

**Ребров О.Ю.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗДВОЮВАННЯ ТРАКТОРНИХ ШИН

*Один з відомих способів зменшити негативний ефект ущільнення ґрунту – це використання здвоєних тракторних шин. Слід зазначити, що здвоєння шин використовується лише для зниження максимального тиску на ґрунт, а не для збільшення тяги трактора. Особливо актуальною є проблема обґрунтування рівня тиску в шинах під час використання в одинарному та здвоєному варіантах, оскільки в обох випадках шина повинна бути максимально безпечною для навколишнього середовища.*

*Впровадження якісного обробітку ґрунту колісним трактором, особливо навесні, з виконанням агроєкологічних вимог вимагає значного зниження максимального тиску ґрунту, що зумовлює використання здвоєних шин. Найпростіший спосіб досягти цього – здвоїти штатні шини, якими обладнаний трактор, щоб знизити тиск на ґрунт до прийняттого рівня. Але ефективність такого рішення сумнівна, оскільки в такому разі, коли трактор працює з одинарними шинами, рівень його ущільнюючого впливу на ґрунт повинен бути занадто високим, що неприпустимо. З іншого боку, якщо трактор з одинарними шинами має досить прийнятний рівень тиску на ґрунт в літньо-осінній період, то ефективність здвоєння штатних шин для задоволення жорстких агроєкологічних вимог навесні є сумнівною.*

*З огляду на це у статті розглядається питання аналізу ефективності здвоєння саме штатних шин для виконання вимог агроєкології та зниження максимального тиску на ґрунт до прийняттого рівня. Ефективність використання здвоєних шин визначалася з урахуванням вимог і норм дії ходових систем на ґрунт, а також ґрунтово-кліматичних умов України. Встановлено низьку ефективність здвоєння штатних шин, якими обладнаний трактор. Для здвоєння рекомендується використовувати інший комплект шин, які можуть експлуатуватися при зниженому внутрішньому тиску (0,4 бар), що забезпечить кращі показники максимального тиску на ґрунт. Такі шини повинні бути обрані для використання при мінімально допустимому внутрішньому тиску (0,4 бар). Сьогодні найкращі зразки тракторних шин можна використовувати на двох третинах території України без порушення агроєкологічних вимог, а у разі здвоєного застосування – на 86–87%, що свідчить про необхідність використання гусеничних тракторів або змінних гусеничних рушіїв під час весняних польових робіт.*

**Ключові слова:** колісний трактор, тракторна шина, здвоювання шин, максимальний тиск на ґрунт, допустимий тиск на ґрунт.

**Постановка проблеми.** Висока врожайність сільськогосподарських культур та ефективність сільськогосподарського виробництва можливі у разі зниження негативного впливу колісних ходових систем на ґрунт та жорсткого дотримання агротехнічних вимог щодо максимального тиску на ґрунт.

Норми дії ходових систем мобільної сільськогосподарської техніки на ґрунт стали більш жорсткими з введенням Україною власного стандарту [1] (замість чинного у СРСР [2]).

Одним з відомих способів зниження негативного ущільнюючого впливу на ґрунт є використання здвоєних тракторних шин. Слід відзначити, що здвоювання шин використовується лише для зниження максимального тиску на ґрунт, а не для підвищення тягової ефективності трактора. Особливої уваги заслуговує питання обґрунтованого рівня тиску повітря в шині під час її використання в одинарному і здвоєному варіанті, оскільки в

обох випадках шина повинна бути максимально екологічно безпечною. З огляду на це аналіз ефективності використання шин, якими комплектується трактор, у здвоєному варіанті є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Позитивний досвід здвоювання тракторних шин і поліпшення стану ґрунту та зменшення його щільності описаний в роботі [3], де автори розглядають загальний стан ґрунтових ресурсів України. Під час аналізу роботи трактора на здвоєних шинах визначається його ефективність за параметрами опору коченню, буксуванню та мірою продуктивності [4]. Навесні для посівних агрегатів на базі колісних тракторів рекомендують застосовувати винятково здвоєні шини, бажано високоеластичні [5]. Так, за даними, що містяться у роботі [6], здвоювання шин 21,3R24 трактора серії Т-150 дало змогу знизити максимальний тиск на ґрунт на 20% (з 163,5 до 136,2 кПа). Впровадження здвоєних шин повинно розглядатися сукупно з

проблемами баластування колісних тракторів [7], забезпечення екологічності шин не тільки за максимальним тиском на ґрунт, але й допустимим буксуванням [8].

