

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С. З. ГІЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ**

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **«Вплив тиску в шинах на прохідність автомобіля»**

Виконав: студент групи АТ-63

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”

(шифр і назва)

Назар ЛИСИК

(ім'я та прізвище)

Керівник: проф. Любомир КРАЙНИК

(ім'я та прізвище)

Дубляни 2025

УДК 656.075

Лисик Назар Володимирович. «Вплив тиску в шинах на прохідність автомобіля»,
Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій
імені С. З. Гжицького 2025. 50 с.

Табл. 7; рис. 26; бібліогр. джерел 49.

Робота присвячена оцінці впливу тиску у шинах повнопривідного автомобіля на прохідність та мобільність руху бездоріжжям. Розглянуто результати експериментальних досліджень на різних типах бездоріжжя автомобілів УАЗ 3151, ВАЗ 2121, Урал 4320 та КамАЗ – 4310 та проведено аналіз показників руху. Проведено огляд та порівняльний аналіз двох методик теоретичних досліджень впливу тиску повітря у шинах на прохідність та мобільність руху бездоріжжям : методик опрацьованих колишньому СРСР («Східна школа») та методики країн НАТО («Західна школа»). Визначено оптимальні діапазони зниження тиску повітря у шинах щодо різних типів і станів бездоріжжя.

Автомобіль, повний привід, бездоріжжя, прохідність, мобільність, тиск у шинах.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОТРАНСПОРТУ ДЛЯ БЕЗДОРІЖЖЯ	7
1.1. Типаж автомобілів для бездоріжжя	7
1.2. Характеристики досліджуваних автомобілів ...	8
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РУХУ АВТОМОБІЛІВ ТА ВЗАЄМОДІЇ ШИН З БЕЗДОРІЖЖЯМ.....	14
...	
РОЗДІЛ 3 ОЦІНКА ВПЛИВУ ТИСКУ ПОВІТРЯ У ШИНАХ НА ПОКАЗНИКИ РУХУ АВТОМОБІЛІВ БЕЗДОРІЖЖЯМ	23
ВИСНОВКИ	39
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	40
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ВСТУП

Регулювання тиску повітря у шинах автомобілів є одним з ефективних способів підвищення прохідності на бездоріжжі і широко застосовується у конструкціях автотехніки для військової, аграрної та лісогосподарської сфер починаючи з середини минулого століття.

Разом з тим, враховуючи специфіку власне військової сфери застосування, дослідження і оцінка ефективності регулювання тиску у шинах повнопривідних автомобілів в аспекті підвищення прохідності висвітлені у публікаціях відкритого доступу. Другою проблемою є те, що методологія оцінки прохідності і фізико-механічних характеристик бездоріжжя в США (НАТО) і колишнього СРСР суттєво відрізняються, а враховуючи ситуацію прагнення України до вступу в НАТО очевидна актуальність вітчизняних досліджень власне в аспекті використання методології НАТО – так зв. WES – методики (WES – Watervey Experimentall Station). Насамперед щодо існуючих в Україні зразків повнопривідної автотехніки.

Результати дослідження знайдуть практичне застосування при формуванні типу та модельного ряду автотехніки як військового призначення, так і машин агропромислового та лісогосподарського комплексів, ремонтних служб енергетики України, сприятимуть впровадженню інноваційних підходів у виробництво та створенню нових конкурентоспроможних зразків техніки на ринку.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОТРАНСПОРТУ ДЛЯ БЕЗДОРІЖЖЯ

1.1. Типаж автомобілів для бездоріжжя

З часів 2-ї світової війни розпочався масовий випуск повнопривідних автомобілів підвищеної прохідності і зараз можна констатувати поточний перехід автомобілебудування провідних країн світу на нове, уже 4-е післявоєнне покоління автомобілів цієї категорії [1]. В Україні досі ще у цій сфері домінують автомобілі ще 2-го післявоєнного покоління радянського виробництва (ГАЗ-66, ЗиЛ-131, УАЗ -469, Урал-4320, КамАЗ-4310 автозаводів на території теперішньої РФ, що домінують у структурі парку, та досить невелика частка великотоннажних вітчизняного КрАЗ). Оцінка впливу тиску в шинах на прохідність цих автомобілів частково, щодо певних моделей, досліджувалась [2-5], але методами імітаційного моделювання – комп'ютеризованого розрахунку практично відсутні.

В аграрному секторі України вже розповсюджена практика зниження тиску у шинах колісних тракторів на польових роботах, але це обумовлено агроекологією – зниженням навантажень і ущільнення ґрунту, проблеми прохідності тут немає. В кінці 1980-х р.р. однак спеціально для аграрного сектора в СРСР було запущено промислове виробництво повнопривідних автомобілів КАЗ 4540 з можливістю регулювання тиску повітря в шинах – як з умов агроекології, так і підвищення прохідності на зволжених ґрунтах. Зрештою аналогічна практика щодо аграрної авто техніки вже віддавна існує у країнах ЄС.

З іншого боку машинобудівний потенціал України дозволяє (при відповідній підтримці і розумінню з боку центральної влади) створити власне виробництво мало- і середньотонажної повнопривідної авто техніки для аграрного виробництва (що актуально і для військових та енергетиків).

В рамках даної роботи вимушені обмежитись існуючим типажом повнопривідних вантажівок і повнопривідних автомобілів підвищеної прохідності категорії М1 а також великотоннажної, категорії N3, КрАЗ 5322, що може бути актуальною і для великих агрохолдингів та лісового господарства.

1.2. . Характеристики досліджуваних автомобілів

1.2.1. ВАЗ 2121 «Нива» [6]



Рис.1.1. ВАЗ 2121 «Нива»

Технічні характеристики ВАЗ 2121 «Нива»

Габарити: довжина, мм	3740
Ширина, мм	1680
Висота, мм	1640
Колісна база, мм	2200
Маса, споряджена, кг	1150
повна, кг	
Шини	175/80 R16

1.2.2. УАЗ 3151 (УАЗ 469) [7]



Рис. 1.2. УАЗ 3151 (УАЗ 469)

Технічні характеристики УАЗ 3151

Довжина	4025 мм
Ширина	1785 мм
Висота	1990 мм
Колісна база	2380
Споряджена маса автомобіля	1680 кг
Допустима повна маса	2130 кг
Розмір шин	235/75R15
Об'єм двигуна	2450 см ³
Потужність	81к.с./4000об/хв

1.2.3. КАЗ 4540 [8]



Рис. 1.3. Сільськогосподарський автомобіль КАЗ 4540

Основні технічні характеристики автомобіля КАЗ 4540

Довжина, м	6,575
Ширина, м	2,500
Висота, м	2,830

Колісна база, м	2,020
Споряджена маса, т	3,610
Повна маса, т	9,110
Силовий агрегат, дизель	ЯМЗ-642
Тип	V6
Робочий об'єм двигуна, л	8,14
Потужність, к.с./об/хв	153-160/2600
Характеристика двигуна	
Колісна формула	4x4
Лінійна норма витрати палива	25-30 л/100км
Витрата палива на ґрунтових дорогах	37-40 л/100 км
Максимальна швидкість, км/год	80
Маса буксируваного причепа, т	9
Шини, типорозмір	14,00-20
Трансмісія механічна, кількість передач	4x2
Передавальне число головної передачі	6,4
Передавальні числа роздавальної коробки	1,00 / 1,43
Коеф. аеродинаміки, Нс/м кв.	3,50 (орієнт)

1.2.4. КрАЗ 5233 [9]



Рис.1.4. Двовісний КрАЗ 5233

Основні технічні параметри КрАЗ 5233

Маса спорядженого автомобіля, кг 11100

Вантажопідйомність, кг 7000

Двигун: дизельний, з турбонаддувом та промохолодженням

ЯМЗ-238ДЕ2-29, об'ємом 14,86 л і потужністю 330 к.с. (243 кВт) при 2100 об/хв, а також Cummins Ecotorq 9.0 л потужністю 362 к.с., Deutz TCD 2013 L06 4V і

Максимальна швидкість, км/год - 120

Шини 525/70R21 550/75R21

Максимальний підйом, що долається, град 35

Максимальний боковий уклін, що долається, град 20

Трансмісія механічна, кількість передач 4х2

Передавальне число головної передачі 8,173

Передавальні числа роздавальної коробки 0,95 / 1,31

Передавальні числа коробки передач ЯМЗ 2831-36:

1-а	7,3	5-а	2,09
2-а	4,86	6-а	1,39
3-а	3,50	7-а	1,0
4-а	2,48	8-а	0,71

Коеф. аеродинаміки, Нс/м кв. 3,50 (орієнт)

1.2.5. КрАЗ 6322 [10]



Рис.1.5. Тривісна модель КрАЗ 6322

Основні технічні параметри КрАЗ 6322

Довжина, мм - 8980-9100 (10100 – КрАЗ-63221)

Ширина, мм - 2500 / 2750

Висота, мм - 3030 / 3170

Кліренс, мм - 280 / 370

Споряджена маса, кг - 11300 - 12700

Повна маса, кг -

Двигуни – аналогічно з КрАЗ 5233

ЯМЗ-2381-36: 8-ступінчаста, механічна, чотириступенева основна коробка з дводіапазонним планетарним демультіплікатором, з синхронізаторами на всіх передачах переднього ходу

9-ступінчаста механічна коробка передач 9JS150TA фірми Eaton Fast Gear.

1.2.6. КамАЗ 4310 [11]



Рис. 1.6. КамАЗ 4310 [11]

Основні технічні параметри КамАЗ 4310

Довжина, мм - 7650

Ширина, мм - 2500

Висота, мм - 3200

Колісна база, мм - 3340 / 1320

Кліренс, мм - 365

Споряджена маса, кг - 8410

Повна маса, кг -

Шини

1.2.7. Урал 4320 [12]



Рис. 1.7. Урал 4320 [12]

Основні технічні параметри Урал 4320

Довжина, мм - 7365

Ширина, мм - 2500

Висота, мм - 3005

Колісна база, мм - 3525 / 1400

Кліренс, мм - 365

Споряджена маса, кг - 8400

Повна маса, кг -

Шини

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РУХУ ТА МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ АВТОМОБІЛІВ БЕЗДОРІЖЖЯМ

2.1. Теоретичні основи руху автомобілів та взаємодії шин з бездоріжжям

У класичній теорії руху автомобіля опір рухові і зчеплення шини з деформованою поверхнею окрім звичного для доріг з твердим покриттям опору коченню шини внаслідок її деформації і гістерезисних втрат у самій шині f_u додатково формується [13-15] (рис. 2.1):

деформацією опорної поверхні та утворенням колії певної глибини f_d ;

опору зміщенню ґрунту (піску) від зсуву вперед (т.зв. бульдозерний ефект) f_o ;

опору додаткової затрати енергії внаслідок пробуксовування ведучого колеса і додаткового заглиблення в опорну поверхню та переміщення частини ґрунту (піску) із зони контакту у напрямку обертання колеса (т. зв. екскалаційний ефект) f_E ;

опору горизонтальному зміщенню верхньої частини опорної поверхні, еквівалентної поперечній площині колії, що утворюється внаслідок руху колеса (т.зв. тиск відпаду) f_s ;

для зв'язних вологих опорних поверхонь також додатковий опір коченню колеса внаслідок прилипання частинок ґрунту до шини f_n .

Практично аналогічні чинники формують і силу зчеплення шини з опорною поверхнею.

На рис. 2.1 представлено схему взаємодії пневматичної шини колеса автомобіля з ґрунтом – опорною поверхнею [5], де:

- h_r – висота деформації ґрунту (глибина колії);
- $h_{гз}$ – висота ґрунтозачепів (профілю шини);
- b – ширина колії;
- $b_{пр}$ -ширина протектора шини;
- V_x – лінійна швидкість осі колеса (автомобіля) у поздовжньому напрямі;
- ω_k – кутова швидкість обертання колеса;

