це не тільки знижує витрати на годину експлуатації шин, але і сприяє загальній ефективності експлуатації.

Впровадження добре розробленої програми технічного обслуговування може зайняти час і зусилля, а також призвести до певного збільшення виробничих витрат. Проте, ці додаткові витрати компенсуються збільшенням термінів служби шин і зменшенням аварійних замін. Експлуатаційні переваги

такої програми включають зменшення простоїв, поліпшення обслуговування та умов експлуатації, що узагальнюється у зростанні продуктивності

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1. Умови безпеки для працівників на гірничих кар'єрах

Кожен гірничий підприємство, яке видобуває корисні копалини відкритим методом, повинне:

1. мати схвалений проект розробки, що включає питання техніки безпеки, охорони праці, охорони довкілля та рекультивації земель. Цей проект проходить експертизу з промислової безпеки.

2. мати геолого-маркшейдерську службу з фахівцями відповідної освіти.

3. розробляти щорічний план гірничих робіт, який проходить експертизу з промислової безпеки.

4. розробляти спеціальні проекти розвитку породних відвалів та збагачувальних фабрик.

5. мати гірничий і земельний відвід.

Робітники та фахівці повинні проходити медичні огляди перед початком роботи та періодично. Також їх повинні навчати професії.

Професіонали, що займаються видобутком корисних копалин відкритим методом, повинні пройти навчання з безпечних методів роботи та отримати інструктаж відповідно до правил.

Особи, які керують гірничими та транспортними машинами, мають спеціальне навчання та отримали посвідчення на право управління.

Перевірка знань безпечних методів роботи проводиться щорічно, а машиністам потрібно мати відповідну кваліфікацію з електробезпеки.

Робітники та фахівці мають користуватися спеціальним захистом відповідно до їхньої професії та умов роботи.

Перед початком роботи або руху машини або механізму, машиніст повинен переконатися в безпеці членів бригади та осіб, які знаходяться

поблизу. Таблиця сигналів повинна бути розміщена на робочому механізмі або поблизу нього.

Робітники та фахівці повинні користуватися спеціальним одягом, взуттям, касками, окулярами та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до затверджених норм для своєї професії та умов роботи.

Якщо працівник помічає небезпеку для людей або підприємства (наприклад, несправність залізничних колій, машин або механізмів, проблеми з електромережами, ознаки можливих зсувів або обвалів уступів, пожежі тощо), він повинен сповістити про це відповідальну особу та, якщо можливо, прийняти заходи для усунення цієї небезпеки.

У часи, коли машини не працюють або проводяться ремонтні роботи, вони повинні бути відведені від уступів у безпечне місце, а робочий орган повинен бути опущений на землю, кабіна замкнена, а напруга на живильному кабелі повинна бути відключена.

Рівень запиленості повітря та вміст шкідливих газів на робочих місцях не повинен перевищувати нормативів, встановлених санітарно-гігієнічними нормами. Проби повітря повинні бути відбирані та перевіряні згідно з графіком, затвердженим наймачем.

Якщо рівень шкідливих газів або запиленості повітря перевищує норми, необхідно вжити заходів для забезпечення безпечних та здорових умов праці.

У разі виникнення пожежі всі роботи на ділянках, де атмосфера забруднена продуктами горіння, повинні бути зупинені, за винятком ліквідації самої пожежі.

Пересування працівників на території повинно відбуватися по встановлених пішохідних доріжках, а для переходу через залізничні колії та автодороги - лише у визначених місцях, позначених покажчиками. Пішохідні доріжки та переходи повинні бути освітлені у темний час доби.

Доставка працівників до місць роботи повинна бути організована на спеціальному транспорті, якщо відстань до місця роботи перевищує 2 км або глибина робіт більше 100 м.

Перевезення працівників у саморозвантажних вагонах, кузовах автосамоскидів та інших вантажних вагонетках заборонене, за винятком випадків, коли є спеціальне дозвіл наймача та наявні відповідні умови для безпеки.