**Постановка завдання.** Реалізація колісним трактором якісного процесу обробітку ґрунту, особливо навесні, з виконанням агроекологічних вимог потребує суттєвого зниження максимального тиску на ґрунт, що передбачає застосування здвоєних шин. Найпростіший шлях досягнення цього – це здвоювання штатних шин, якими укомплектований трактор, для зниження тиску на ґрунт до прийнятного рівня. Але ефективність такого рішення є сумнівною, оскільки у такому разі під час експлуатації трактора з одинарними шинами рівень його ущільнюючого впливу на ґрунт має бути занадто високим, що є недопустимим. З іншого погляду, якщо трактор на одинарних шинах має досить прийнятний рівень тиску на ґрунт, скажімо, у літньо-осінній період, то ефективність здвоювання штатних шин для виконання жорсткіших агроекологічних вимог навесні є сумнівною. У статті розглядається питання аналізу ефективності здвоювання штатних тракторних шин з метою виконання агроекологічних вимог або зниження максимального тиску на ґрунт до прийнятного рівня.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Аналіз ефективності здвоювання шин проводився з використанням відомої математичної моделі [9–11], побудованої на універсальній навантажувальній характеристиці шин, що була підтверджена багаторазовими статичними випробуваннями.

Слід відзначити, що під час здвоювання шин допустиме радіальне навантаження на одну шину за відповідного тиску повітря знижується і становить 0,88 від допустимого навантаження для одинарної шини. У разі використання потроєних шин ця величина знижується до 0,82. Тиск повітря у всіх шинах однієї осі встановлюється однаковий (на відміну від більш ранніх рекомендацій, коли внутрішні шини повинні були мати внутрішній тиск більший на 20 кПа).

Приймемо припущення, що всі шини трактора мають радіальне навантаження, яке відповідає допустимому тиску повітря, хоча в експлуатації незалежно від компоновальної схеми шини мають бути навантажені на 85–100% від допустимих значень при правильно обраному внутрішньому тиску повітря. Це припущення дозволяє розглядати режими роботи шин на межі допустимих навантажень, тобто за лінійною характеристикою

відповідно до вимог стандарту [12] або даних виробника у вигляді таблиці «Внутрішній тиск – відповідне допустиме навантаження».

Оскільки контурна площа плями контакту шини з жорсткою опорною поверхнею і площа плями контакту з ґрунтом, що має відповідні фізико-механічні характеристики і гранулометричний склад, на режимах допустимих радіальних навантажень зберігаються постійними, а при менших навантаженнях знижуються, то у разі здвоєння площа плями контакту однієї шини буде меншою, ніж у одинарної. Це пояснюється тим, що здвоєна шина відповідно до прийнятого припущення має радіальне навантаження (допустиме) 0,88 від навантаження для одинарної шини. Зниження площі контакту шини практично збігається зі зниженням радіального навантаження і також становить близько 0,88.

