

# ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ЕФЕКТИВНЕ МАШИНОВИКОРИСТАННЯ В АГРОІНЖЕНЕРІЇ

УДК 629.373.3-3.032.26

## ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗДІЛЬНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ В ШИНАХ З УМОВ ПРОХІДНОСТІ ТА МОБІЛЬНОСТІ РУХУ БЕЗДОРІЖЖЯМ

**Віталій Хома, аспірант**

*Львівський національний університет природокористування,  
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна,  
e-mail: homa.v@hotmail.com*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.022>

### **Хома В. Ефективність роздільного регулювання тиску в шинах з умов прохідності та мобільності руху бездоріжжям**

У статті розглядається проблема підвищення ефективності повнопривідних автомобілів підвищеної і високої прохідності за допомогою оптимального регулювання тиску повітря в шинах. Система регулювання тиску повітря в шинах забезпечує «адаптацію» коліс до різних фізико-механічних властивостей опорної поверхні, що зменшує глибину колії та збільшує площу поверхні контакту з ґрунтом. Проте використання систем, що встановлюють однакові значення тиску повітря в шинах всіх коліс, не дозволяє оптимізувати тиск залежно від фізико-механічних властивостей опорної поверхні та навантаження на колеса. Таким чином, пропонуємо застосування систем, що дозволяють регулювати тиск повітря в шинах окремо для кожного колеса, що забезпечить підвищення ефективності колісних машин. Досліджено вплив цього чинника на опорну прохідність і вказано на його значущість. Зазначено, що зі зміною тиску повітря в шинах і кожним новим проходом колеса по опорній поверхні фізико-механічні характеристики ґрунту змінюються. Актуальним залишається питання формування єдиної закінченої методики оцінки прохідності колісних транспортних засобів та алгоритмів вибору основних конструктивних параметрів. Розглянуто підходи до моделювання процесу руху автомобіля на деформованій опорній поверхні з урахуванням змін фізико-механічних характеристик ґрунту. Дослідження виявили, що зниження тиску повітря в шинах може покращити параметри опорної прохідності на деформованому покритті, але результати залежать від типу ґрунту, розмірів рушія та нормальних середніх тисків. Використовуючи імітаційну модель руху КМ бездоріжжям, опрацьовану в MATLAB Simulink, було отримано значення максимально можливих швидкостей руху бездоріжжям, що демонструють достатню адекватність з експериментальними дослідженнями щодо автомобілів підвищеної прохідності, але потребують додаткових експериментальних досліджень та оцінки рівня адекватності. Отримані результати є основою параметричної оптимізації системи розподілу тиску в шинах повнопривідних автомобілів.

**Ключові слова:** повний привід, ефективність, роздільне регулювання тиску, прохідність, опорна поверхня.

### **Khoma V. Efficiency of differential pressure regulation in tires under conditions of off-road passability and mobility**

The article discusses the problem of increasing the efficiency of full-drive high-passability vehicles by optimizing the air pressure in tires. The tire pressure control system provides "adaptation" of the wheels to the different physical and mechanical properties of the supporting surface, which reduces the depth of the track and increases the contact surface area with the ground. However, using systems that set the same air pressure values in the tires of all wheels does not allow for optimizing the pressure depending on the physical and mechanical properties of the supporting surface and the load on the wheels. Therefore, the author proposes to use the systems that allow for separately regulating the air pressure in the tires of each wheel, which will increase the efficiency of wheeled vehicles. The impact of this factor on the load-carrying capacity is examined and its significance is indicated. It is noted that with a change in tire pressure and each new pass of the wheel over the supporting surface, the physical and mechanical characteristics of the ground change. The question of forming a unified complete methodology for evaluating the passability of wheeled vehicles and selecting the main design parameters remains relevant. Approaches to modeling the process of vehicle movement on a deformed supporting surface with consideration of the changes in the physical and mechanical characteristics of the soil are considered. The research found that reducing tire pressure can improve the load-carrying capacity parameters on a deformed surface, but the results depend on the type of soil, the size of the vehicle, and the normal average pressures. Using a MATLAB Simulink-based off-road vehicle simulation model, the author obtained values for the maximum possible off-road speeds, which demonstrate sufficient adequacy with experimental studies on high-passability vehicles, but require additional experimental research and adequacy assessment. The obtained results serve as the basis for the parametric optimization of the tire pressure distribution system in full-drive vehicles.