5.2. Основи проведення безпечних робіт при обслуговуванні, ремонті та монтажі високонавантажених коліс і шин

Для самоскидів з шістьма бездисковими колесами, де передні колеса є одинарними, а задні - здвоєними, кріплення коліс до маточини здійснюється за допомогою притисків і шпильок з гайками. Кожне колесо складається з обіду, двох бортових, посадкового й замкового кілець. Установлене між обідами здвоєних задніх коліс розпірне кільце. Обід має конічну внутрішню поверхню для центрування й закріплення колеса на маточині, а замкове кільце є розрізним. Ущільнення обіду зі знімним посадковим кільцем виконується гумовим ущільнювальним кільцем.

Щодо технічного обслуговування і догляду, це включає перевірку й підтяжку кріпильних з'єднань, перевірку й налагодження внутрішнього тиску в шинах, а також перевірку технічного стану шин і ободів візуальним оглядом.

Перед кожним виїздом необхідно перевіряти зовнішнім оглядом стан кріплення коліс і, за необхідності, підтягувати гайки. При заміні коліс гайки підтягують після першого рейсу моментом 800 – 900 Нм, а потім через два-три рейси для стабілізації моменту затягування на всіх гайках.

Норми внутрішнього тиску в шині повинні дотримуватися відповідно до типу шин. Перевірка тиску повітря в нагрітій шині повинна здійснюватися щодня по закінченні зміни манометрами, що пройшли метрологічну

перевірку. Якщо тиск у нагрітій шині перевищує припустиме значення, слід встановити причину підвищення тиску і усунути її.

Якщо причини підвищення тиску не виявлені, шину необхідно остудити до температури навколишнього середовища або гаражного приміщення і перевірити тиск у ній на відповідність нормі.

Коректування тиску повітря в нагрітій шині є категорично забороненим. Експлуатація самоскидів, при яких тиск повітря в нагрітих шинах перевищує допустимий рівень, також не допускається. Також необхідно вчасно видаляти камені та інші сторонні предмети з порізів протектора.

При встановленні тиску в холодній шині до номінального рівня, необхідно враховувати виправлення згідно з таблицею 5.1 в залежності від різниці температур навколишнього середовища й приміщення. Якщо температура навколишнього середовища вища за температуру приміщення, виправлення віднімається від номінального тиску, а якщо нижче - додається.

Також забороняється експлуатація самоскидів з наступними проблемами шин:

- зношуванням протектора до нульового рівня за індикатором зношування;
- відшаруванням протектора та здуттям покривних гум;
- ламанням або розшаруванням каркасу;
- тріщинами в протекторі, які досягають корду;
- порізами та пробоями з пошкодженням корду каркасу;
- несправними вентилями й золотниками, або вентилями без ковпачків або із заглушками;
- тиском повітря, який не відповідає встановленим нормам.

При експлуатації самоскидів також слід стежити, щоб дороги та місця стоянки були в належному стані, щоб уникнути ушкоджень шин. На місцях стоянки не повинно бути речовин, які можуть пошкодити гуму. Також не допускається стоянка самоскида з повним навантаженням більше ніж дві

доби. При консервації самоскида, його слід поставити на підставки, що забезпечують повне розвантаження шин.

Зняття коліс з маточини також вимагає певних заходів безпеки, таких як випуск повітря з шини перед відвертанням гайок і перевірка відсутності тиску в шині після зняття.

Необхідно перевірити відсутність тиску в шині перед початком розкріплення колеса, так як це суворо заборонено. Ці вимоги повинні дотримуватися у всіх роботах, пов'язаних із розкріпленням або зняттям коліс.

Під час експлуатації самоскида можуть виникати тріщини в замковій частині обода колеса. Якщо в шині залишається повітря, то під час розкріплення колеса може статися раптовий розрив обода, що може призвести до неприємних наслідків.

Для розкріплення переднього колеса потрібно відвернути гайки 4 (див. рис. 5.1) на шпильках 3 і зняти притиски 2, що кріплять колесо. Для розкріплення здвоєних (задніх) коліс, спочатку відверніть гайки 5 (див. рис. 5.2) на шпильках 6 на половину висоти й звільніть притиски 1. Потім повністю відверніть гайки і зніміть притиски. Проте відвертати гайки повністю слід обережно, оскільки може відбутися викид притисків.