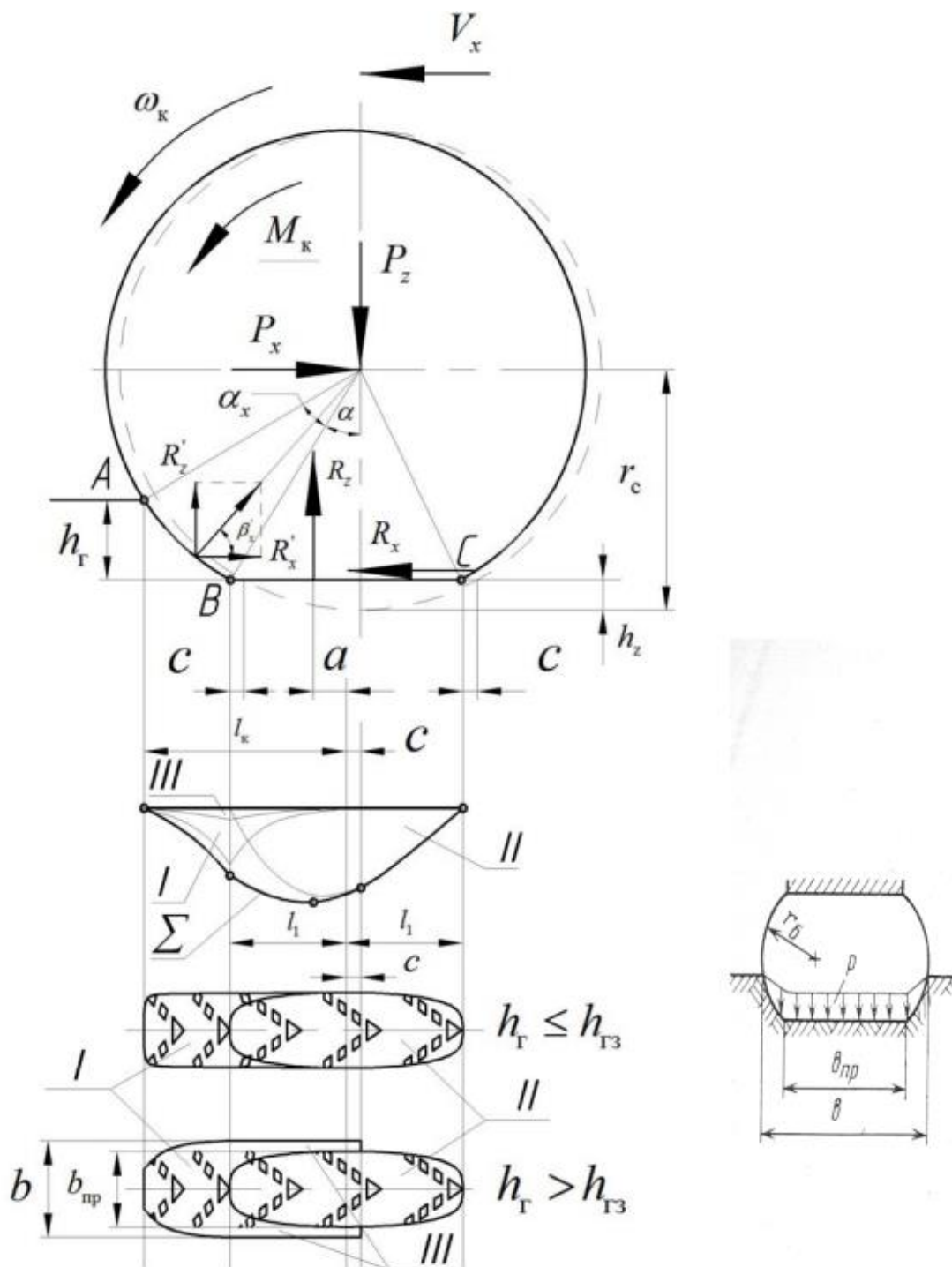


Рис. 2.1. Розрахункова схема взаємодії колеса з ґрунтом [5]

- M_k - крутний момент на колесі;
- P_z – вертикальне навантаження на колесо;
- P_x – зусилля опору руху колеса, що передається на основу автомобіля;

Колесо (рис.2.1) обертається з кутовою швидкістю ω_k , а вісь його (автомобіль) рухається з поздовжньою швидкістю V_x . Навіть без врахування

проковзування у контакті з опорною поверхнею з врахуванням тангенціальної еластичності шини:

$$V_x = \omega_k \cdot r_k \cdot (1 - s_x) \quad (2.1)$$

де: s_x – поздовжнього просковзування колеса згідно [16],

r_k – радіус кочення колеса без врахування ковзання, що визначається згідно [5]:

$$r_k = r_{k0} - \lambda_k \cdot M_k; \quad (2.2)$$

де: λ_k – коефіцієнт тангенціальної еластичності шини згідно [17];

r_{k0} – радіус кочення шини у веденому режимі згідно [17].

Окрім сил P_z і P_x та крутного моменту M_k , що діють на колесо (рис.2.1), останнє взаємодіє у даному випадку з ґрунтом, що деформується під впливом цих сил. Відповідно, згідно робіт провідного фахівця у цій сфері в СРСР проф. Агейкіна Я.С. [15], пляма – зона контакту шини з ґрунтом поділена на 3 зони (рис.2.1):

- перша область (дуга АВ) у передній частині контакту, що позначена цифрою I – різної форми (на вигляді зверху, рис. 2.1 – залежно від співвідношення висоти ґрунтозацепів (протектора) $h_{гз}$ та глибини деформації h_r ;
- друга область (дуга ВС) – зона взаємодії шини з плоскою зоною контакту з опорною поверхнею під дією вертикальної сили P_z та формування тягового зусилля R_x ;
- третя область (цифра III- на рис.2.1) появляється внаслідок контакту боковини шини з ґрунтом, коли величина нормальної деформації ґрунту/піску h_r перевищує висоту ґрунтозацепів протектора шини $h_{гз}$.

Практично коефіцієнт опору власне коченню колеса, згідно [16], формується 2-ма складовими:

- коченню еластичної шини у веденому режимі:

$$f_0 = \frac{(1 + 0.467 \cdot 10^{-3} \cdot V_x^2) \cdot (\alpha_f + \beta_f \cdot R_z^2)}{1 + p_w}; \quad (2.3)$$

де p_w – тиск повітря у шині, α_f і β_f – емпіричні коефіцієнти для даного типу шини, що визначаються згідно [16].

Друга складова коефіцієнту опору кочення обумовлена передачею підведеного крутного моменту M_k :

$$f_m = \frac{\lambda_k \cdot M_k^2}{R_z \cdot r_{k0} \cdot r_k}. \quad (2.4)$$

В межах другої зони контакту ВС (рис.2.1) формується поздовжнє тягове зусилля R_x , величина якого визначається підведеним крутним моментом M_k та обмежується силою зчеплення – вертикальним навантаженням на колесо P_z , але це на твердій опорній поверхні, а тут частина P_z припадає і на зони деформації ґрунту І і ІІІ. На рис. 2.1 показано відповідні епюри розподілу величин нормальних навантажень, віднесених до поздовжньої координати x (у т.ч. і у зоні ІІ), та сумарна епюра розподілу навантажень. Відповідно в умовах опорної поверхні, що деформується, у зоні ІІ діє не повна P_z , що відображається реакцією R_z (з врахуванням частини реакції ОП у зоні І):

$$R_z = P_z - R'_z. \quad (2.5)$$

Звідси, згідно [16], глибина колії h_z :

$$h_z = \frac{K_z \cdot (R_z)^{0,75}}{1 + 10 \cdot p_w}, \quad (2.6)$$

де: K_z – емпіричний коефіцієнт для даної моделі шини згідно [17].

Очевидно, що практична реалізація цієї моделі ускладнена необхідністю додаткового визначення 3-х емпіричних показників для даної моделі шини . Окрім позитивного чинника – врахування тиску повітря в шині залишається, однак, відкритим питання врахування твердості опорної поверхні – ґрунту, що є одним з визначальних для формування глибини колії і не фігурує у (2.6). Окрім цього досить невизначеним залишається питання розрахунку коефіцієнтів опору руху колеса з-за деформації і переміщення ґрунту, нагрібання ґрунту перед колесом (бульдозерний ефект), а для чорноземів – додатково і налипання ґрунту. Розрахунок цих показників у радянській школі прохідності базується на додатковому визначенні ще ряду емпіричних параметрів шини і ґрунту:

Зокрема розрахунок деформації ОП f_z базується на емпіричних залежностях, опрацьованих проф. Агейкіним Я.С. [16], що отримали подальший розвиток у недавніх наукових працях проф. Вольської Н.С. [18] та В.В. Ларіна [19]:

$$f_r = q_o \times z \times 0,3 \times \left(\frac{B + B_1}{W_z} \right) \quad (2.7)$$

де: q_o – тиск статичний, у роботі [11] – динамічний у контакті шини з ОП; z – глибина колії; W_z – вертикальне навантаження на колесо; B_1 – ширина колії; K_H – коефіцієнт насиченості протектора; C_0 – внутрішнє зчеплення у ґрунті (ОП); φ_0 – кут внутрішнього тертя у ґрунті (ОП);

Тобто для розрахунку (2.7) необхідна також додаткова кількісна оцінка, окрім модуля E таких фізико-механічних характеристик ОП, як:

кут внутрішнього тертя у ОП (ґрунті) φ_0 ;

опір ОП (ґрунту) зсуву;

внутрішнє зчеплення у ґрунті C_0 , МПа.

Окрім цього необхідно і розрахувати питомий тиск у контакті шини з ОП, а, відповідно і площу плями контакту. Залежності (2.7) обумовлюють необхідність попереднього розрахунку щодо оцінки значень питомого тиску q у контакті шини з ОП та глибини z і ширини B_1 утвореної колії:

$$q = 0,5 \times \delta_r \times \frac{P_u + P_k}{B_1} \times \left(\frac{B}{H} + \frac{3H}{B} \right) \times \left(1 - \delta_r / B \right) \quad (2.8)$$

де динамічне значення питомого тиску у контакті шини з ОП:

$$q_o = \frac{q}{1 + \frac{V_a}{2 \times \varphi_0 \times n \times l}} \quad (2.9)$$

$$q_o = \frac{E \times z}{0,5 \times a \times (B + B_k) \times \arctg \left(\frac{H_r - z}{0,5 \times a \times (B + B_k)} \right)} + \frac{2E \times Z \times \arctg \left(\pi \frac{H_r - z}{(B + B_k)} \right)}{\pi \times q_s} \quad (2.10)$$

де q – статичний тиск у контакті шини з ОП; P_u – тиск повітря у шині; P_k – тиск на ОП від жорсткості каркаса шини; δ_r – деформація шини на ОП; q_o – динамічний

тиск у контакті шини з ОП; V_a – швидкість автомобіля; z – глибина колії; n – кількість осей; l – довжина поверхні контакту колеса з ОП; f_Γ – товщина м'якого шару ОП; q_s – несна здатність ґрунту; a – коефіцієнт зміни напружень в ОП за глибиною.

Взаємопов'язане з q і q_0 значення глибини колії z визначається спільним розв'язком рівнянь (10)-(12) та залежності [11]:

$$z = \left(\frac{W_z}{C_\Gamma \times F_{III} \times 10^6} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (2.11)$$

де C_Γ – коефіцієнт деформації ґрунту; F_{III} – площа плями контакту шини з ОП; γ – показник щільності ґрунту..

У свою чергу площа плями контакту F_{III} визначається спрощеним прямокутним контуром з ширини колії B_K та довжини плями контакту l і суміщенням розв'язуванням (2.8)-(2.11) з врахуванням перерозподілу відомого вертикального навантаження на колесо W_z та деформаційних характеристик шини і ОП:

$$W_z = 0,25 \times \pi \times q \times \left[(1 - 0,5\xi) \times B \times 2\sqrt{D \times \delta - \delta^2} + \xi \times B_K \sqrt{D(\delta + z) - (\delta + z)^2} \right] \quad (2.12)$$

Додаткові уточнювальні складові опору рухові від горизонтального зміщення ОП:

бульдозерний ефект для гальмування та ведених коліс:

$$f_\delta = 0,5 \times \gamma \times q \times z \times \lg^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_0}{2} \right) + 2 \times C_0 \times \lg \left(45^\circ + \frac{\varphi_0}{2} \right) \quad (2.13)$$

ескалаційний ефект для ведучих коліс при пробуксовуванні:

$$f_e = \frac{1,5 \times 10^6}{(\mu + 1)^{W_z}} \times \left[\frac{Z_{II} \times (L_{II} - e_{II})}{(1 - S_\delta) \times (0,5D - \delta) \times 2 \arcsin \frac{L_{II}}{D}} \right]^{\mu-1} \times B_K \times C \quad (2.14)$$

де Z_{II} , L_{II} , e_{II} – висота, крок, ширина ґрунтозачепів протектора шини; C – безрозмірний емпіричний коефіцієнт ОП; S_δ – коефіцієнт пробуксовування колеса.

Ефект ескалації ґрунту супроводжується винесенням часток ОП із зони контакту і відповідним додатковим поглибленням колії ΔZ .

Прилипання частинок ґрунту або піску у впадинах протектора

$$f_{II} = 0,5 q_{II} \times B \times \frac{L}{W_z} \quad (2.15)$$

де q_{II} – питома сила прилипання часток мокрої ОП до колеса.

Очевидно, що процедура розрахунку сумарного опору рухові автомобіля на ґрунтових поверхнях, що деформуються, за вищенаведеною методологією (так зв. „Східної” школи [15]) є вельми складною та вимагає експериментального, трудозатратного визначення – оцінки несучої здатності ОП – ґрунту за декількома показниками. Окрім цього практично не враховується проковзування / пробуксовування колеса, що теж суттєво впливає на показники взаємодії з ОП – рис. 2.2.

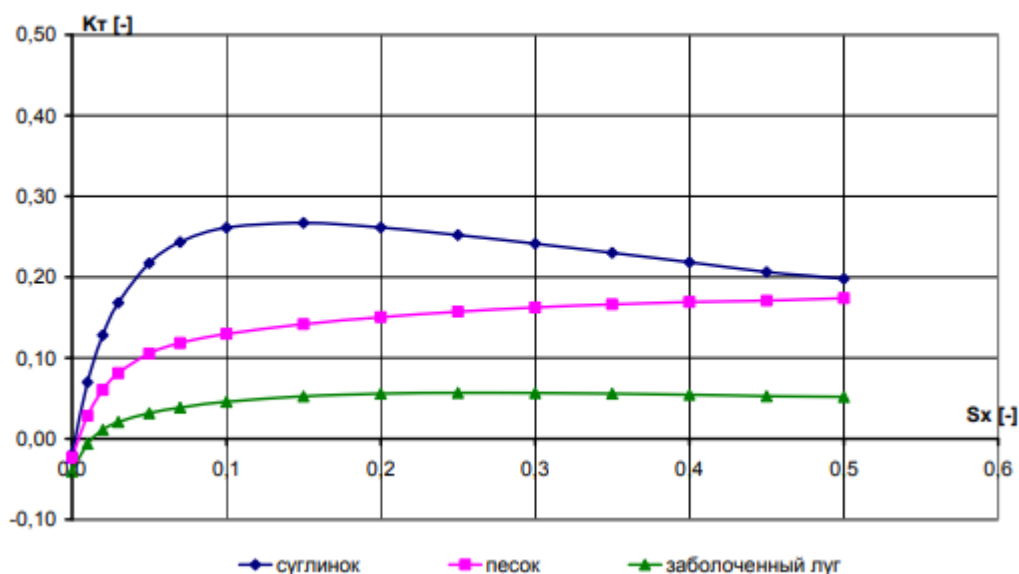


Рис.2.2. Залежність коефіцієнта тяги колеса з умов зчеплення $k_t = \varphi_x - f_\Gamma - f_\delta$ від поздовжнього просковзування колеса s_x у плямі контакту [5]

Зрештою нормативна методологія міністерства оборони рф щодо підбору і оцінки шин для військової автотехніки є значно спрощеною [20].