**Key words:** full drive, efficiency, separate pressure regulation, permeability, supporting surface.

**Постановка проблеми.** Сучасні повнопривідні автомобілі підвищеної і високої прохідності оснащені системою регулювання тиску повітря в шинах, яка забезпечує «адаптацію» коліс до різних фізико-механічних властивостей опорної поверхні (ОП). При зниженні тиску повітря в шинах зменшується тиск на ґрунт, збільшується площа поверхні контакту, зменшується глибина колії, але збільшується деформація шини, збільшуються витрати енергії на внутрішнє тертя в оболонці шини, зменшується допустима швидкість нагрівання шин, знижується термін служби шини. Тому залежно від фізико-механічних властивостей ОП вибирається оптимальний тиск повітря в шинах. Сьогодні застосовуються системи регулювання тиску повітря в шинах, що встановлюють однакові значення тиску повітря в шинах всіх коліс. Однак умови взаємодії з ґрунтом у різних коліс різні через властивості ОП і різне навантаження на колеса. На більшості ОП колеса другої і наступних осей рухаються по зміненому впливом передніх коліс ґрунту (найчастіше зі збільшеною щільністю і зменшеною товщиною шару м'якого ґрунту). У результаті цього деформація шин і радіуси кочення в передніх і задніх коліс виходять різними. До цього додаються ще різні навантаження на колеса. Забезпечення оптимальних для кожного колеса тисків повітря в шинах може бути одним із способів підвищення ефективності колісних машин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Можливість автомобіля рухатися бездоріжжям або розмоклою ґрунтовою чи сухою піщаною поверхнею залежить значним чином від характеристик і конструкції шин. Поряд з геометричними розмірами (діаметр і ширина, рисунок та глибина протектора) можливість регулювання тиску повітря в шині є визначальним чинником у цьому плані. Особливе місце процесу регулювання тиску повітря в шинах та його вплив на опорну прохідність акцентуються багатьма вченими. Актуальним залишається питання формування єдиної закінченої методики оцінки прохідності колісних машин (КМ), а також алгоритмів вибору основних конструктивних параметрів. Проведенню наукових досліджень та пошуку рішень існуючих проблем, вивченню аспектів опорної прохідності КМ, а також пов'язаним із ними питанням теорії кочення колеса по ОП присвячено велику кількість праць. Особливий інтерес становлять праці В. Ю. Усікова, Я. С. Агейкіна, М. Ф. Кошарного, В. В. Ларіна, М. G. Bekker, Z. Janosi, A. R. Reese, J. Y. Wong та багатьох інших [1–13].

Математичне моделювання процесу взаємодії еластичного колеса з деформованим ґрунтовим покриттям є структурною частиною матема-

тичної моделі взаємодії шини з деформованою ОП. На сьогодні вироблено декілька підходів до опису процесу прямолінійного руху КМ з урахуванням черговості руху кожної осі та зміни фізико-механічних характеристик ґрунту ОП після чергового проходу окремого колеса. Враховувати характер змін фізико-механічних характеристик ґрунту за результатами проходів колеса через варіювання питомого опору ґрунту вдавлюванню та степеневого показника, що характеризує закон зміни опору ґрунту вдавлюванню, запропонував Н. Ф. Кошарний у праці [4].

Вивченню впливу конструктивних параметрів автомобіля (параметри ходової частини, число осей автомобіля, навантаження на колесо, характеристики підвіски, конструкція трансмісії, коефіцієнт опору коченню та коефіцієнт тяги, тиск повітря в шинах) на глибину утвореної колії приділив значну увагу Я. С. Агейкін [13]. У працях розглянуто досить широкий спектр конструктивних та експлуатаційних чинників, параметрів прохідності.