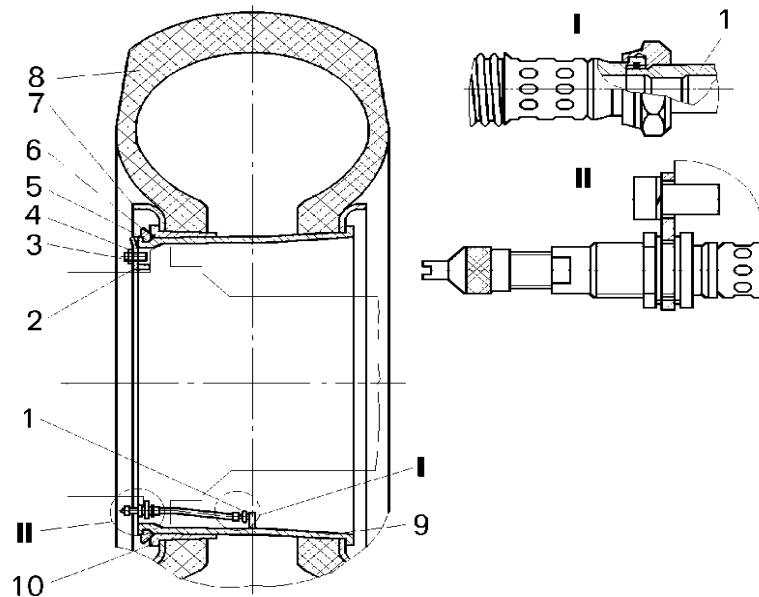


Рис. 5.1 - Установка переднього колеса: 1 – вентиль; 2 – притиск кріплення колеса; 3 – шпилька; 4 – гайка кріплення колеса; 5 – замкове кільце

обіду колеса; 6 – ущільнювальне кільце; 7 – бортове кільце; 8 – шина; 9 – обод; 10 – посадкове кільце.

При розкріпленні задніх коліс, для підтримки ключа слід використовувати спеціальне пристосування (див. рис 5.3), а колесо підтримувати чалочним пристосуванням. Перед зняттям внутрішнього колеса з маточини заднього мосту, слід зняти розпірне кільце 10 (див. рис. 5.2).

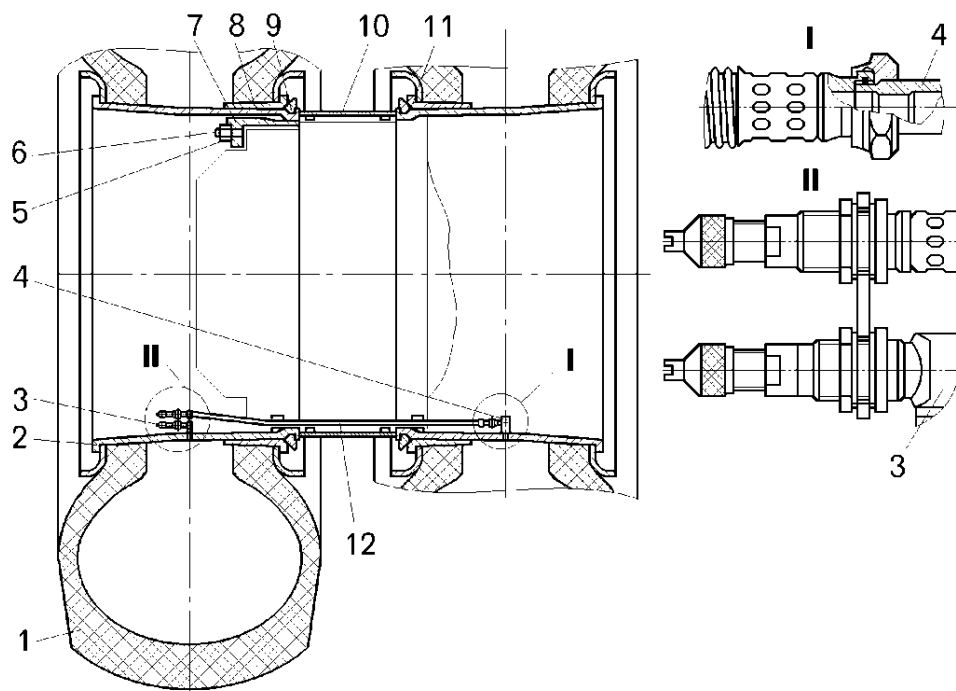


Рис. 5. 2 – Установка задніх коліс: 1 - шина; 2 - обід; 3, 4 - вентиля; 5 - гайка кріплення колеса; 6 - шпилька; 7 - притиск кріплення колеса; 8 - посадкове кільце; 9 - замкове кільце обіду колеса; 10 - розпірне кільце; 11 - ущільнювальне кільце; 12 - подовжувач