Домінуюча, ще з часів Другої світової війни, впроваджена інженерним корпусом армії США (англ. - US Army Corps of Engineer), методика - WES (англ. Waterways Experiment Station) оперативна оцінка несної здатності (твердості) ОП руху (ґрунту, піску і т.і.), базується на стандартизованому виміру опору деформації зазначеної ОП конусоподібним пенетрометром - комплексного показника – конусного індекса CI (що враховує і вертикальну деформацію і зсув ОП в горизонтальному напрямі, характерних для взаємодії колеса з ОП). Кут конуса 30° з площею основи $0,5 \text{ in}^2$ – дюйма квадратного – $3,23 \text{ cm}^2$, що переміщається на глибину до 15-20 см із швидкістю переміщення 3 см/с. Зазначена методика знайшла своє відображення ще у 70-х рр. минулого століття у стандарті ISO [21] –

названого конусним індексом CI (англ. Cone Index). (Цей стандарт уже віднедавна прийнятий як ГОСТ Р в РФ, що актуально і для України).

Для „Західної” школи (НАТО – WES) характерним є більш практичний підхід із акцентом на оперативну оцінку прохідності місцевості і потенційної швидкості руху, у „Східній” школі натомість акцент зроблено на оцінку запасу тягового зусилля на буксирному гаці автомобіля, максимальні значення якого характерні для низьких швидкостях руху і фактично відсутній при русі з максимально можливою технічно швидкістю руху бездоріжжям.

Попередня і послідовно деталізована оцінка взаємодії коліс БАТ з ОП – оцінка прохідності в країнах НАТО у військових формуваннях стандартизована і базується на декількох етапах:

оцінка прохідності БАТ на базі оперативного визначення експериментального значення конусного індексу CI і базових параметрів БАТ, діаметру D і ширини колеса B , а у деяких випадках навантаження на колесо G_a , ще висоти самої шини H та її радіальної деформації h_z та нескладного розрахунку т.зв. індексу (номера мобільності) військової автотехніки (БАТ) – MN, введеного згідно з методикою WES, що є базою для подальшого вибору емпіричних моделей характеристик взаємодії шин БАТ та конкретного типу ОП щодо кількісної оцінки характеристик і параметрів опору рухові і зчеплення шин з ОП,

визначення відповідної глибини колії, як оцінки прохідності загалом щодо конкретного типу БАТ із розрахунком відповідного порогового значення конусного індексу VCI (англ. – Vehicle cone index) як результату отриманих значень конусного індексу CI та MN [19,20].

Щодо 6 різновидів однотипної емпіричної залежності з визначення індексу прохідності MN – залежність запропоновану D. Rowland [22], що використовується і у військових відомствах Англії та ФРН:

$$MN_R = \frac{CI \times B^{0,85} \times D^{1,15}}{W} \sqrt{\frac{\delta}{B}}, \quad (2.16)$$

де CI – значення конусного індексу, МПа; W – вага автомобіля, т; D , B – діаметр і ширина шин, м; δ – деформація шини під номінальним навантаженням на твердій опорній поверхні;

або більш просту залежність D. Freitag з корекцією, введеною у практику інженерним корпусом армії США [23,24]

$$MN_F = \frac{CI \times B \times D}{W} \sqrt{\frac{h_z}{H_T}} \times \left(\frac{1}{1 + \frac{B}{2D}} \right), \quad (2.17)$$

Відповідно теоретична оцінка глибини колії на ОП визначається [25]

$$z = \left(0,003 + \frac{0,287}{MN_F} \right) \times D, \quad (2.18)$$

або

$$z = \left(-0,001 + \frac{0,248}{MN_R} \right) \times D, \quad (2.19)$$

Остання є визначальною для комплексного розрахунку відповідно до коефіцієнтів зчеплення μ та сумарного опору рухові шини без врахування мікропрофілю місцевості, відповідно при використанні MN_R [25]:

$$\mu = 0,84 - \frac{1,31}{MN_F - 2,45} + \frac{0,2}{MN_F - 2,5}, \quad (2.20)$$

$$f = 0,04 + \frac{0,2}{MN_F - 2,5}, \quad (2.21)$$

або за нещодавньою альтернативною пропозицією MacLaurin [26]:

$$\mu = 0,817 - \frac{3,2}{MN_F + 1,91} + \frac{0,453}{MN_F}; \quad f = 0,017 + \frac{0,453}{MN_F} \quad (2.22)$$

або при використанні MN_R :

$$\mu = 0,84 - \frac{1,31}{MN_R - 0,95} + \frac{0,2}{MN_R - 1,35}; \quad f = 0,04 + \frac{0,2}{MN_R - 1,35} \quad (2.23)$$

Як свідчить аналіз відомих досліджень [13-15 і інші] власне залежності (2.20)-(2.21) забезпечують кращу збіжність результатів розрахунку та дорожніх випробувань насамперед на ґрунтових ОП.

Вищевикладені основні положення WES – методики покладені і в основу нормативної бази Об'єднання німецьких інженерів (VDI) щодо проектування та експлуатації колісних та гусеничних машин в умовах бездоріжжя – аграрних угідь [27].

РОЗДІЛ 3 ОЦІНКА ВПЛИВУ ТИСКУ ПОВІТРЯ У ШИНАХ НА ПОКАЗНИКИ РУХУ АВТОМОБІЛІВ БЕЗДОРІЖЖЯМ

Експериментальні дослідження впливу зміни тиску повітря у шинах щодо легкових автомобілів підвищеної прохідності УАЗ 31512 та ВАЗ 21214 «Нива» на 4-х різних випробувальних ділянках представлені у роботі [28].

Базові технічні параметри випробуваних зразків автомобілів представлені у табл. 3.1, а характеристики ділянок – у табл. 3.2.

Таблиця 3.1. Короткі технічні характеристики автомобілів УАЗ, ВАЗ [28]

Марка автомобіля	Повна маса і її розподіл по передній та задній осях, кг	Питома потужність кВт/т	Кліренс, мм	Шини	
				Розмір	Протектор
УАЗ 31512	2350 (910+1440)	23,8	220	215/90R15	Універсальний
ВАЗ 21214	1610 (780+830)	37,0	200	175/80R16	Універсальний

Таблиця 3.2. Коротка характеристика ґрунтових поверхонь [28]

№ типу ґрунту	Вид і стан опорної поверхні	Щільність, г/см ³	Вологість, %	Питомий опір втискуванню на глибині 1 см, 10 ⁵ Па
1	Суглинок на межі насичення (весняна рілля)	1,6...1,9	Більше 35	0,5
2	Сухий сипучий пісок	1,5...1,6	Менше 4%	1,0
3	Суглинок зрихлений, свіжозораний	1,3...1,4	18...20	0,25
4	Суглинок сирий, важкий (злежала рілля восени)	1,5...1,7	26...28	0,5

Окрім замірів максимальної швидкості руху $V_{\max}$, та глибини утвореної колії автомобілем Н проводилось і визначення максимального питомого зусилля на буксирному гаку автомобіля (як фактично базового показника прохідності згідно

нормативної бази РФ (СССР) по ГОСТ РВ 52048-2003, ГОСТ РВ 52395-2005 [29] і РТМ 37.001.053-2000):

$$K_{T \max} = P_{k \max} / G_a, \quad (3.1)$$

де : $P_{k \max}$ - максимальне тягове зусилля на буксирному гаці;

G_a – вага автомобіля.

Результати випробувань представлені у табл.3.3.

Таблиця 3.3. Результати випробувань автомобілів [28]

Марка автомобіля	Назва параметру	Тип опорної поверхні							
		1. Суглинок на межі насичення (весн. рілля)				2. Сухий сипучий пісок			
	Тиск у шинах, МПа	0,05	0,10	0,15	0,20	0,05	0,10	0,15	0,20
УАЗ 31512 ВАЗ 21214	Н, мм	120 30	Вп 140	Вп вп	Вп вп	20 20	60 40	Вп вп	Вп -
УАЗ 31512 ВАЗ 21214	$V_{\max}$, км/год	18,0 25,0	Вп 21,0	Вп вп	Вп вп	31,0 37,0	24,0 37,0	Вп вп	Вп вп
УАЗ 31512 ВАЗ 21214	$K_{T \max}$	0,05 0,11	Пп 0,02	Пп пп	Пп -	0,11 0,11	0,05 0,08	Пп пп	Пп пп
УАЗ 31512 ВАЗ 21214	Н, мм	3. Суглинок зрихлений, свіжозораний				4. Суглинок сирий, важкий (злежала рілля восени)			
		120 110	170 160	205 180	230 -	50 45	80 75	100 85	115 -
УАЗ 31512 ВАЗ 21214	$V_{\max}$, км/год	20,0 21,0	18,0 21,0	17,0 21,0	15,0 -	24,0 31,0	23,0 27,5	22,0 21,0	20,0 -
УАЗ 31512 ВАЗ 21214	$K_{T \max}$	0,26 0,25	0,21 0,20	0,17 0,18	0,14 -	0,15 0,16	0,11 0,10	0,09 0,08	0,07 -

Тут: Вп, Пп – втрата прохідності

Практичний інтерес представляють і експериментальні дослідження щодо впливу тиску повітря у шинах на показники прохідності і мобільності руху середньотонажних повнопривідних автомобілів (на прикладі КамАЗ і Урал) [30].

Випробування проводились на сухій (вміст води не більше 6%) піщаній поверхні з глибиною залягання більше 3 м.

Автомобілі обладнані новим типорозміром шин для ВАТ - моделі Кама-1260 (створеної під нові вимоги МО РФ [29]) розмірністю 425/85R21 (номінальне навантаження на колесо – 29400 Н; зовнішній діаметр – 1260 мм; посадковий діаметр – 533 мм; ширина протектора – 380 мм) с регульованим тиском повітря і рисунком протектора підвищеної прохідності). Короткі технічні характеристики автомобілів на випробуваннях надані у табл.3.4.

Таблиця 3.4. Коротка технічна характеристика автомобілів [30]

Марка авто (колісна формула)	Вантажність, кг	Повна маса (розподіл по осях), кг	Питома потужність, кВт/ т (к.с./т)	Шини, модель (мінімальний тиск повітря, МПа)	Питома завантаженість шин, передніх / задніх, (середня), т/м ³
КамаЗ-4350 (4х4)	4000	11820 (5910/5910)	14,9 (20,3)	425/85R21	7,70/7,70 (7,70)
КамаЗ 43114 (6х6)	6000	15450 (5380/10040)	11,4 (15,5)	Кама-1260 (0,10)	6,84/6,57 (6,60)
Урал 4320-31 (6х6)	6000	15520 (4850/10670)	11,4 (15,5)		6,32/6,96 (6,75)

Отримані значення показників прохідності та мобільності (максимальної швидкості) руху представлені у табл. 3.5. Заїзди відбувались для 4-х значень тиску повітря у шинах (від 0,1 до).; МПа) з фіксацією максимально досягнутої швидкості руху $V_{\max}$, та визначенням вищезгаданого максимального питомого зусилля на буксирному гаку автомобіля $K_{T\max}$, а також коефіцієнта питомого опору буксируванню автомобіля f_0 та мінімального радіусу повороту $R_{\min}$, табл. 3.5. Коефіцієнт питомого опору буксируванню автомобіля f_0 є показником, що характерний тільки для нормативної бази ВАТ колишнього СРСР (зараз РФ, рис. 3.2) і визначається як:

$$f_{\bar{\sigma}} = P_{f\bar{\sigma}} / G_a \quad (3.2)$$

де $P_{f\bar{\sigma}}$ – сила опору буксируванню автомобіля, G_a – вага автомобіля.

Максимальна сила тяги на буксирному гаці P_{kmax} для оцінки K_{Tmax} (3.1) визначалась досягненням моменту зрушення з місця автомобіля-причепа, рис.3.1. Характерно, що всіх 3-х моделей максимум K_{Tmax} досягався при мінімальному тиску у шинах p_v , рис.3.3.