Науковець В. В. Ларін [5] сформулював загальні тенденції при зниженні тиску повітря в шинах з різними нормальними середніми тисками в плямі контакту, а саме:

- зниження витрат потужності та збільшення кута долання підйому на середньо- і сильно деформованих ґрунтах;
- зменшення впливу тиску повітря в шинах при збільшенні числа осей;
- зниження тиску повітря в шинах на слабдеформованих ґрунтах щодо оптимального значення збільшує витрати потужності, але дозволяє збільшити кут подоланого підйому.

Як виявив В. В. Ларін, кількісне покращання параметрів опорної прохідності при зміні тиску повітря в шинах залежить від низки чинників, а саме від типу ґрунту, розмірів рушія та нормальних середніх тисків, що визначають несучу здатність ґрунтової основи.

Усіма вищезазначеними авторами визнається значущість процесу регулювання тиску повітря в шинах, більшість із них приділяє цьому чиннику значну увагу у своїх дослідженнях впливу конструктивних чинників на прохідність КМ. Автори зазначають, що зі зміною тиску повітря в шинах і кожним новим проходом колеса по ОП, фізико-механічні характеристики ґрунту і товщина шару ґрунту, що деформується, змінюються. Незважаючи на загальновизнане величезне значення зміни тиску повітря в шинах при русі в умовах бездоріжжя, дуже мало уваги приділяється необхідності встановлення раціонального тиску повітря в кожному колесі залежно від типу ОП, навантаження, що припадає на колеса, та умов взаємодії колеса, що деформується, з ґрунтом.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є оцінка ефективності підвищення показників прохідності та мобільності (насамперед максимально можливої швидкості руху) повнопривідних автомобілів на бездоріжжі за допомогою роздільного регулювання тиску в шинах. Для досягнення мети поставлені такі завдання:

- розробка математичної моделі і дослідження мобільності повнопривідних автомобілів на бездоріжжі у взаємозв'язку з характеристиками автомобіля, тиском повітря в шинах та різними типами ОП;
- аналіз отриманих результатів і оцінка адекватності розробленої комп'ютерної моделі.

**Виклад основного матеріалу.** Відповідно до поставленого завдання опрацьована раніше структура алгоритму імітаційного моделювання руху автомобіля бездоріжжям у програмному

середовищі MATLAB Simulink [2; 3] потребує певних змін. Відповідно до вищезгаданого завдання було розроблено підсистему роздільного регулювання тиску в шинах, що дозволяє відтворити такі варіанти руху різними ОП:

- рух з мінімально допустимим тиском у шинах –  $p_0$ ;
- рух з номінальним тиском у шинах –  $p_w$ ;
- рух із різним тиском у шинах у такому співвідношенні:  $p_1 = 0,2p_w$ ,  $p_2 = 0,5p_w$ ,  $p_3 = 0,6p_w$ ,  $p_4 = 0,7p_w$ .

Максимально можлива швидкість руху визначалася для декількох зразків повнопривідної КМ, короткі технічні характеристики яких наведені в табл. 1, при русі трьома ділянками бездоріжжя (табл. 2). Результати моделювання подані на рис. 1.

**Таблиця 1.** Технічні характеристики повнопривідних КМ

**Table 1.** Technical specifications of all-wheel drive vehicles

Назва	Колісна схема	Маса, кг	Потужність двигуна, кВт	Шини	Мінімальний тиск в шинах $p_0$ , мПа	Максимальний тиск в шинах $p_w$ , мПа
КрАЗ 5233	4x4	12 000	265	530/75 R21	0,08	0,49
КрАЗ 6322	6x6	18 000	265	530/75 R21	0,08	0,49
БТР-4	8x8	24 000	460	365/80 R18	0,05	0,29