Під час зняття коліс треба уникати пошкодження шпильок коліс, вентилів і подовжувачів вентилів. Для механізації робіт із заміни коліс та інших операцій, пов'язаних із великогабаритними колесами з шинами, рекомендується використовувати колісний маніпулятор (див. рис. 5.4).

Монтаж і демонтаж коліс та шин - це процеси, які вимагають особливої уваги і обережності. Заборонено починати розкріплення колеса, не перевіривши відсутність тиску в шині, бо це може бути небезпечно! Якщо в



шині залишається повітря, то під час розкріплення може статися раптовий розрив обода, що може призвести до нещасних випадків.

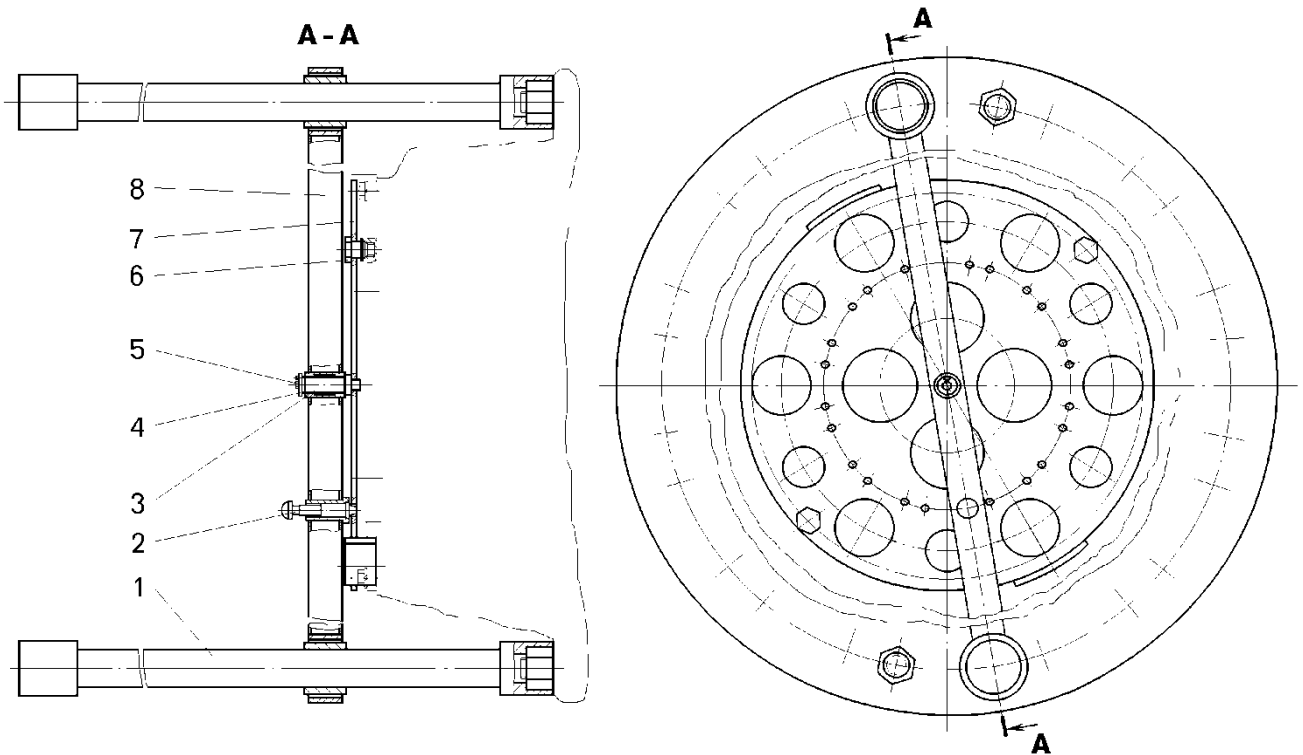


Рис. 5.3. Загальний вигляд пристосування з каталожним номером 360–012, для підтримки ключа при монтажі гайок кріплення задніх коліс: 1 - ключ; 2 - фіксатор; 3 - штифт; 4 - шайба; 5, 6 - болти; 7 - диск; 8 - балка