Таблиця 3.5. Показники прохідності та мобільності руху [30]

Марка автомобіля	p_v , МПа	K_{Tmax}	$V_{a max}$, км/ч	$f_{\bar{\sigma}}$	R_{min} , м
КамАЗ-4350	0,40	0,025	–	0,170	∞
	0,30	0,092	17,1	0,102	–
	0,20	0,152	20,9	0,076	11,3
	0,10	0,272	27,5	0,063	11,2
КамАЗ-43114	0,40	0,045	14,5	0,183	13,5
	0,30	0,090	16,5	0,150	12,5
	0,20	0,144	22,5	0,114	11,5
	0,10	0,267	26,9	0,068	11,1
Урал-4320-31	0,40	0,045	16,2	0,148	12,7
	0,30	0,091	19,7	0,122	12,5
	0,20	0,142	27,9	0,071	12,0
	0,10	0,277	30,0	0,060	11,3



Рис. 3.1. Визначення максимальної сили тяги на буксирному гаці [30]



Рис. 3.2. Визначення сили опору буксируванню автомобіля [30]

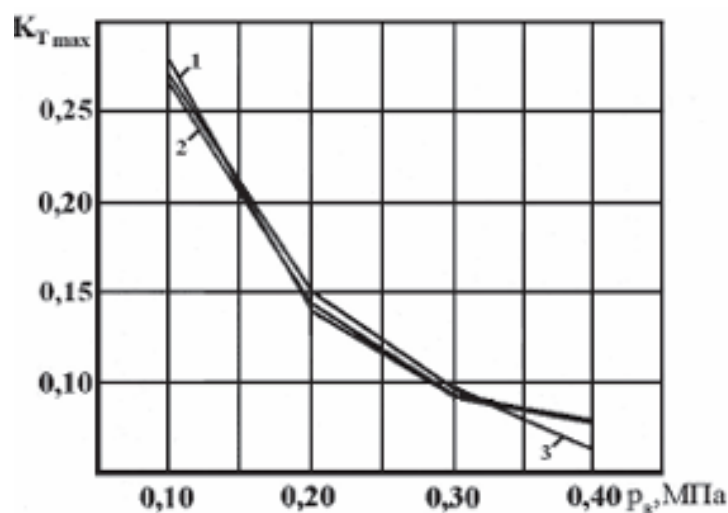


Рис.3.3. Залежність K_{Tmax} від тиску повітря у шинах [30]

Це логічно співпадає і з показником – f_0 (3.2; табл.3.5), рис. 3.4. Більш актуальним для практики ВАТ є залежність мобільності руху – V_{max} від тиску повітря у шинах p_g на даному бездоріжжю (тут сухий пісок), рис. 3.5.

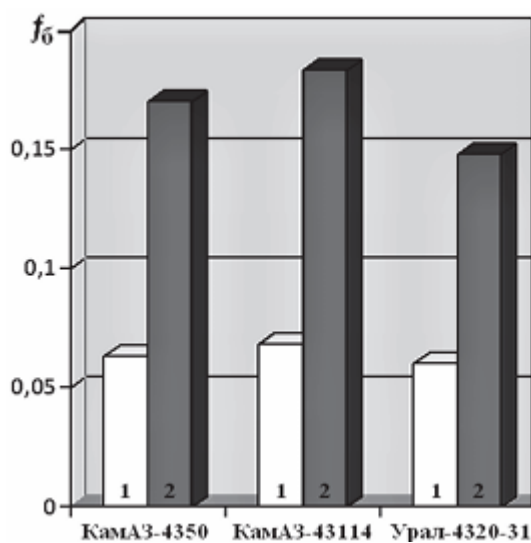


Рис.3.4. Залежність f_0 від тиску у шинах p_g

тут: 1 – тиск $p_g = 0,1$ МПа; 2 – тиск у шинах $p_g = 0,4$ МПа

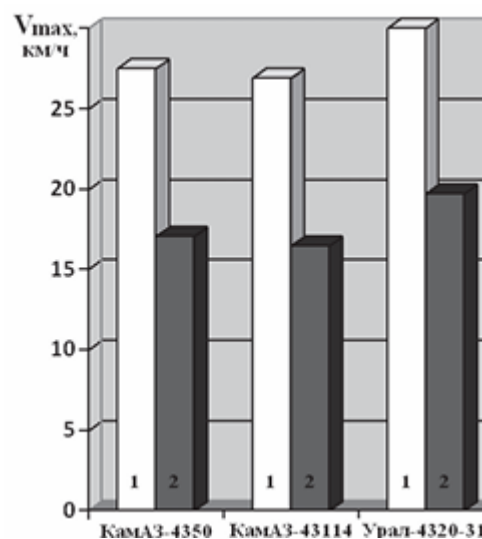


Рис. 3.5. Залежність V_{max} від p_g

Дещо інші залежності оцінки впливу тиску повітря у шинах на прохідність автомобіля представлені у дослідженні з провідного щодо ВАТ у рф вищого навчального закладу – МГТУ ім. Н. Баумана [4], де шляхом комп'ютерного моделювання (на базі уже осучаснених математичних моделей школи проф. Я.С. Агейкіна [14], частково представлених у розд.1). В основу розрахунку покладено

алгоритм розрахунку деформації шини h і глибини колії z залежно від конструктивних параметрів колеса і навантажень на нього, а також від фізико-механічних характеристик ґрунту. Це базується на п'яти взаємопов'язаних залежностях, в одній з яких враховується тиск повітря у шині p_w :

$$q_{ш} = 0,5 \cdot h_{ш} \cdot \frac{(p_o + p_s)}{b} \cdot \left(\frac{B}{H} + \frac{3H}{2B} \right) \cdot \left(1 - \frac{h_{ш}}{B} \right), \quad (3.3)$$

Де: $q_{ш}$ – питомий тиск у плямі контакту шини з ґрунтом; p_o – тиск на ґрунт від жорсткості каркасу шини; $h_{ш}$ – деформація шини; B – ширина профілю протектора шини; H – висота профілю шини.

Відомі значення h і z колеса дозволяють визначити коефіцієнти опору шини $f_{ш}$ і ґрунту $f_{г}$ кочінню:

$$f_{ш} = \frac{1,75 \cdot P_x \cdot \psi_1 \cdot h^2 \cdot (B^2 + 1,5 \cdot H^2) \cdot (B - 0,3 \cdot h_{ш})}{P_z \cdot H \cdot B^2}$$

$$f_{г} = q_d \cdot z \cdot 0,3 \cdot \left(\frac{b + b_k}{P_z} \right), \quad (3.4)$$

де: P_x , P_z – поздовжня та нормальна сили на осі колеса, ψ_1 – коефіцієнт гістерезисних втрат в шині, b – ширина протектора шини, b_k – ширина колії, q_d – динамічний тиск в плямі контакту, що враховує швидкість навантаження колеса.

Таким чином визначається потужність $N_{номр}$, що необхідна для руху заданим бездоріжжям, у т.ч. при різних значеннях тиску повітря у шині p_w :

$$N_{номр} = P_z(f_{ш} + f_{г})V_a \quad (3.5)$$

Розрахунки проводились щодо суглинку з щільністю 1000 кг/м^3 , товщиною м'якого шару $0,2$ і $0,3 \text{ м}$ та відносною вологістю 80% . Тиск повітря у шині – в діапазоні $0,08 - 0,4 \text{ МПа}$ при усталеній швидкості руху автомобіля ЗІЛ 43341 (6х6, наступник ЗІЛ 131) 18 км/год (5 м/с). Моделювалось 5 типів мікропрофілю ґрунту: 1 - рівня поверхня; 2 – з висотами нерівностей $0,013 \text{ м}$; 3 – з висотами $0,025 \text{ м}$; 4 – з висотами $0,055 \text{ м}$; 5 – з висотами $0,080 \text{ м}$ та довжинами нерівностей у межах від $0,4$ до 6 м . На рис. 3.6 представлені результати моделювання, де очевидні значні відмінності в необхідній потужності для усталеного руху на рівному ґрунті (крива 1, рис. 3.6), звичному для більшості комп'ютеризованого моделювання руху бездоріжжям, та руху по тому ж ґрунті з різними (і реальними) нерівностями. Другим результатом є чітко фіксований мінімум затрат потужності у діапазоні

значень тиску повітря в шині 0,1-0,2 МПа, тобто не при мінімально допустимому тиску – крива 6, рис.3.6. Власне для рівного бездоріжжя (крива 1, рис.3.6) мінімум

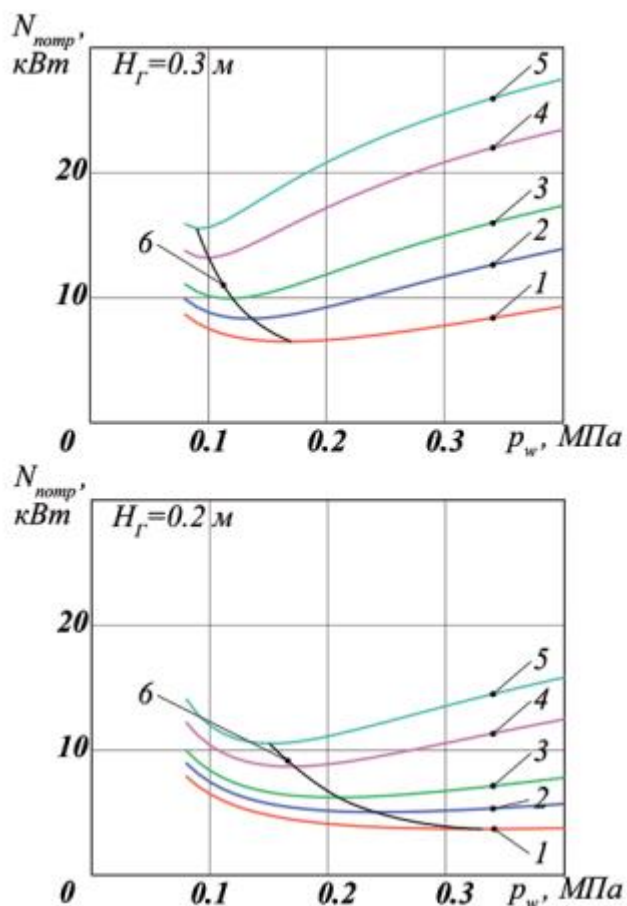


Рис. 3.6. Вплив тиску повітря у шині на затрати потужності двигуна при русі з постійною швидкістю однотипним бездоріжжям з різними висотами нерівностей [4].

необхідної потужності для руху відповідає тиску у шинах 0,33 МПа – зміна тиску в діапазоні 0,2 – 0,4 МПа незначно збільшує необхідну потужність в межах 3%. Однак при збільшенні висот нерівностей і, особливо при збільшенні товщини м'якого шару суглинку H_r з 0,2 до 0,3 м мінімум різко зміщується в зону низького тиску (крива 6, рис. 3.6) – затрати потужності на формування колії і деформацію ґрунту суттєво зростають, практично у 1,5 – 2 рази при збільшенні тиску у шинах до 0,4 МПа. Різниця у необхідних для руху потужностях при врахуванні реальних нерівностей ґрунтової поверхні (суглинку) досягає 197-286 % у порівнянні з ідеалізованою рівною поверхнею.

Проведені випробування КамАЗ 4310 на трьох типах практично рівної ОП з зміною тиску повітря в шинах від мінімального 0,1 до 0,45 МПа (рис. 3.7)

засвідчили співставимі результати з вище викладеними для 3-х значень експлуатаційної маси автомобіля.



Рис. 3.7. КамАЗ 4310 на випробувальній ділянці (суглинок з 30% вологою)

Зокрема випробувальні ділянки:

- а) мокрий пісок з вологістю біля 30%;
- б) суглиниста польова дорога з вологістю біля 35%;
- в) свіжезораний суглинок з вмістом води біля 35%.

На рис. 3.8 представлені результати замірів і відповідного розрахунку коефіцієнта сумарного опору руху f_{wo} залежно від тиску повітря в шинах P_w і навантажень на осі (експлуатаційної маси) при русі з усталеною швидкістю 20 км/год на ділянці «мокрый пісок». При цьому на фрагментах рисунка: а) колеса передньої осі з навантаженням на колесо 1 – 26000 Н; 2 – 24500 Н; 3 – 23000 Н ; на б) колеса другої осі на колесо 1 – 26000 Н, 2 – 19000 Н, 3 – 12500 Н; на в) колеса третьої осі на колесо 1 – 26000 Н, 2 – 19000 Н, 3 – 12500 Н. (Аналогічно і на рис. 3.9 та рис. 3.10).

З аналізу цих результатів впливає наступне:

- а) при русі мокрим піском найменший опір руху (а отже і витрата палива, чи більша швидкість) для шин передньої осі (рис. 3.8а) забезпечується при мінімальному допустимому тиску повітря 0,1 МПа аналогічно і для коліс

другої осі (рис. 3.8б), для третьої осі в уже достатньо ущільненій колії оптимальне значення тиску уже у діапазоні 0,2 -0,3 МПа (рис.3.8в).