**Таблиця 2.** Фізико-механічні властивості досліджуваних ОП

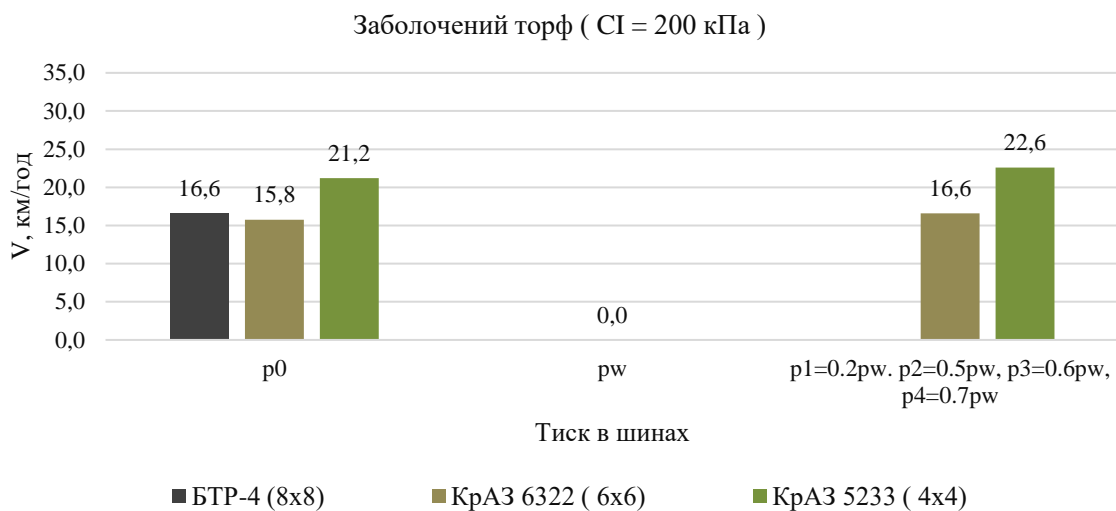
**Table 2.** Physical and mechanical properties of the investigated off-road sections

Ділянка	СІ, кПа
Заболочений торф	200
Сухий пісок	350
Пластичний суглинок	500

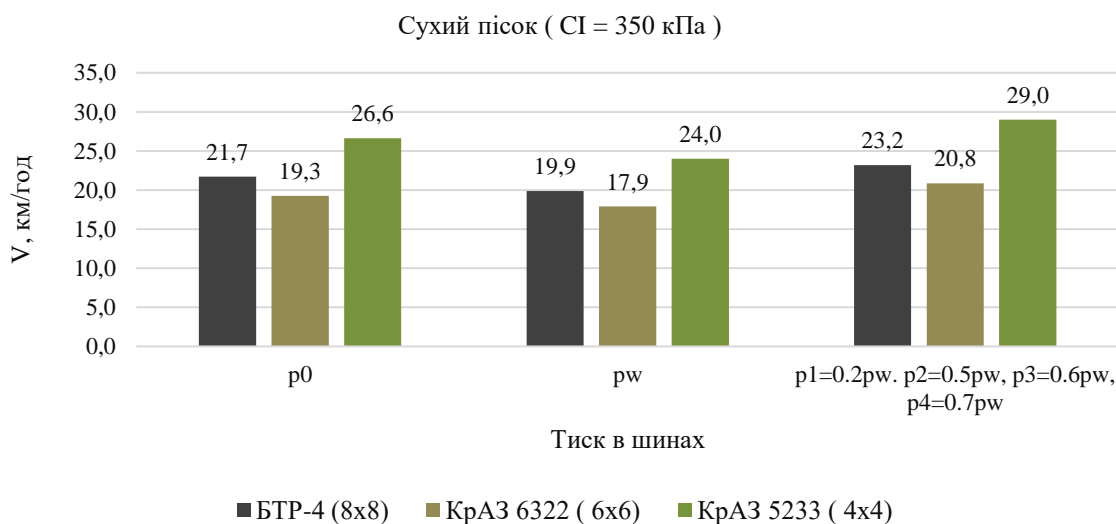
З метою якісної оцінки отриманих у процесі моделювання результатів (рис. 2), варто відзначити таке:

- стосовно мобільності роздільна система регулювання тиску демонструє стабільно вищу ефективність незалежно від типу ґрунту та колісної схеми, у той час як ефективність централізованої падає на 50 % при русі зв'язними ґрунтами;

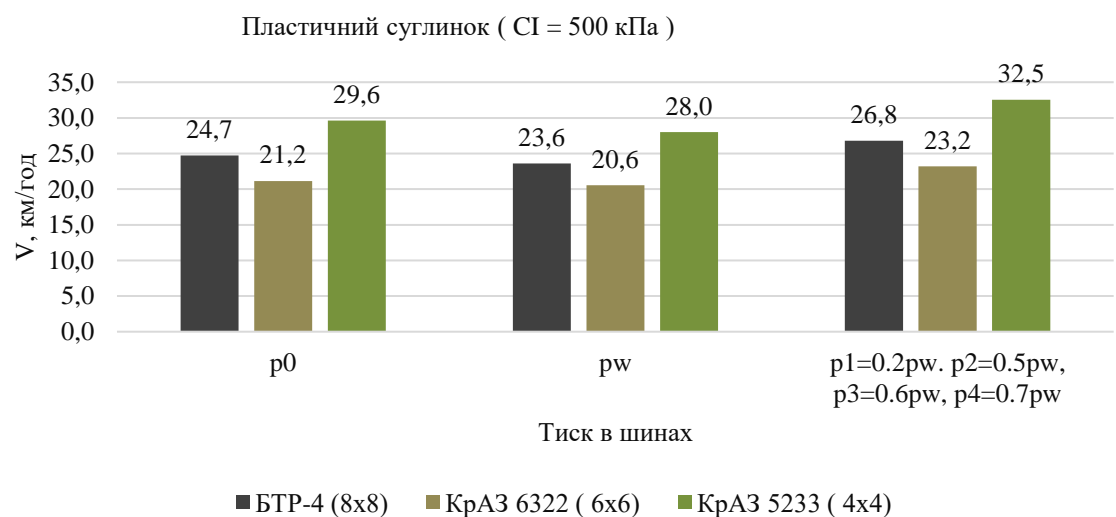
на заболочених ґрунтах обидві системи показали однакову ефективність, це пояснюється тим, що болото не ущільнюється і всі колеса рухаються в однакових умовах.



а)



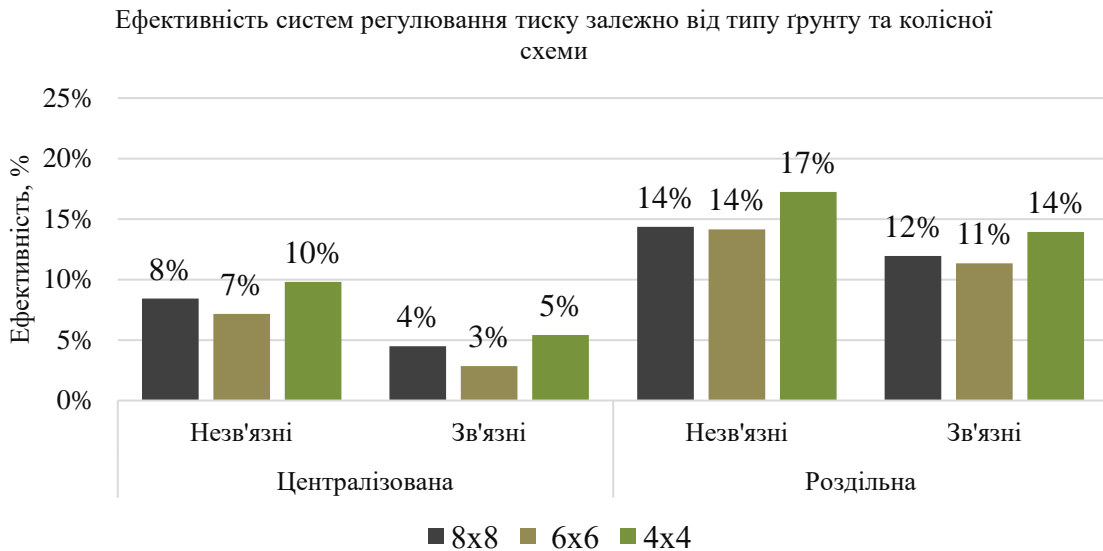
б)