Під час монтажу і демонтажу коліс важливо уникати пошкодження перехідників вентилів і подовжувачів. Рекомендується використовувати шино-монтажний стенд для забезпечення рівномірного додавання навантаження на деталі колеса. Варто уникати вибивання ободів із шин за допомогою ударів кувалдою, щоб уникнути деформації деталей колеса, забоїн і тріщин.

Перед монтажем слід перевірити комплектність шини та деталей колеса і здійснювати збірку колеса із шиною тільки з встановленими розмірами. Необхідно враховувати стан деталей коліс: незабарвлені деталі можуть ускладнити як монтаж, так і подальший демонтаж, тому що до незабарвлених поверхонь шини прилипає сильніше.

Перед монтажем обов'язково перевірити стан шини зовнішнім оглядом: внутрішня порожнина повинна бути чистою й сухою, борта шини не повинні мати залишків облою. Також ретельно перевіряйте стан елементів обіду, особливо тріщини та інші дефекти. До експлуатації не допускати деталі з дефектами, які можуть призвести до нещасних випадків під час руху.

Таблиця 5.1

Виправлення до номінального тиску повітря в шині залежно від різниці температур навколишнього середовища й гаражного приміщення

Різниця температур, °С	10	20	30	40	50	60
Виправлення до номінального тиску в шині, МПа	0,02	0,03	0,05	0,07	0,08	0,1

Збруднені ділянки колеса необхідно очищувати від бруду й іржі та підфарбовувати. Монтаж шини на обід і демонтаж її з обіду рекомендується робити на спеціальному стенді, керуючись інструкцією на стенді та дотримуючись всіх правил безпеки.

Заборонено:

- Використовувати ущільнювальні кільця з дефектами.
- Використовувати отвір під вентиль для стропування обода.
- Проводити технологічні операції, такі як нагрівання обода і його деталей (зварювання, різання і т. д.), коли колесо знаходиться в зборі із шиною.

Накачування шини повітрям слід виконувати на шино-монтажному стенді із зафіксованим натискним пристроєм на штоку силового циліндра для забезпечення безпечності проведення робіт. Процес накачування слід виконувати у наступній послідовності:

- попередньо накачати шину повітрям до тиску 0,07 - 0,08 МПа й перевірити правильність зборки шини з ободом.
- накачати шину повітрям до тиску, що перевищує робочий в 1,2 - 1,25 рази, для забезпечення щільного прилягання борта шини до полиці ободу й зачекати 10 - 15 хвилин.

- знизити тиск у шині до рекомендованого робочого значення і перевірити герметичність, заливши у канавку борта мильний розчин. Герметичність з'єднань вентиль - обід і золотникова камера - золотник слід перевіряти мильним розчином.

- знизити тиск повітря в шині до 0,08 - 0,1 МПа, розкріпити й зняти колесо зі стенда.

Герметичність другого борта перевіряється так само, але колесо укладається замковим кільцем униз.

Остаточну оцінку герметичності колеса в зборі із шиною слід проводити манометром по зниженню тиску за 24 години. Зниження тиску не допускається.

Увага: доводити тиск повітря в шині до робочого значення тільки після закріплення колеса на маточині. Поруч із робітником, що проводить накачування шини, не повинні перебувати люди.

Для запобігання забрудненню і ушкодженню золотників на перехідниках вентилів і подовжувачів необхідно використовувати ковпачки.

При транспортуванні шини не допускається ушкодження бортів. Зачалування шини слід виконувати м'яким стрічковим стропом шириною не менш як 140 мм. Не зачалувати шини гаком за борт, канатними або ланцюговими стропами, а також за шнур обв'язки захисного пристрою борта.

Транспортування і зберігання шин слід виконувати у вертикальному положенні. Змонтовані шини слід зберігати при тиску повітря 0,08 - 0,1 МПа.