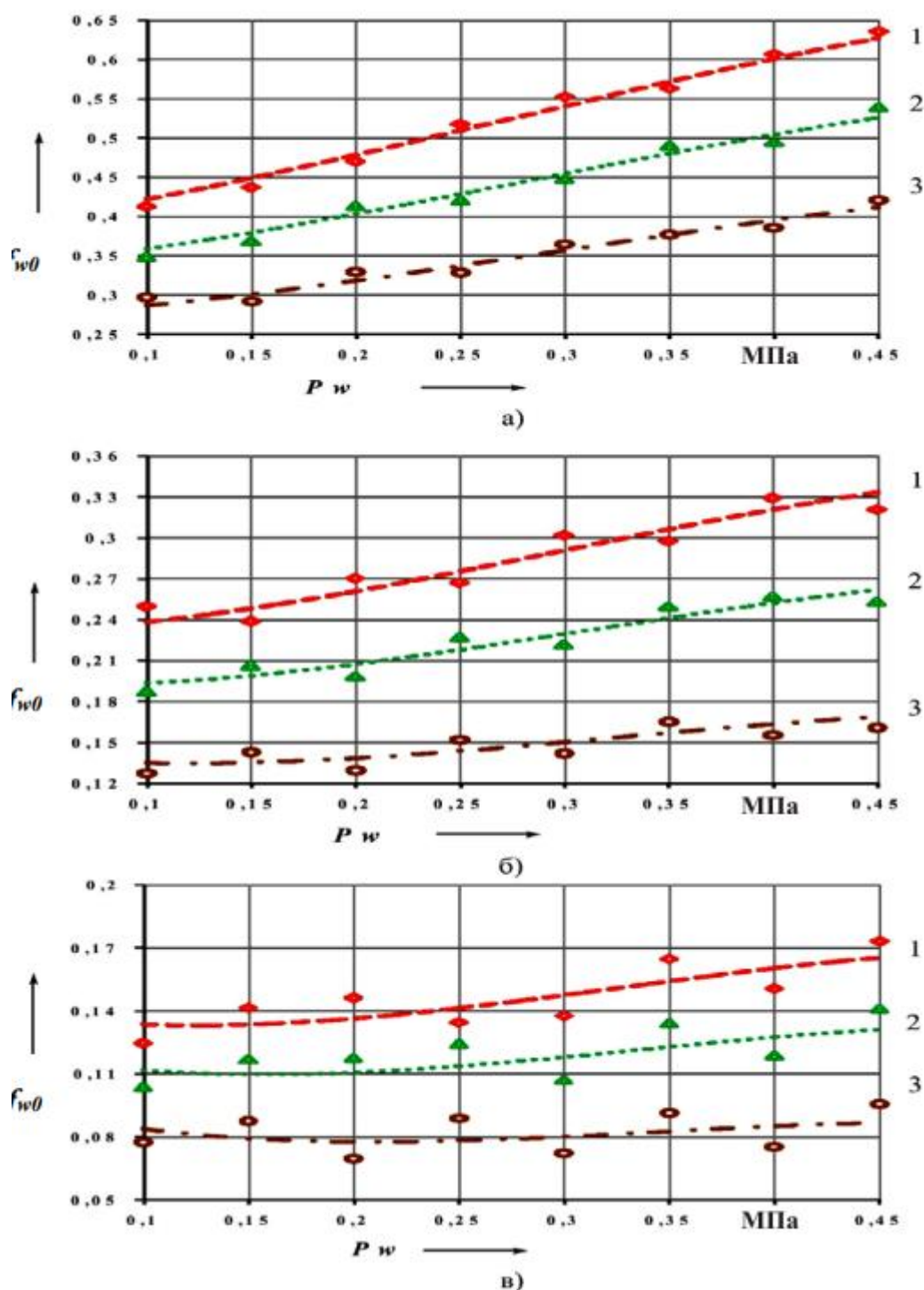


Рис. 3.8. Результати випробувань на ділянці «мокрый пісок»

Значення коефіцієнтів опору руху для коліс другої осі (в колії) зменшується в 1,7 – 1,9 рази внаслідок ущільнення після проїзду першої осі, а для коліс третьої осі – у 1,3 -1,6 рази у порівнянні з другою віссю.

б) рух на зволоженій (35%) ґрунтовій дорозі (суглинок) супроводжується зміщенням оптимальних значень тиску повітря в шинах в зону більш високих значень – 0,2 МПа для передньої осі (рис. 3.9а), а для шин другої осі уже в зоні 0,25 МПа (рис. 3.9б). Шини третьої осі - 0,3 – 0,35 МПа при повністю завантаженій машині (крива 1), а при частково і порожній (спорядженій масі) – практично до номінального тиску – 0,45 МПа (рис.3.в).

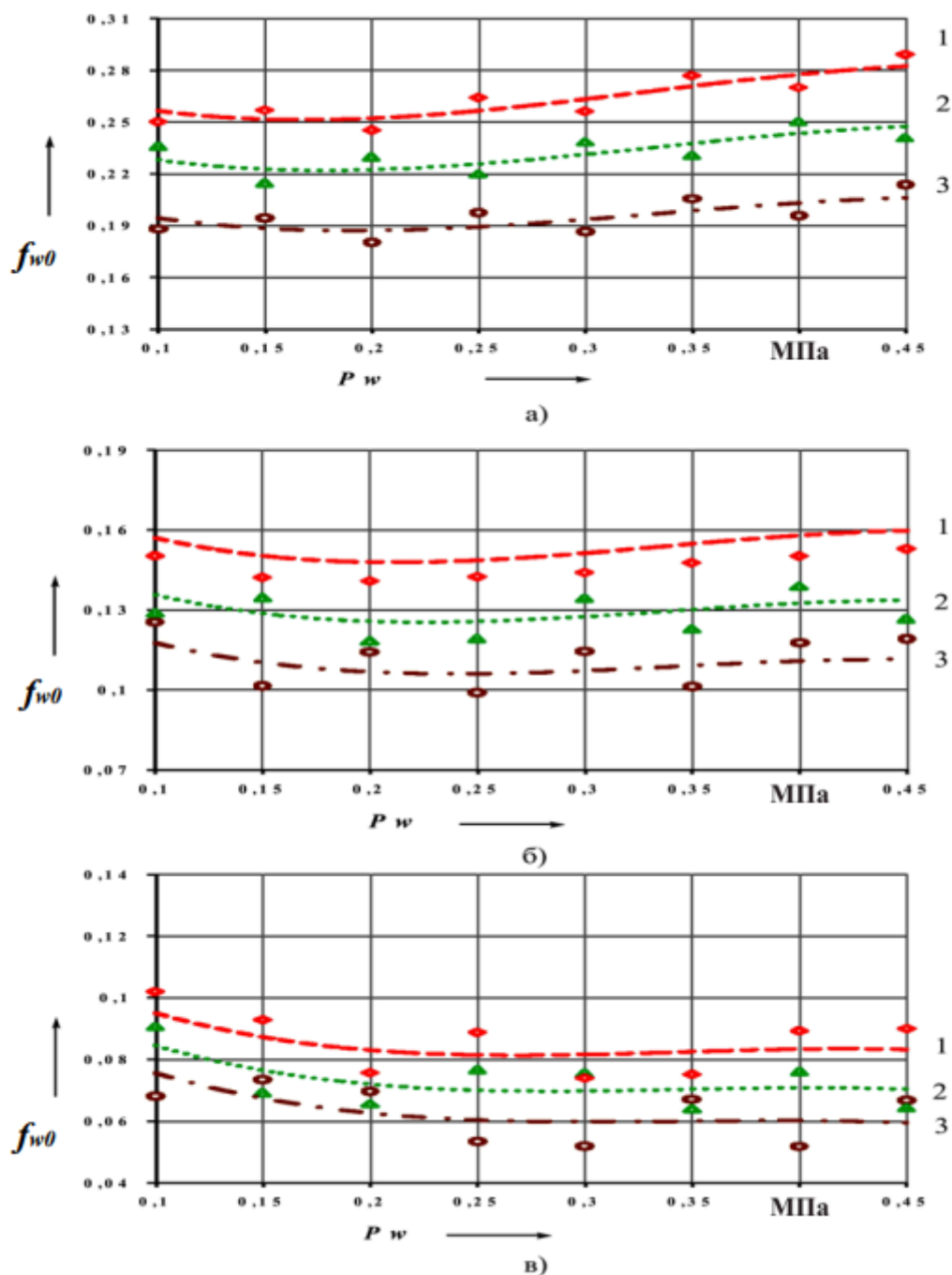


Рис. 3.9. Результати випробувань на ділянці «суглинок – дорога»

Опір руху для коліс передньої осі практично у 1,5-1,7 рази є більшим у порівнянні з «мокрим піском», але вже для коліс третьої осі майже вирівнюється .

Характерною відмінністю є, однак, відсутність відчутного зростання при збільшенні тиску повітря у шинах у порівнянні з ОП «мокрый пісок».

в) на зораній ділянці того ж класу ґрунту і вологи відчутно збільшується опір руху та характер його суттєвого наростання при збільшенні тиску повітря в шинах, рис. 3.10. Відчутно більша різниця у зміні опору руху для коліс другої і третьої осей (рис. 3.10б і 3.10в). Очевидно, що окрім зменшення твердості поверхневого шару значну роль відіграє значне збільшення висот нерівностей ОП.

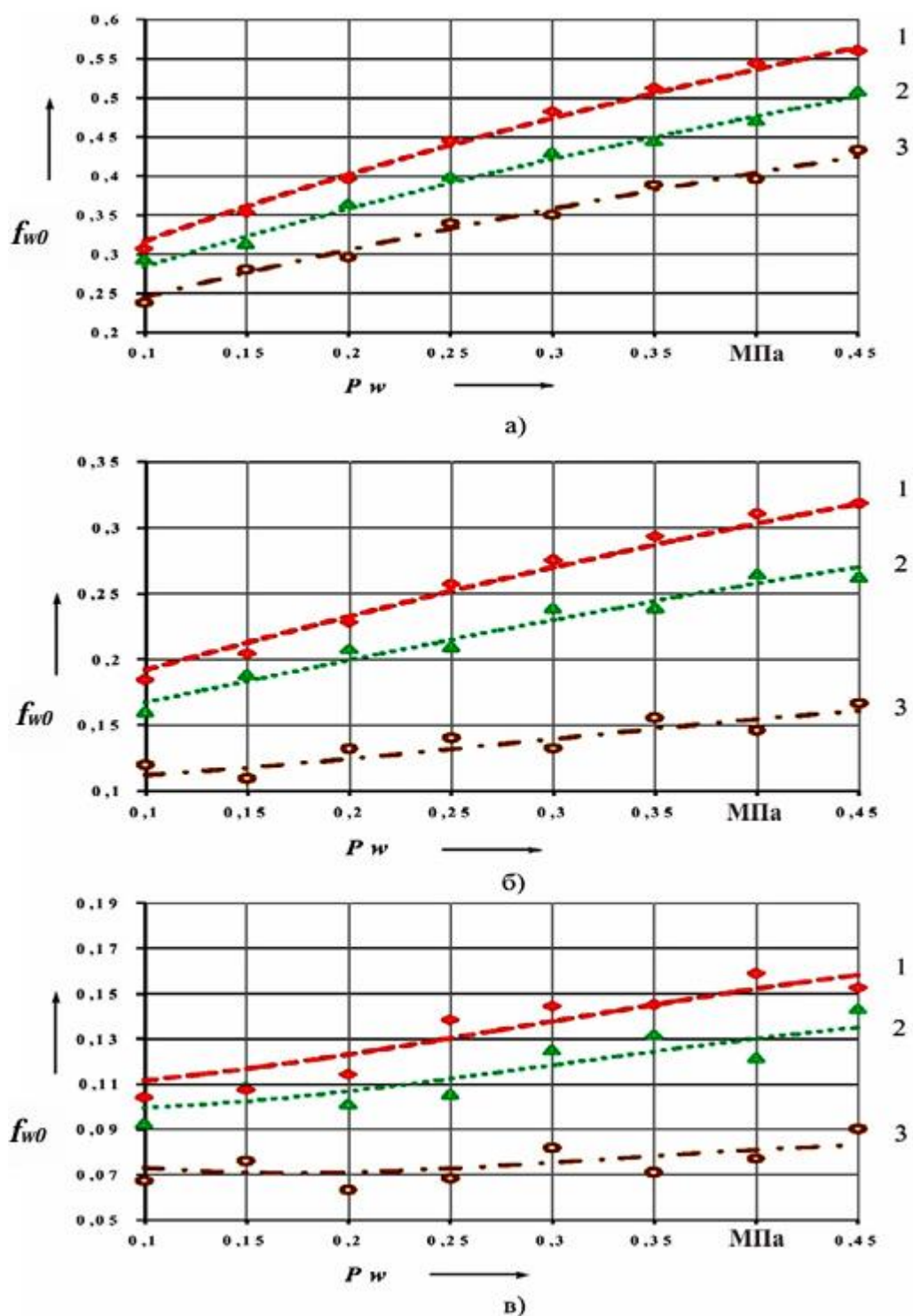


Рис. 3.10. Результати випробувань на ділянці «зораний суглинок»

Звично, що у загальнодоступних джерелах інформації практично відсутні дані щодо аналогічного типу випробувань і досліджень щодо ВАН НАТО, але натомість є інформація щодо оцінки ефективності зниження тиску повітря у шинах колісних тракторів і сільськогосподарських машин з умов агроєкології – ущільнення ґрунту при операціях на аграрних угіддях. Тиск повітря в шинах суттєво впливає на формування площі контакту шини з ґрунтом, а, відповідно і на значення питомого тиску на ґрунт та величину ущільнення ґрунту. Окрім цього також і на величину радіальної деформації – прогину шин, що у свою чергу впливає на тягові характеристики та ресурс шин. Зокрема у роботі [31] представлено вплив тиску повітря в шинах на зміну площі плями контакту та деформацію шин на прикладі розповсюджених типорозмірів тракторних коліс, рис. 3.11.