Що стосується внутрішнього тиску повітря, то більшість світових виробників обмежує мінімально допустимий тиск при роботі одинарної шини зі значним крутним моментом на рівні 60–80 кПа ( $\approx 0,6\text{--}0,8$  кг/см<sup>2</sup>). Для здвоєних шин під час роботи зі значним крутним моментом значення мінімально допустимого тиску, як правило, становить 40–60 кПа ( $\approx 0,4\text{--}0,6$  кг/см<sup>2</sup>). Це суттєво поліпшує екологічність здвоєних шин, оскільки, за інформацією світових виробників шин, середній тиск на ґрунт можна оцінити як величину, що на 14–21 кПа (2–3 psi) вища, ніж внутрішній тиск повітря. Відповідно до стандарту [13] розрахунковий максимальний тиск на ґрунт тракторної шини в 1,5 вищий за середній тиск. Тобто зниження мінімально допустимого внутрішнього тиску в здвоєній шині на 20 кПа порівняно з одинарною дає змогу знизити максимальний тиск на ґрунт на величину, що є не меншою ніж 26–27 кПа, за умови роботи шин у обох випадках за мінімально допустимого тиску повітря.

Якщо задатися варіюванням радіального навантаження на одинарну шину в межах ( $Q_{\min}$ ,  $Q_{\max}$ ), тобто від максимально допустимого навантаження при мінімально допустимому тиску повітря  $p_{\text{ш.мін}}$  до максимально допустимого навантаження при максимально допустимому тиску  $p_{\text{ш.макс}}$ , то необхідний поточний тиск повітря можна визначити такою залежністю:

$$p_{\text{ш.о}} = (Q_{\text{ш}} - Q_{\min}) \cdot \left( \frac{p_{\text{ш.макс}} - p_{\text{ш.мін}}}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right) + p_{\text{ш.мін}}, \quad (1)$$

де  $Q_{\text{ш}}$  – поточне значення радіального навантаження на одинарну шину.

Для здвоєної шини поточне навантаження буде удвічі меншим, ніж у одинарної, тому необхідний тиск визначається такою залежністю:

$$p_{ш.з} = \left( \frac{Q_{ш}}{2 \cdot 0,88} - Q_{\min} \right) \cdot \left( \frac{p_{ш.\max} - p_{ш.\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}} \right) + p_{ш.\min} \quad (2)$$

Якщо розрахований за формулою (2) тиск повітря менший за мінімально допустимий для здвоєних шин, то він вважається рівним мінімально допустимому.

Для оцінки ефективності здвоювання штатних тракторних шин скористаємось роботою [14], де запропоновано методику оцінки впливу на ґрунт ходових систем колісних тракторів згідно зі встановленим розподілом на території України допустимого тиску на ґрунт колісних тракторів, а також відповідно до вимог стандарту та особливостей ґрунто-кліматичних умов і фактичних середньобагаторічних параметрів вмісту вологи в ріллі в середньобагаторічні терміни проведення робіт під час підготовки ґрунту для посіву ранніх ярових культур навесні та під озиму пшеницю в літньо-осінній період.

Для вирішення поставленої задачі введемо коефіцієнт, що характеризує навантаження шини:

$$k_n = \frac{Q_{ш}}{Q_{д}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де  $Q_{д}$  – допустиме навантаження на шину при відповідному внутрішньому тиску повітря.

Для прикладу розглянемо шину 23,1R26 Rosava 153(A8), якою штатно комплектуються трактори лінійки ВАТ «Харківський тракторний завод».

Аналіз показує, що під час експлуатації одинарної шини 23,1R26 за максимально допустимого навантаження на лінії  $A_1B_1$  (рис. 1,  $k_n = 100\%$ ) максимальний тиск на ґрунт  $q_{\max}$  становить 140–212 кПа

при внутрішньому тиску повітря 0,6–1,6 бар. У разі здвоювання даної шини та експлуатації за максимально допустимого навантаження на лінії  $A_2B_2$  (рис. 1,  $k_n = 88\%$ ) максимальний тиск на ґрунт  $q_{\max}$  становить 138–208 кПа при внутрішньому тиску повітря 0,6–1,6 бар.

Слід відзначити, що здебільшого саме внутрішній тиск повітря в шині визначає максимальний тиск на ґрунт, а радіальне навантаження – меншою мірою. Але у разі збільшення навантаження необхідно підвищувати внутрішній тиск у шині, що призведе до підвищення тиску на ґрунт.