Для установки коліс слід використовувати чалочне пристосування або колісний маніпулятор. Рекомендується фіксувати колесо підкладковими клинами під шиною для забезпечення концентричного положення колеса щодо маточини.

Колесо на передню маточину слід встановлювати за такою послідовністю:

- поверніть маточину так, щоб паз був спрямований вниз, і помістіть колесо на маточину, з'єднавши обмежник обода з пазом маточини.

- установіть верхній і нижній притиски, а потім лівий і правий, і затягніть гайки.

- встановіть інші притиски, затягніть гайки діаметрально протилежно, щоб забезпечити биття колеса по боковині покоришки не більше 10 мм.

- затягніть гайки моментом 800 – 900 Нм. Після затягування гайок накачайте шину до необхідного тиску.

- закріпіть подовжувач за допомогою пластини 10, гайок 11 і болта 12.

Задні колеса слід встановлювати так:

- надягніть на маточину, з пазом униз, внутрішнє колесо з подовжувачем вентиля, розпірним кільцем і зовнішнє колесо. Установіть притиски і затягніть гайки рівномірно у діаметрально протилежних місцях.

- перевірте герметичність з'єднання вентиля з подовжувачем мильною емульсією перед установкою внутрішнього колеса.

- затягніть гайки поступово в три-чотири прийоми за хрестоподібною схемою. Остаточний момент затягування повинен бути 800 – 900 Нм.

- накачайте шини до необхідного тиску і перевірте биття колеса по боковині покоришки, яке не повинно перевищувати 10 мм.

- повторно затягніть гайки після першого рейсу, а потім через три-п'ять рейсів для стабілізації моменту затягування всіх гайок.

Для швидкого накачування шини і випуску повітря через вентиль БС і подовжувач УГ17 застосовується спеціальний пристрій.

### 5.3. Теоретичний аналіз заходів безпеки в надзвичайних ситуаціях.

1. Кожен працівник повинен бути ознайомлений з планом ліквідації та запобігання аваріям, маршрутами евакуації. Якщо працівник помічає небезпеку, яка може загрожувати людям або підприємству, йому слід:

- а) негайно прийняти заходи для ліквідації або локалізації небезпеки, якщо це безпечно для його життя та інших працівників. Якщо працівник може самостійно ліквідувати небезпеку без ризику, він повинен це зробити та повідомити гірничому нагляду;

- б) слідувати всім розпорядженням особи нагляду на місці аварії;
- в) у разі травмування надати першу медичну допомогу та повідомити гірничому нагляду про інцидент.

2. При виявленні загоряння працівник повинен вжити заходів для його ліквідації та повідомити диспетчера через радіозв'язок. Спочатку слід відключити пошкоджене вогнем обладнання та розпочати гасіння вуглекислотними вогнегасниками та піском до прибуття пожежної бригади. Дозволяється гасіння електроустановок, які залишаються під напругою.

3. У разі непритомності, теплового або сонячного удару, отруєння потерпілому потрібно накласти на спину з опущеною головою, відкрити одяг на грудях, забезпечити доступ до свіжого повітря, дати воду, наблизити нашатирний спирт, накласти холодні компреси на голову. У випадку зупинки дихання слід провести штучне дихання та викликати медичну допомогу.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РАБОТІ

Представлена випускна бакалаврська робота а є результатом проведених аналітичних досліджень та теоретичних узагальнень і має за мету вивчення проблеми підвищення продуктивності кар'єрних самоскидів через збільшення ресурсу великогабаритних шин шляхом використання інертних газів як наповнювачів.

У процесі виконання роботи були визначені основні причини скорочення ресурсу великогабаритних шин, такі як недотримання оптимального тиску повітря в шинах та їх перегрів в процесі роботи, який є одним із ключових факторів впливу на ресурс шин. Було запропоновано вирішити цю проблему шляхом заправлення великогабаритних шин інертними газами, зокрема азотом, що сприятиме подовженню їх терміну служби.

1. Внаслідок аналітичних досліджень було встановлено, що при збереженні вмісту кисню у шині на рівні не більше 2,5% для самоскидів, співвідношення часткового тиску газів всередині та зовні шини буде збалансоване, що запобігатиме витоку. Цей ефект досягається за допомогою заправлення шин азотом, який також забезпечує стабільний тиск у всій шині при зміні температури.