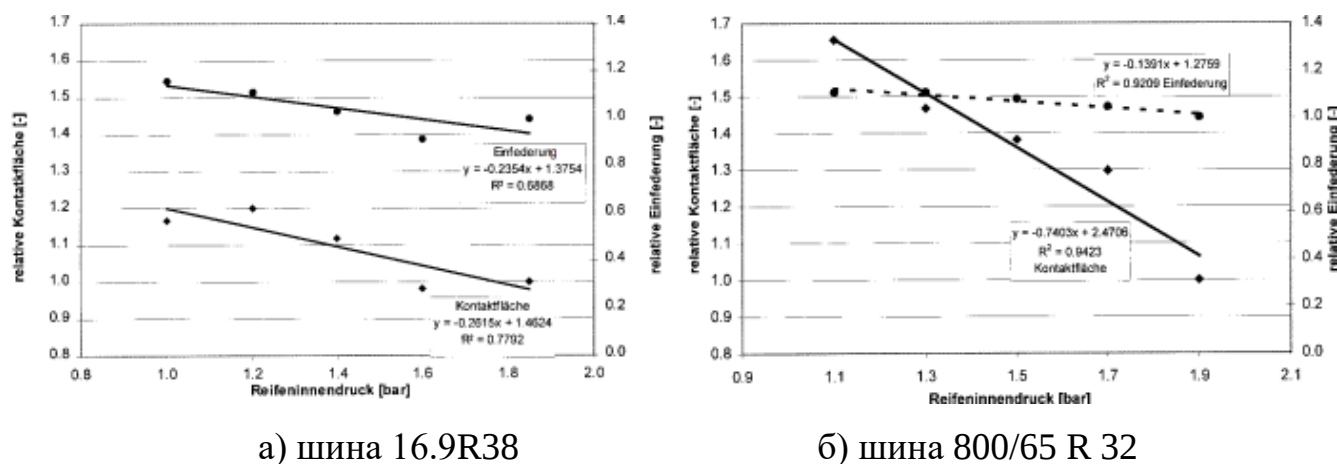


Рис. 3.11. Вплив тиску у шині (Reifeninnendruck) на питомі зміни площі контакту (relative Kontaktflaeche) та питому деформацію шини (relative Einfeldung) [31].

Проведене дослідження для 6 типорозмірів шин у діапазоні змін тиску повітря від 0,1 до 0,2 МПа засвідчили відчутне збільшення площі плями контакту (а, відповідно і зменшення питомого тиску у контакт з ґрунтом та глибини колії) при відповідному (вдвічі меншому у порівнянні до автомобільних шин) зниженні тиску, табл. 3.6

При цьому у [31] запропоновано і регресійне рівняння взаємозв'язку взаємозв'язку зміни площі плями контакту шини з ґрунтом залежно від її типорозміру та тиску повітря у шині:

$$F = 50724,6 - 273,6 p^2 + 708,6 D - 2,7D^2 - 2,6B^2 + 2,3 D \cdot B \quad (3.6)$$

де: F – площа плями контакту; p – тиск повітря у шині; D – діаметр шини;

B – ширина протектора.

Звично, що залежність (3.6) уже враховує тиск повітря у шині на формування площі плями контакту (у порівнянні з попередньою методикою, прийнятою у виробників шин [32]), але не враховує зміни навантаження на колесо (очевидно практично стабільне для колісних тракторів). Загалом ці питання (власне з умов агроєкології) більш детально розглянуті у роботах [33,34].

Таблиця 3.6. Питоме співвідношення між зменшенням тиску повітря у шинах та збільшенням площі плями контакту шини з ОП [31]

Типорозмір шин	Навантаження на колесо, кг	Сумарне збільшення F , %	Співвідношення F/p , $\text{см}^2/\text{бар}$
16,9R38	3000	15	0,2615
11,2R42	950	42	0,6073
9,5R36	675	22	0,6958
18,4R38	2620	52	0,5233
800/65R32	6020	65	0,7403
24,5R32	6020	41	0,4926

Слід констатувати значні коливання приросту площі плями контакту при зниженні тиску повітря у шинах (у доволі обмеженому діапазоні 0,2 – 0,1 МПа) з приростом площі плями контакту шини з ґрунтом для різних шин, табл. 3.6.

Значно детальніше взаємодія коліс тракторів з ґрунтом і врахуванням зміни тиску повітря у шинах опрацьовано у дослідженні [35]. На рис. 3.12 представлена номограма взаємозв'язку тиску повітря у шині, навантаження на колесо та характеристик ґрунту, що опрацьована на базі відповідних експериментів з 5 типорозмірами тракторних шин. У верхньому правому квадранті **A** представлено взаємозв'язок між внутрішнім тиском у ґрунті P_a і кількістю коріння рослин (в об'ємі 150 см^3) як непряму оцінку пористості – питомого вмісту повітря та вологи і фракційного складу ґрунту. У нижньому правому квадранті **B** представлено взаємозв'язок (у т.ч. з інших досліджень) тиску в ґрунті на глибині 35-40 см (орного шару) з відповідними значеннями тиску у плямі контакту шини з ґрунтом P_k . У нижньому лівому квадранті **C** представлено взаємозв'язок P_k з тиском повітря в шині P_i для 5 розглянутих типорозмірів, у т.ч. для шин 800/65R32 для 3-х різних

навантажень на колесо у діапазоні 6, 7 і 8 т (рис. 3.12). І наприкінці у верхньому лівому квадранті **D** представлені залежності оцінки допустимого навантаження на колесо (Radlast) від тиску повітря в шині P_i .

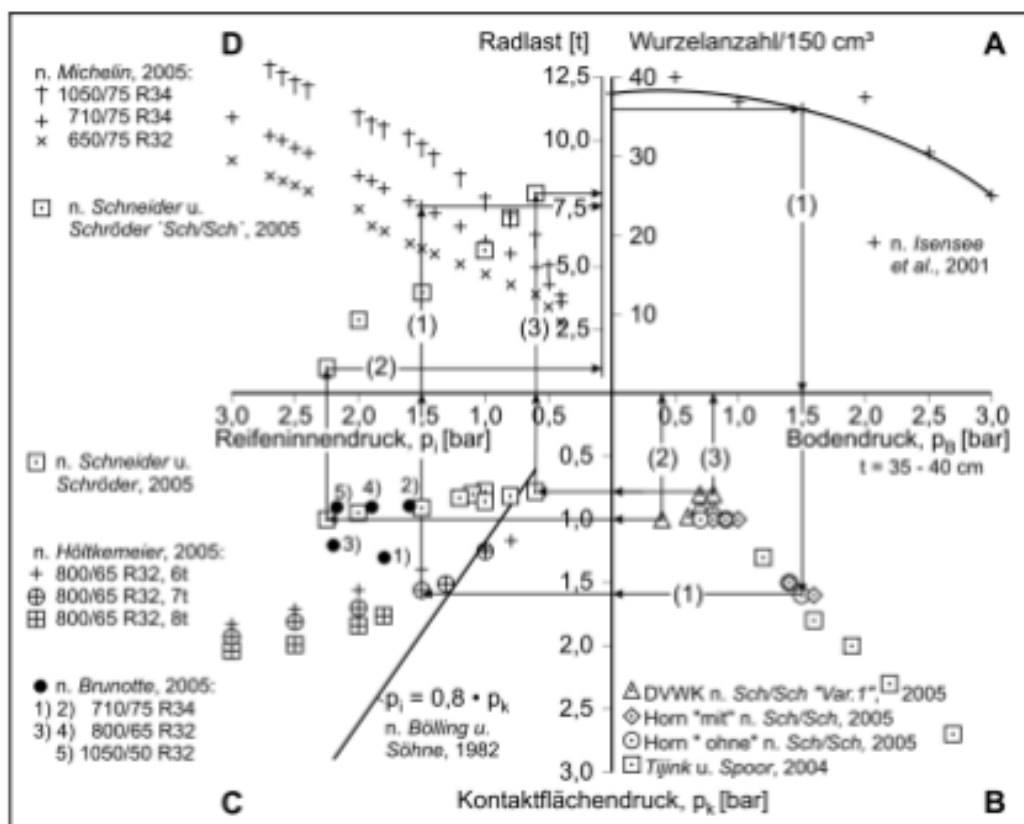


Рис. 3.12. Номограма взаємозв'язку характеристик ґрунту та дії колеса [35]

Тут: Wurzelanzahl – кількість коріння у 150 см³ ґрунту, Bodendruck – тиск в ґрунті на глибині 35-40 см, Kontaktflaechendruck – тиск у плямі контакту шини з ґрунтом, Reifeninnendruck - тиск повітря у шині, Radlast – навантаження на колесо.

Як приклад лініями (1) на рис. 3.12 представлено визначення допустимого навантаження на колесо 710/75R34, що при тиску повітря у шині 1,5 бар не повинно перевищувати 7,5 т. Як приклад практичного використання лініями 2 і 3 показано можливості зниження дії на ґрунт шляхом зниження тиску повітря у шині до 0,5 бар (при навантаженні 7,5 т – лінія 3), а при підвищенні тиску у шині до 2,3 бар – необхідність зниження навантаження на колесо до 1,2 т.

Дана номограма опрацьована однак для одного типу і стану ґрунту та певних типорозмірів тракторних шин і з умов агроєкології.

У дослідженнях [36,37] представлена залежність питомого тиску у контакті шини з ґрунтом (Bodendruck) від тиску повітря у шині P_i при незмінному наванта-

женні на колесо 4 т, рис. 3.13.

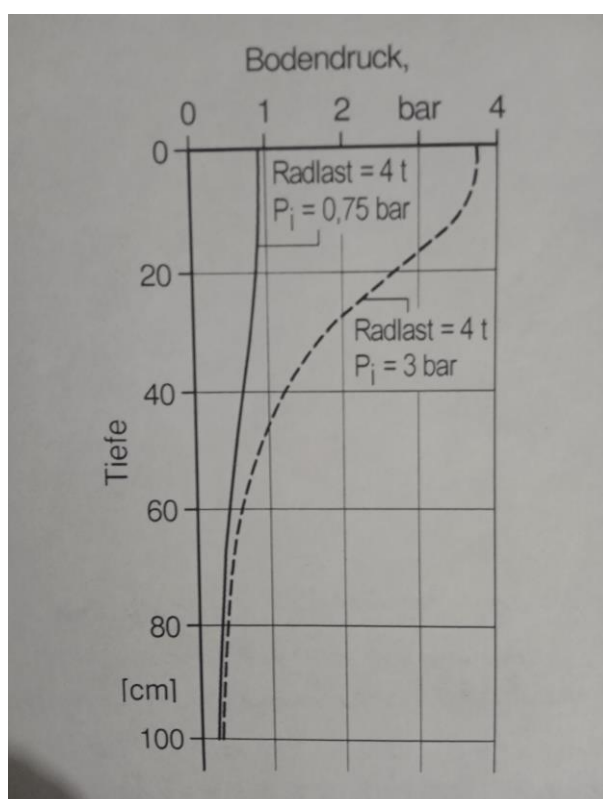


Рис. 3.13. Зміна тиску у контакті шини з ґрунтом (Bodendruck) при зміні тиску повітря у шині P_i від 0,75 до 3 бар (Tiefe – глибина у ґрунті) [37].

Певну інформацію про вплив тиску повітря у шинах тракторів дає і дослідження [38], рис. 3.14, де представлено ущільнення ґрунту на глибині 20 та 40 см при тиску повітря у шинах від 0,8 до 1,6 бар.

У дослідженнях [39,40] представлено узагальнену номограму залежності тиску у ґрунті (на глибині 35 см - товщина орного шару) від тиску повітря у шині (по осі ординат – Reiffeninnendruck, bar) та навантаження на колесо (по осі абсцис – Radlast, т), рис. 3.15. Тиск у ґрунті (в кПа) представлено у вигляді ряду ізолій.

Від тиску повітря у шинах залежить і допустиме навантаження на колесо, що немаловажно для автомобілів для бездоріжжя . У дослідженні [41] представлена майже 1,5 – кратна зміна допустимого навантаження (Radlast) від зміни тиску повітря у шині (Reiffeninnendruck), рис. 3.16.

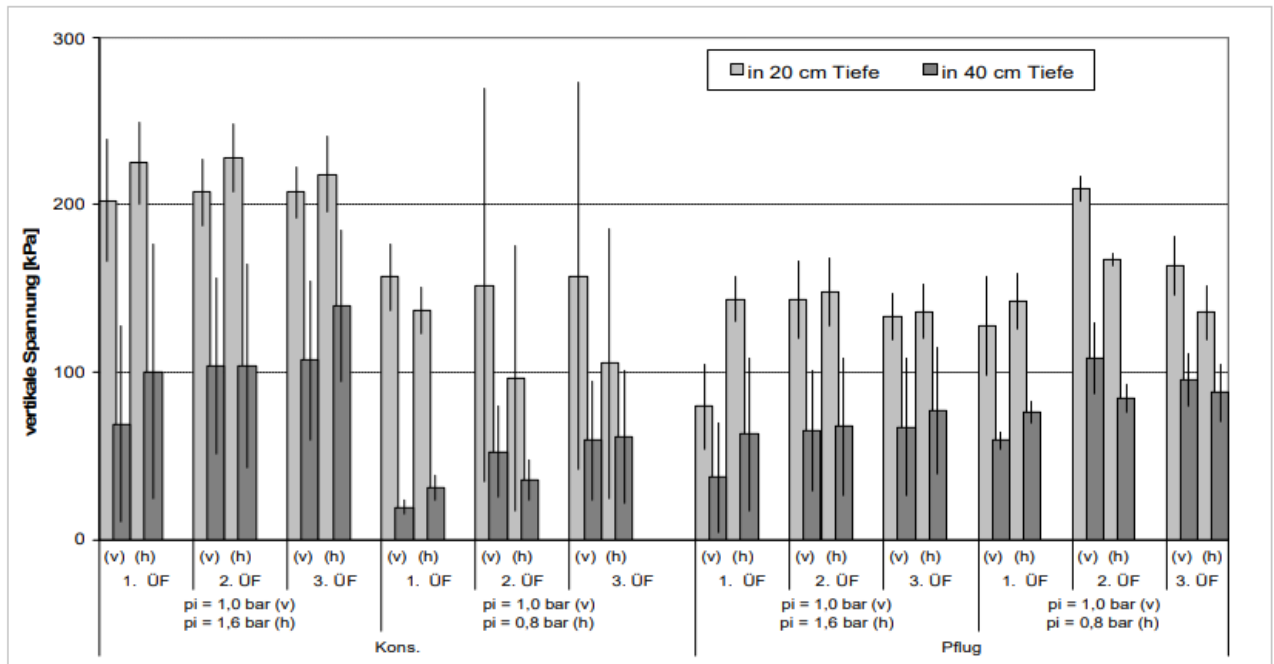


Рис. 3.14. Вплив тиску у шинах тракторів P_i на напруження – ущільнення ґрунту (кПа) на глибині 20 і 40 см [38]

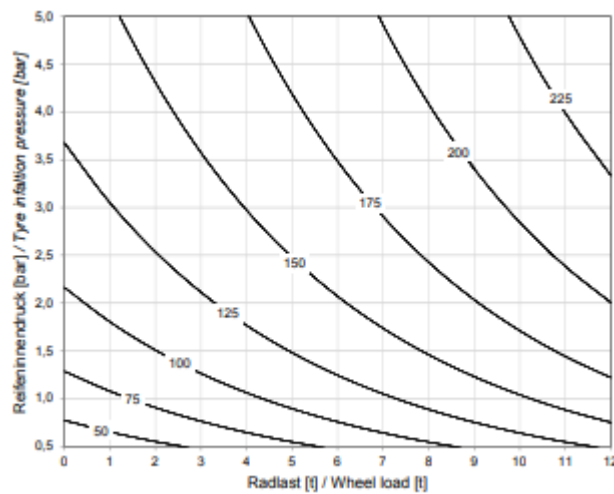


Рис.3.15. Номограма залежності тиску у ґрунті від тиску повітря у шині та навантаження на колесо [39,40].