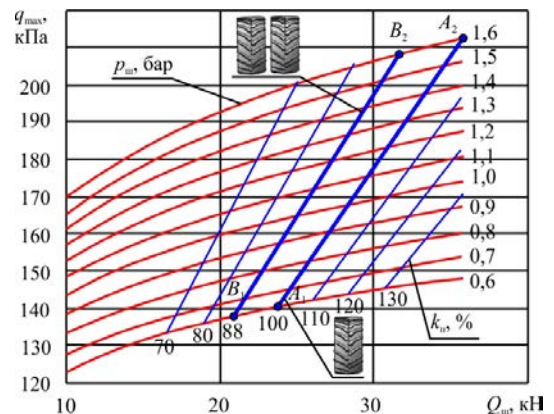


Рис. 1. Характеристика шини 23,1R26 Rosava 153(A8)

Якщо, наприклад, одинарна шина 23,1R26 Rosava 153(A8) експлуатується з радіальним навантаженням 24,5–29,5 кН (при масі трактора 9800 кг) з тиском повітря 1,1 бар, то максимальний тиск на ґрунт становить 170–175 кПа (рис. 1). У разі здвоювання радіальне навантаження буде становити 14,5–12,5 кН, внутрішній тиск можна буде знизити до 0,6 бар, що забезпечить тиск на ґрунт 128–132 кПа.

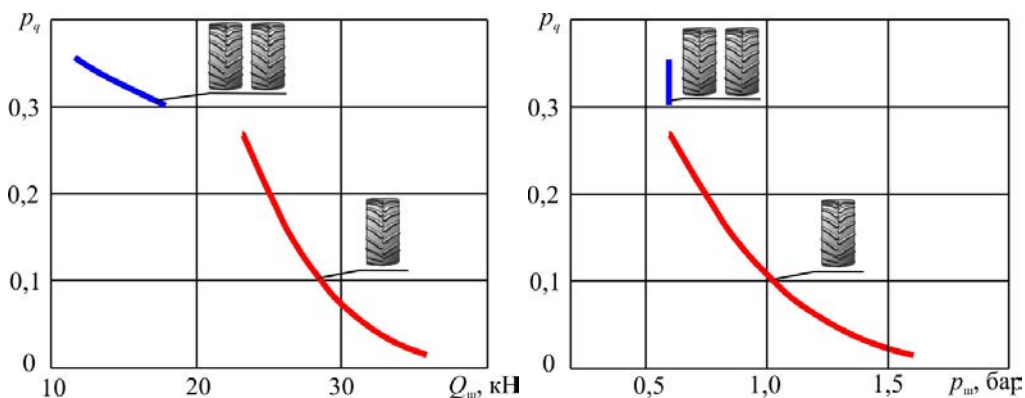


Рис. 2. Імовірність  $p_q$  виконання шиною 23,1R26 Rosava 153(A8) агроекологічних вимог на території України

Для аналізу екологічності й ефективності здвоювання шин була розрахована ймовірність ( $p_q$ ) виконання шиною агроекологічних вимог на території України [14] залежно від радіального навантаження і внутрішнього тиску для одинарної та здвоєної шини (рис. 2). Отримані дані свідчать про те, що одинарна шина 23,1R26 за зазначеного навантаження і внутрішнього тиску задовольняє агротехнічні вимоги з ймовірністю 0,07–0,08, тобто вона може експлуатуватися без порушення норм щодо максимального тиску на ґрунт на 7–8% території України, що неприпустимо.