в)

**Рис. 1.** Максимальна швидкість руху КМ: торфом (а), піском (б) та суглинком (в) за різного тиску в шинах

**Fig. 1.** Maximum speed of off-road movement of vehicles at different tire pressures



**Рис. 2.** Порівняльна оцінка ефективності систем регулювання тиску в шинах  
**Fig. 2.** Comparative evaluation of the effectiveness of the tire pressure regulation systems

**Висновки.** Отже, опрацьована в програмному середовищі MATLAB Simulink імітаційна модель руху КМ бездоріжжям з можливістю роздільного регулювання тиску в шинах дає змогу оцінити ефективність підвищення показників прохідності та мобільності повнопривідних автомобілів на бездоріжжі за допомогою роздільного регулювання тиску в шинах. Результати моделювання показали, що роздільна система регулювання тиску в шинах показала стабільно вищу на 50% ефективність порівняно з централізованою системою, незалежно від типу ґрунту та колісної схеми автомобілів. Отримані результати потребують, звичайно, відповідних експериментальних дослідів та оцінки рівня адекватності і є основою параметричної оптимізації системи розподілу тиску в шинах повнопривідних КМ.

#### Бібліографічний список

1. Агейкин Я. С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. Москва: Машиностроение, 1972. 184 с.
2. Грубель М. Г., Крайник Л. В., Хома В. В. Імітаційне моделювання руху колісної військової автомобільної техніки бездоріжжям та оцінка його адекватності. *Автошляховик України*. 2020. № 2. С. 21-28.
3. Грубель М. Г., Фтемов Ю. О., Хома В. В. Експериментальні дослідження параметрів опорної прохідності зразків колісної військової автомобільної техніки. *Системи озброєння та військова техніка*. 2019. № 4(60). С. 7-15.
4. Кошарный Н. Ф. Технично-эксплуатационные свойства автомобилей высокой проходимости. Киев: Вища шк., 1981. 208 с.

5. Ларин В. В. Методы прогнозирования и повышения опорной проходимости многоосных колесных машин на местности: дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2007. 419 с.
6. Усиков В. Ю. Повышение проходимости автомобилей многоцелевого назначения путем децентрализации регулирования давления воздуха в шинах: дис. ... канд. техн. наук. Челябинск: ЮУрГУ, 2015. 167 с.
7. Janosi Z., Hanamoto B. The analytical determination of drawbar pull as a function of slipfor tracked vehicles in deformable soils. *Jnt. Conf. On the mechanics of S-V Systems*, 1-st, 1961, Report № 44.
8. Jo-Yung-Wong J., Reece A. R. Soil failure beneath rigid wheels. *Proc. 2-nd Jnt. Conf. Jnt. Soc. For Terrain Vehicle Systems-University of Toronto Press*, 1966. P. 425-445.
9. Reece A. R. The shape of the form tractor. *Proc. Inst. Mech. Engrs*. 1969-1970. Vol.184, part 3Q. P. 45-77.
10. Wong J. Y. Data processing methodology in the characterization of the mechanical properties of terrain. *Journal of Terramechanics*. 1980. Vol. 17, № 1. P. 13.
11. Wong J. Y. Optimization of the tractive performance of four wheel-drive off-road vehicles. *SAE Transactions*. 1970. Vol. 79, Pap. 700723. P. 23-65.
12. Wong J. Y., Reece A. R. Prediction of rigid wheel performance based on the analysis of soil-wheel stresses. *Journal of Terramechanics*. 1967. Vol. 4, № 2. P. 7-25.
13. Wong Y. J. Theory of ground vehicle London. London; NewYork: Mc-GrawHill Booh Comp., 1993. 423 с.

Стаття надійшла 09.05.2023