Ці залежності підтверджено і виробником шин [42], що додатково надає і відповідне зменшення допустимих навантажень залежно від швидкості руху. Останнє досягає 1,5-1,7 кратного зменшення при зростанні швидкості руху з 10 км/год до 40 км/год, рис. 3.17.

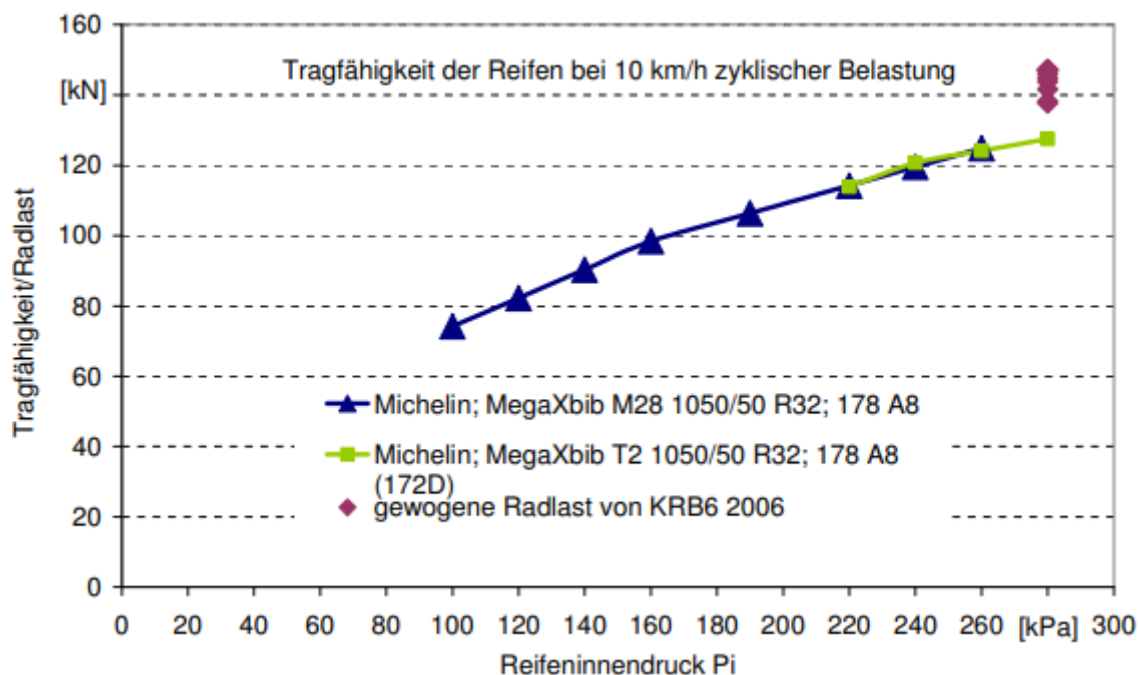


Рис.3.16. Зміна максимально допустимого навантаження на шину (Radlast) від тиску повітря у шині (Reifeninnendruck) [41].

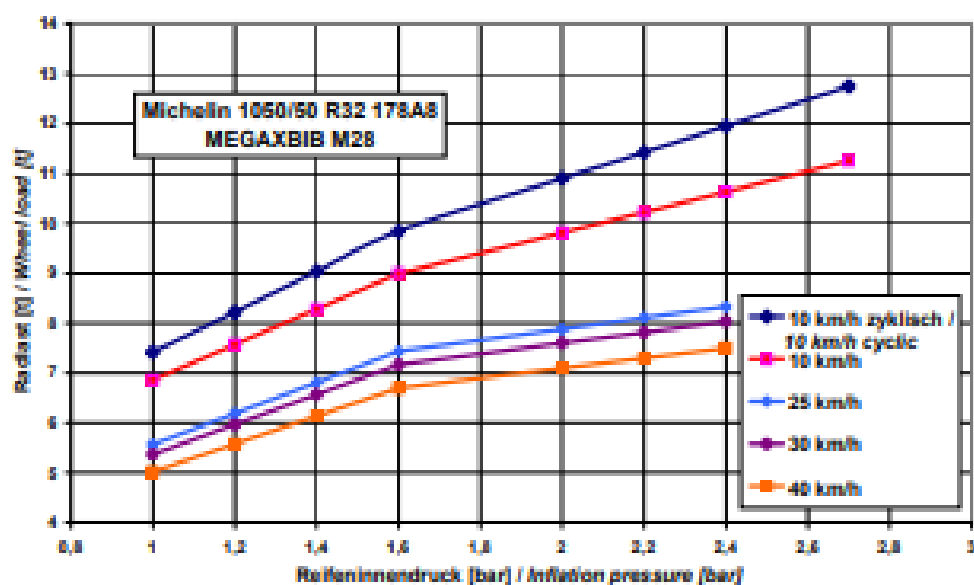


Рис.3.17. Зміна максимально допустимого навантаження на шину (Radlast) від тиску повітря у шині (Reifeninnendruck) для різних швидкостей руху (за даними виробника шин [42]).

ВИСНОВОК

Зменшення – регулювання тиску повітря у шинах є найбільш розповсюдженим і оперативним засобом підвищення прохідності повнопривідних автомобілів для бездоріжжя та зменшення шкідливого ущільнення ґрунту для колісної техніки в аграрній сфері використання.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Пожежна безпека.

Основними причинами загорянь на автотранспорті є:

- порушення герметизації комунікацій і загоряння пального та електромережі при контактуванні з поверхнями, що мають високі робочі температури (вихлопні колектори, глушники, опалювачі);
- займання палива в результаті потрапляння іскри, що виникла при ударі сталених деталей, при пошкодженні кузова автомобіля в момент аварії;
- займання палива від потрапляння іскри розряду статичної електрики;
- займання горючих конструктивних матеріалів і палива через несправності електрообладнання (коротке замикання, порушені контакти тощо);
- несправності в системах живлення чи запалювання автомобілів.

Електрообладнання автомобілів потрібно утримувати в технічно справному стані. Іскріння контактів, яке може призвести до загоряння, треба негайно усувати. Особливу увагу слід приділяти стану ізоляції електропроводів, справності приладів запалювання, освітлення й сигналізації.

За пожежну безпеку автомобіля відповідає водій автомобіля або працівник, який ним керує.

Автомобіль укомплектований вогнегасником.

Щоб запобігти пожежі, заборонено:

- курити в автомобілі;
- ремонтувати паливну систему, коли працює двигун, увімкнене запалювання;
- залишати у салоні автомобіля або на двигуні забруднені оливою чи паливом використані обтиральні матеріали;
- підігрівати двигун та інші агрегати відкритим вогнем, а також користуватися ним у безпосередній близькості від приладів системи живлення двигуна;
- курити і користуватися відкритим вогнем під час визначення наявності палива у баку, а також під час заправлення автомобіля із додаткових ємностей;

- допускати, щоб на двигуні або його картері скупчувалися бруд, пальне, масло;
 - користуватися відкритим вогнем під час перевірки рівня електроліту в акумуляторній батареї та усунення несправностей механізмів;
 - зберігати і перевозити бензин та інші легкозаймисті рідини;
 - «прикурювати» свій або сторонній автомобіль;
 - залишати відкритими горловини паливних баків;
 - заряджати акумуляторну батарею у непристосованих для цього місцях;
 - мити або протирати бензином деталі чи агрегати, а також руки й одяг;
- зберігати в автомобілі паливо (бензин, дизельне паливо), за винятком палива в баку автомобіля.

Заправляти автомобіль паливом необхідно тоді, коли не працює двигун.

Заправляти автомобіль етилованим бензином потрібно з бензоколонки зі шлангом, забезпеченим роздавальним пістолетом. Заборонено заправляти автомобіль за допомогою відер, лійок тощо, а також відпускати бензин у пластикову тару (каністри). Заправник і працівник під час заправлення мають перебувати з навітряного боку автомобіля.

Якщо паливо потрапило на частини автомобіля, його необхідно витерти сухим ганчір'ям до пуску двигуна автомобіля.

У разі проливання палива на землю його необхідно засипати піском до пуску двигуна автомобіля.

Якщо сталося займання палива біля транспортного засобу, гасити його потрібно порошковим вогнегасником. Гасіння проводиться з плями проливу, послідовно переходьте знизу вгору на джерело виливання пального. Можна застосовувати, окрім порошкового, інші вогнегасники — наприклад, вуглекислотні, аерозольні.

4.4 Вимоги до комплектації автомобіля засобами пожежогасіння та складу аптечки для невідкладної медичної допомоги.

Постановою Кабінету Міністрів України від 10 жовтня 2001 р. № 1306 затверджено вимоги оснащення вогнегасниками та медичними аптечками колісних транспортних засобів.

Вантажний автомобіль загального, спеціалізованого та спеціального призначення з повною масою:

не більше 3,5 т

один порошковий (закачного типу ВП-3(з) або з газом- витискувачем балоні ВП-3) із зарядом вогнегасної речовини не менше 3 кг

від 3,5 т, але не більше 12 т (ГАЗ 53, КАЗ 4540)

один порошковий (закачного типу ВП-5(з) або з газом-витискувачем у балоні ВП-5) із зарядом вогнегасної речовини не менше 5 кг

понад 12 т

один порошковий (закачного типу ВП-9(з)) або з газом-витискувачем у балоні ВП-9) із зарядом вогнегасної речовини не менше 9 кг

Причіп, напівпричіп з повною масою:

один порошковий (закачного типу ВП-3(з) або з газом-витискувачем у балоні ВП-3) із зарядом вогнегасної речовини не менше 3 кг

Також в салоні автомобілів згідно наказу МОЗ України від 07.07.1998р. № 187 повинна аптечка з двома обов'язковими наборами:

(так званий аварійний) – для зупинки кровотечі, – експлуатаційний – для застосування при травмах.

Аварійний комплект призначений для надання першої медичної допомоги потерпілим внаслідок ДТП виключно в разі значних травм та ушкоджень.

Аварійний комплект забороняється відкривати, якщо першу медичну допомогу можливо надати тільки засобами експлуатаційного комплекту.

Склад аварійного комплекту:

- 1 джгут для зупинки кровотечі;
- 1 еластичний бинт (5 м x 10 см);
- 2 бинта марлевих стерильних (5 м x 10 см);
- 1 бинт марлевий стерильний бинт (7 м x 14 см);
- 1 бинт марлевий нестерильний (5 м x 5 см);
- 1 бинт марлевий нестерильний (7 м x 14 см);
- серветки з хлоргексидином (знеболювальні для відкритих ран або їхні заміники, 6 см x 10 см), 2 смужки на гелієвій основі (з антимікробною дією

полігексаметилен гуанідін гідрохлориду або замінники, 10 см х 50 см);

- 2 серветки з фурагіном (кровозупиняючі або його замінники, 6 см х 10 см);

- 6 серветок стерильних (6 см х 10 см);

1 пакет перев'язувальний стерильний.

- ножиці парамедичні (для розрізання бинтів, одягу, 19 см) – 1 шт.;

- блокнот із кульовою ручкою.

Експлуатаційний комплект призначений для надання першої медичної допомоги потерпілим внаслідок ДТП і в поточному режимі експлуатації транспортних засобів. Може комплектуватися водієм та є довільним (за винятком обов'язкових засобів). Він повинен зберігатися у відкритому поліетиленовому пакеті у футлярі аптечки поруч з аварійним комплектом.

Склад експлуатаційного комплекту:

- 1 косинка медична перев'язувальна з будь-якої тканини (50 см х 50 см);

- 1 гелієва пов'язка на випадок опіків.