У разі здвоювання за внутрішнього тиску 0,6 бар ймовірність  $p_q$  зростає до 0,325–0,345, тобто шина може експлуатуватися на третині території України, що набагато краще, але це не вирішує проблему екологічності. Якщо зменшити масу трактора з 9800 до 7600 кг, радіальне навантаження для одинарної шини становитиме 19–23 кН за внутрішнього тиску 0,6 бар, а ймовірність  $p_q$  зросте до 0,268. При здвоєнні та такому ж внутрішньому тиску ймовірність  $p_q$  зросте до 0,356. Отже, при масі трактора 7600 кг шина стає більш екологічно безпечною, але ефективність її здвоювання суттєво знижується. Приріст території, де вона може експлуатуватися, зростає на 8–9% проти 25–26% за маси трактора 9800 кг.

Розглянута шина не є екологічно безпечною, її використання повинно бути обмеженим відповідними ґрунтовими районами з високим значенням допустимого тиску в літньо-осінній період.

Оскільки технології виготовлення і конструкції сучасних тракторних шин постійно поліпшуються, рівень шкідливого впливу на ґрунт може бути значно меншим. Але ефективність здвоювання шин залежить від рівня зниження внутрішнього тиску, що є наслідком меншого радіального навантаження. У разі здвоювання штатних шин, якими комплектується трактор, досягається низька ефективність, якщо під час одинарного застосування шина може експлуатуватися з низьким внутрішнім тиском. Якщо одинарна штатна шина працює при високому внутрішньому тиску, тоді досягається висока ефективність здвоювання, хоча в такому разі одинарна шина практично не повинна експлуатуватися з екологічних міркувань.

Суттєвим резервом в підвищенні екологічності можуть бути шини, які передбачають нижчий вну-

трішній тиск (0,4 бар) саме для здвоєного застосування, хоча і в такому разі окреслені тенденції зберігаються.

Найкращі зразки тракторних сільськогосподарських шин сьогодні мають максимальний тиск на ґрунт 85 кПа при 0,6 бар та можуть експлуатуватися на двох третинах території України. У разі здвоєння максимальний тиск на ґрунт становитиме 60 кПа при 0,4 бар, що дає змогу застосовувати такі шини на 86–87% сільськогосподарських угідь без порушення агроекологічних вимог.

Проте очевидно, що колісні трактори навіть на здвоєних шинах не в змозі забезпечити екологічні норми (навесні) на більш як чверті території України. Вирішення цієї проблеми можливе у разі використання гусеничних тракторів або змінних гусеничних рушіїв.

**Висновки.** Здвоювання штатних шин, якими комплектується трактор, є малоефективним з погляду зниження ущільнюючого впливу на ґрунт, оскільки у разі правильного застосування одинарна шина працює з низьким внутрішнім тиском і не має резерву для зниження максимального тиску на ґрунт при здвоєванні. Якщо одинарна штатна шина працює при високому внутрішньому тиску, то досягається висока ефективність здвоювання, хоча в такому разі одинарна шина не повинна взагалі експлуатуватися з екологічних міркувань. Таким чином, та сама шина не може бути екологічно безпечною під час одинарного та здвоєного застосування. Для одинарного та здвоєного застосування повинні обґрунтовано обиратися різні шини.

Широкого вжитку повинні набути шини, які можуть експлуатуватися за нижчого внутрішнього тиску (0,4 бар) під час здвоєного застосування, що забезпечує кращі показники максимального тиску на ґрунт. Такі шини повинні обиратися саме для експлуатації за мінімально допустимого внутрішнього тиску (0,4 бар).

Найкращі зразки тракторних сільськогосподарських шин можуть експлуатуватися на двох третинах території України без порушення агроекологічних вимог, а при здвоєному застосуванні – на 86–87%, що свідчить про необхідність використання гусеничних тракторів або змінних гусеничних рушіїв під час проведення весняно-польових робіт.

#### Список літератури:

1. ДСТУ 4521:2006. Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт. Київ, 2007. 5 с.
2. ГОСТ 26955-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. Москва, 1987 5 с.