2. Описано та розтлумачено загальну методику для визначення падіння тиску в шині через дифузію газу з урахуванням умов експлуатації, що дозволяє теоретично обґрунтувати необхідність контролю тиску в конкретних умовах виробництва.

3. Наведені організаційні та технічні заходи для стабілізації тиску в шинах. Використання азоту дозволяє підвищити комфортність їзди, знизити навантаження на автомобільну підвіску, поліпшити керованість та зчеплення з дорожнім покриттям, зменшити шум і вібрацію, а також підвищити працездатність шин при високих температурах та навантаженнях.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Pacejka H.B. The magic formula tyre modell. / H.B. Pacejka, E. Bakker // Prog. IstCollog. Models for Vehicle Dynamics Analysis. Delft, 1991. - Amsterdam : Swits and Zeitlinger. - 1993. - P. 1-18.
2. Акатов Е. И., Белов П. М., Дьяченко Н. Х. Работа автомобильного двигателя на неустановившемся режиме. - К. : Машинобудування, 1998. - 216 с.]
3. Бібліотека Криворізького національного університету (м. Кривий Ріг, вул. Пушкіна, 37). – Режим доступу: <http://lib.knu.edu.ua/>,
4. Бойченко С.В., Иванов С.В., Бурлака В.Г. Моторные топлива и масла для современной техники. /Монография/. – К.; НАУ, 2005. – 216 с.
5. Грамолін А.В., Кузнецов А.С. Пальне, масла, змазки, рідини, матеріали для експлуатації та ремонту автомобілів. - К.: Машинобудування, 1995. - 63 с.
6. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория, [учеб. для вузов] / А.И. Гришкевич. - Мінськ. : Наука., 1986.-208 с.
7. Гурвич И.Б. Долговечность автомобильных двигателей. К., «Машинобудування». 1987. 112 с.
8. Гутаревич Ю. Ф. Екологія автомобільного транспорту: навч.посібник / Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д. В., Говорун А. Г- К.: Основа, 2002. -312 с.
9. Державна науково-технічна бібліотека України - <https://dntb.gov.ua>
- 10.ДСТУ 12.1.003-03\*. ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки. - Київ.: Видавництво стандартів, 2008.
- 11.ДСТУ 12.1.004-01. ССБТ. Пожежна безпека. Загальні вимоги. - Київ.: Видавництво стандартів, 2002.
- 12.ДСТУ 12.4.113-02. ССБТ. Роботи навчальні лабораторні. Загальні вимоги безпеки. - Київ.: Видавництво стандартів, 2002.

12. ДСТУ 12.4.113-02. ССБТ. Роботи навчальні лабораторні. Загальні вимоги безпеки. - Київ.: Видавництво стандартів, 2002.
13. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1999.
14. ДСТУ 2860–94 Надійність техніки. Терміни та визначення.
15. Електронна бібліотека ELIBUKR - <http://www.elibukr.org>
16. Засоби транспортні дорожні. Експлуатаційні вимоги безпеки до технічного стану та методи контролю : ДСТУ 3649-97 / К.: Держстандарт України, - 1998.- 20 с.- (Національні стандарти України).
17. Канарчук В. Е., Арсенюк Ю. В. Визначення технічного стану двигуна без розбирання.— Механізація мл. госп-ва, 1998, № 11, с. 18—19.
18. Канарчук Е. А., Канарчук В. Е. Влияние режимов работы на износ автомобильного двигателя. К-, Киев. торг.-экон. ин-т, 1990. 228 с.
19. Кисликов В. Лищик В. Будова й експлуатація автомобілів. «Либідь», 2000 -150 с.
20. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник – К.: Либідь, 2000. – 400 с.
21. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Організація і управління». Київ,-Знання-Прес, 2004. - 508 с.
22. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: Підручник. – К.: Вища шк., 2007. – 527 с.
23. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник. – К.: Знання-Прес, 2003. - 511 с.
24. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління. – К.: Знання-Прес, 2004. – 478 с.
25. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник. - К.: Знання-Прес, 2003. - 511 с.