Додаткові засоби

- 1 плівка (клапан) для проведення штучного вентилявання легень;

- рукавички медичні № 8 з поліетилену, комплект – 1 шт.;

- 1 термopростирadlo (160 см х 210 см);

- 1 пінцет анатомічний;

- булавки англійські – 2 шт.

У склад експлуатаційного комплекту входять рукавички медичні та плівка-клапан для проведення штучного вентилявання легенів.

Також повинні входити препарати, а саме:

- Розчин йоду 5%
- Антисептик
- мирамістин;
- хлоргексидин;
- препарати срібла;
- повідон-йод;
- етанол (70%);
- декаметоксин;

- перекис водню.
- Антибактеріальна мазь.
- Протиопікові засоби
- Засоби для пероральної регідратації
- Ентеросорбенти
- Нестероїдні протизапальні та жарознижувальні препарати.
- Антигістамінні препарати
- Судинозвужуючі препарати для носа
- Гліцеринові свічки.
- Препарати для серцево-судинної системи.
- Йод таблетований.
- Гормональні препарати.
- Протидіарейні препарати
- Седативні препарати

Загальними законами України, що визначають основні положення з охорони праці, є Конституція України, Кодекс законів про працю України та Закон України “Про охорону праці”. Конституція України постає як основний, головний закон держави, який регулює найважливіші з погляду держави суспільні відносини. До яких належать засади суспільного ладу й політики, правового становища особи, державного устрою, організації та діяльності органів держави.

Керівництво підприємств розробляють і затверджують власні положення, інструкції або інші нормативні акти про охорону праці, що діють в межах підприємства.

Відповідно до Рекомендацій Держнаглядохоронпраці до основних нормативних актів підприємства належать:

Положення про систему управління охороною праці на підприємстві.

Положення про службу охорони праці підприємства.

Положення про комісію з питань охорони праці підприємства.

Положення про роботу уповноважених трудового колективу з питань охорони праці.

Положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці.

Положення про організацію і проведення первинного та повторного інструктажів, а також пожежно-технічного мінімуму.

Наказ про порядок атестації робочих місць щодо їх відповідності нормативних актів про охорону праці.

Положення про організацію попереднього і періодичного медичних оглядів працівників.

Інструкції з охорони праці для працюючих за професіями і видами робіт.

Загальнооб'єктові та цехові інструкції про заходи пожежної безпеки.

Перелік робіт з підвищеною небезпекою.

Перелік посад посадових осіб підприємства, які зобов'язані проходити попередню і періодичну перевірку знань з охорони праці.

Наказ про порядок забезпечення працівників підприємства спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту. Виходячи із специфіки виробництва та вимог чинного законодавства власник затверджує нормативні акти із вищезазначеного списку та інші, що регламентують питання охорони праці.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В економічній частині проведена оцінка економії затрат на витрату дизельного палива при русі автомобіля підвищеної прохідності КамАЗ 4310 з усталеною швидкістю 20 км/год на трьох типах бездоріжжя, табл.. 5.1.

Таблиця 5.1. Результати витрати палива автомобіля КамАЗ 4310 при русі різними типами бездоріжжя з різними схемами регулювання тиску повітря у шинах

Ділянка бездоріжжя (тип)	Витрата палива, л / 100 км		
	1	2	% зниження
Грунтова дорога, суглинок, вологості 35%	55,8	52,1	6,6
Зоране поле, суглинок, вологості 35%	56,2	53,1	4,8
Мокрий пісок	55,2	52,9	4,2

При цьому приймаємо поточну вартість дизпалива 60 грн / л при річному пробігу автомобіля 30 тис. км. Економія палива здійснюється за рахунок децентралізованого регулювання тиску повітря у шинах передньої та задніх осей (з збільшенням тиску в шинах задніх осей, що рухаються у колії передніх коліс з попередньо уже ущільненою опорною поверхнею, що дозволяє зменшити витрату енергії двигуна на кочіння коліс задніх осей).

- Для вологої суглинкової дороги:

Економія пального складає 3,7 л/100км (табл. 5.1)

Відповідно при пробігу 30 тис.км це становить

$3,7 \times 300 = 1110$ л, що при вартості 60 грн/л складе зменшення фінансових витрат на 66тис.600 грн.

- Для зораного поля пробіг логічно зменшити, принаймні до 1 тис. км

Економія пального складає 3,1 л/100км і відповідно зменшення фінансових витрат впродовж цього пробігу складе 9 тис.300 грн.

- Для руху зволоженою піщаною дорогою при економії 2,3 л/100 км на дистанції 30 тис. км це становитиме сумарно 690 л.

Відповідно зменшення фінансових витрат на 41 тис.400 грн.

Враховуючи незначне доопрацювання блоку регулювання тиску повітря у шинах (введення додаткового клапана з рукояткою в уже існуючу магістраль пневмосистеми) очевидна економічна ефективність і окупність таких конструктивних змін буквально в межах перших 10 тис. км пробігу бездоріжжям.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Крайник Л.В., Гребеник О.М., Грубель М.Г., Кохан В.Ф. Концептуальні основи формування типу і структури парку військової автомобільної техніки збройних сил. Ч.1. Аналіз і тенденції розвитку в зарубіжних арміях / Озброєння і військова техніка, № 1 (37), 2023, ЦНДІ ОВТ МОУ. – С. 31-39
2. Агейкин Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители / Москва, Машиностроение, 1972. – 184 с.
3. Методика определения потерь мощности на качение колёсного движителя с учётом типа трансмиссии и давления воздуха в шинах машины / Я. С. Агейкин, Н. С. Вольская, И. В. Чичекин, А. Э. Бабийчук / Журнал автомобильных инженеров. — 2013. — № 2. — С. 44–47.
4. Левенков Я.Ю., И. В. Чичекин А. Э. Бабийчук. Оценка влияния давления воздуха в шине на требуемую мощность для движения одиночного колеса по неровным деформируемым грунтовым поверхностям / Журнал автомобильных инженеров № 1 (108) 2018 - С. 20-23
5. Лепешкин А.В., Петров С.Е. Математическая модель взаимодействия эластичного колеса с деформируемой опорной поверхностью при установившемся прямолинейном качении / Матеріали 77-й МНТК ААІ «Автомобіле- і тракторостроєння в Росії: пріоритети розвитку і підготовка кадрів», Москва, 2019. – С. 141-149
6. ВАЗ 2121 «Нива» / [Електронний ресурс] Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ ВАЗ 2121 «Нива»](https://uk.wikipedia.org/wiki/ВАЗ_2121_«Нива»)
7. УАЗ 3151 / [Електронний ресурс] Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ УАЗ 3151](https://uk.wikipedia.org/wiki/УАЗ_3151)
8. КАЗ 4540 [Електронний ресурс] Режим доступу: [http:// nash-transport.com/truck/kaz-4540/](http://nash-transport.com/truck/kaz-4540/)
9. КрАЗ 5233 [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.autokraz.com.ua/downloads/catalogue.pdf>
10. КрАЗ 6322 / [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.autokraz.com.ua/downloads/catalogue.pdf>
11. КамАЗ 4310 / [Електронний ресурс] Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ КАМАЗ 4310](https://uk.wikipedia.org/wiki/КАМАЗ_4310)
12. Урал – 4320 / [Електронний ресурс] Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ УРАЛ 4320](https://uk.wikipedia.org/wiki/УРАЛ_4320)
13. Wong Y.J. Theory of ground vehicle /Mc-GrawHill Booh Comp., London – NewYork, 1993. – 423 p.
14. Gianpiero Mastinu, Manfred Ploechl Road and off-road Vehicles System dynamics Handbook // CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014. XIV, 1662 p.
15. Грубель М.Г., Крайник Л.В. Прохідність військових автомобілів. Монографія. Київ, Вид. дім „Професіонал”, 2023. – 184 с.

16. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. Москва, «Машиностроение», 1981 - 231с.
17. Петрушов В.А., Московкин В.В., Евграфов Ф.Н. Мощностной баланс автомобиля. Москва, «Машиностроение», 1984 - 160с.
18. Агейкин Я. С. Проходимость авто мобиля / Я. С. Агейкин, Н. С. Вольская, И. В. Чичекин. — Москва: МГИУ, 2010. — 275 с.
19. Ларин В. В. Теория движения полноприводных колёсных машин / Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. — 391 с.
20. Оценка и выбор пневматических шин регулируемого давления для армейских автомобилей / В.Н. Абрамов, М.П. Чистов, И.В. Веселов, А.А. Колтуков; Под ред. В.В. Шипилова. – ФГУП 21 НИИИ МО РФ, 2006.- 86 с.
21. ISO 22476-1:2012 Geotechnical investigation and testing. - Field testing. – Part 1: Electrical cone and piezocone test. – 28pp.
22. . Rowland, D., Peel, J. W. 1975. Soft ground performance prediction and assessment for wheeled and tracked vehicles. Institute of mechanical engineering, 1955, 205, P.81-92
23. . Freitag D.R. A dimensional analysis of the performance of the pneumatic tires on clay/ Journal of Terramechanics, 3(3), 1966, - P.51-68.
24. Freitag D.R. A proposed strength classification test for fine-grained soils/ Journal of terramechanics, 24(1), 1987, - P. 25-39.
25. . Turnage G.W. Using dimensloses prediction terms to descrahe off-road wheel vehicle performance// ASAE Paper №72-634., 1972, – 21 p.
26. . Scmid I.C. Interaction of vehicle and terrain results from 10 years reserch at IKK / Journal of Terramechanics, vol.32, №1, 1995, P..3-26.]
27. VDI- Richtlinie 6101. Maschineneinsatz unter Beruecksichtigung der Befahrbarkeit landwirtschaftlich genutzter Boeden. VDI Verlag. Duesseldorf. 2007. – 39S.
28. Красавин П.А., Острцов А.В., Рыжов М.А. Результаты экспериментальных исследований опорной проходимости полноприводных легковых автомобилей УАЗ-31514 и ВАЗ-21214 / Материалы международной научно-технической конференции ААИ « Автомобиле- и тракторострoение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ». Москва, МАМИ, – С. 96-101.
29. ГОСТ Р В 52395-2005. Шины пневматические с регулируемым давлением для военной техники. – М.: Издательство стандартов, 2005.

30. Острецов А.В., Есаков А.Е., Шарипов В.М. Сравнительная оценка опорной проходимости автомобилей КамАЗ-4350, КамАЗ-43114 и Урал-4320-31 на сыпучем песке / Известия МГТУ «МАМИ» № 1(19), 2014, т. 1. – С. 50-54
31. Michael Gysi, Fred Grunder. Zusammenhang zwischen Kontaktfläche und Pneuinnendruck / Agrarforschung , Н. 6, 1999. - S. 9-12
32. Inns F.M. und Kilgour J., 1978. Agricultural tyres. Dunlop, London.
33. Сивулька П. Порівняльний аналіз методик агроекологічної оцінки МТА в Україні/СНД та країнах ЄС // Вісник ЛНУП „Агроінженерні дослідження”, № 28, 2024р. – С.218-226
34. Сукач О.М, Сивулька П.М. Оцінка площі плями контакту шини на ґрунтових поверхнях / Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті , Науковий журнал ЛНТУ, Луцьк,.2025.№1 (24) – С.
35. Joachim Brunotte und Claus Sommer, Braunschweig, Edmund Isensee, Kiel, sowie Peter Weisskopf Der Boden unter Druck Abgesenkter Reifeninnendruck begrenzt die Bodenbelastung / 60 LANDTECHNIK 3/2005 – S. 50-51
36. Tijink, F. G. J. and van der Linden, J. P. (2000): Engineering approaches to prevent subsoil compaction in cropping systems with sugar beet./ Advances in Geoecology 32: S. 442 - 452.
37. Tijink, F. G. J. und Spoor, G. (2004): Technische Leitlinien zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtung ./ Zuckerindustrie 129/9. S. 647 – 652.
38. Bodendruck und Bodenbelastbarkeit. Abschlussbericht zum Projekt „Risikomanagement Bodengefüge“/ Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft Heft 15 - 10. Jahrgang 2005. – 138 S.
39. Matthias Stettler, Thomas Keller, Peter Weisskopf, Mathieu Lamandé, Poul Lassen und Per Schjønning \ Terranimo® – ein webbasiertes Modell zur Abschätzung des Bodenverdichtungsrisikos / Landtechnik 69(3), 2014 – S. 132-138
40. Schjønning, P. et al. (2012): Rules of thumb for minimizing subsoil compaction. / Soil Use and Management 28(3), pp. 378–393

41. AID Broschüre 2015: Gute fachliche Praxis - Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz / <http://shop.aid.de/3614/gute-fachliche-praxis-boden-bewirtschaftung-und-bodenschutz>

42. Michelin Reifenwerke (2009): Auf allen Feldern erfolgreich – mit Michelin. Produktprogramm Landwirtschaftsreifen, Nr. 10

43.. ДСТУ 12.1.004-01. ССБТ. Пожежна безпека. Загальні вимоги. Київ.Видавництво стандартів, 2002.

44. Постанова КМУ від 10 жовтня 2001 р. № 1306

45. Постанова КМУ від 8 жовтня 1997 р. № 1128

46. Наказ МОЗ України від 07.07.1998 р. № 187 «Про затвердження переліків лікарських засобів у медичних аптечках транспортних засобів»

48. Лехман С.Д., Целинський В.П., Козирєв С.М. Довідник з охорони праці в сільському господарстві: Запитання і відповіді. Київ: Урожай, 1998. 400с.

49. Лехман С. Д., Рубльов В. І., Рябцев Б. І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ: Урожай, 2008. 267с.