3. В.В. Медведев, Т.Н. Лактионова. Почвенно-технологическое районирование пахотных земель Украины. Харьков : Изд. «13 типография», 2007. 395с.
4. Злобин В.И. Повышение эффективности использования колёсного трактора класса 1,4 за счёт постановки сдвоенных колёс в сельскохозяйственном производстве Амурской области : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.20.01. Благовещенск. 2006. 23 с.
5. Орда А.Н., Гирейко Н.А., Слеш А.Б. Экологические аспекты формирования машинно-тракторных агрегатов. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2006. Вип. 1 (33). С. 240–245.
6. Русанов В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. Москва : ВИМ, 1998. 368с.
7. Надикто В.Т. Проблеми баластування колісних тракторів. *Техніка і технології АПК*. 2013. № 2. С. 7–9.
8. Надикто В.Т. Визначення максимального буксування колісних рушіїв з урахуванням обмеження їх тиску на ґрунт. *Техніка і технології АПК*. 2014. № 7 (58). С. 34–38.
9. Бидерман В.Л., Гуслицер Р.Л., Захаров С.П., Ненахов Б.В, Селезнев И.И., Цукерберг С.М. Автомобильные шины (конструкция, расчет, испытания, эксплуатация). Москва : Госхимиздат, 1963. 384с.
10. Ксеневиц И.П. Скотников В.А., Ляско М.И. Ходовая система – почва – урожай. Москва : Агропромиздат, 1985. 304 с.
11. Гуськов В.В. Тракторы: теория / под общ. ред. В.В. Гуськова. Москва : Машиностроение, 1988. 377 с.
12. ГОСТ 7463-2003. Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Технические условия. Москва, 2004. 25 с.
13. ДСТУ 4428:2005. Техніка сільськогосподарська мобільна. Методи визначення дії ходових систем на ґрунт. Київ, 2006. 8 с.
14. Ребров О.Ю. Розподіл допустимого тиску на ґрунт ходових систем колісних тракторів за територією України. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Математичне моделювання в техніці та технологіях»*. 2018. № 27 (1303). С. 110–116.

#### **Rebrov O.Yu. ANALYSIS OF TRACTOR DUAL TIRES EFFICIENCY**

*One of the known ways to reduce the negative sealing effect on the soil is to use dual tractor tires. It should be noted that tire doubling is used solely to reduce maximum soil pressure and not to increase tractor traction. Particularly noteworthy is the issue of a reasonable level of tire pressure when used in single and double variants, since in both cases the tire must be as environmentally safe as possible.*

*Implementation of a high-quality soil tillage with a wheeled tractor, especially in the spring, with the implementation of agro-environmental requirements, requires a significant reduction of the maximum soil pressure, which requires the use of dual tires. The easiest way to achieve this is to double the full-time tires that the tractor comes with to reduce soil pressure to an acceptable level. But the effectiveness of such a solution is doubtful, since in this case, when tractor operating with single tires, the level of its sealing effect on the soil must be too high, which is unacceptable. On the other hand, if a single tire tractor has a reasonably acceptable level of soil pressure in the summer-autumn period, then the effectiveness of doubling full-time tires to meet tougher agro-environmental requirements in the spring is doubtful.*

*In view of the above, this article addresses the issue of analyzing the efficiency of the doubling of full-time tractor tires in order to meet agro-environmental requirements or to reduce the maximum soil pressure to an acceptable level. The effectiveness of the use of dual tires was determined with taking into account the requirements of the standard of the running systems soil compaction norms, as well as the soil and climatic conditions of Ukraine. The low efficiency of the dual full-time tires with which the tractor is equipped is established. It is recommended to use a different set of tires for doubling. Tires that can be operated at a lower internal pressure (0.4 bar) with dual application should be widely used, providing better performance for maximum soil pressure. Such tires must be selected for use at a minimum permissible internal pressure of 0,4 bar. The best samples of tractor tires can be used in two thirds of the territory of Ukraine without violating the agro-environmental requirements, and in the case of dual application - by 86-87%, which indicates the need to use tracked tractors or conversion track systems for spring field work.*

**Key words:** *wheeled tractor, tractor tire, dual tires, maximum ground pressure, permissible ground pressure.*