

## ДО РОЗРАХУНКУ ТРАКТОРНО-ТРАНСПОРТНИХ АГРЕГАТІВ

*Встановлено зв'язок між номінальною вантажопідйомністю напівпричепів і навантаженням від них на причіпну скобу трактора. Викладені передумови вибору тиску повітря в шинах коліс трактора при агрегуванні з причепами.*

### Постановка проблеми

В аграрному виробництві тракторно-транспортні засоби перевозять понад 60 % сільськогосподарських вантажів. Ефективність використання тракторно-транспортних засобів значною мірою визначається їх комплектуванням, що пов'язано з відповідними розрахунками. При розрахунках складу тракторно-транспортних агрегатів за умови достатнього зчеплення ходового апарата з ґрунтом першопочатково

---

© А. С. Лімонт

визначають максимально допустиму загальну вагу буксированих причепів за потужністю двигуна трактора. У цьому випадку в розрахункову формулу підставляють значення номінальної дотичної сили тяги трактора на відповідній передачі. Якщо ж зчеплення рушіїв трактора з опорною поверхнею недостатнє, тобто коли сила зчеплення менша дотичної сили, то розрахунок максимально допустимої ваги причепів ведуть за силою зчеплення. Розраховуючи тракторно-транспортний агрегат, що має у своєму складі одновісний причеп (напівпричеп), силу зчеплення визначають за формулою [8]:

$$P_{зч} = \mu \left( G_{зг} + \frac{L_m + l_{np}}{L_m} G_{д.п} \right), \quad (1)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт зчеплення рушіїв з ґрунтом;

$G_{зг}$  – зчіпна вага трактора (навантаження на рушії), кН;

$L_m$  – поздовжня база трактора, м;

$l_{np}$  – відстань від точки приєднання причепа до вертикальної площини, що проходить через геометричну вісь кочення задніх коліс трактора, м;

$G_{д.п}$  – навантаження (частина ваги напівпричепа) від напівпричепа на причіпну скобу трактора, кН.

Навантаження на причіпну скобу трактора зумовлено тим, що в напівпричіпних машинах центр тяжіння знаходиться між віссю їхніх коліс і петлею дишла, а це спричинює передачі частини навантаження через петлю на гак трактора і призводить до довантаження задньої осі трактора та перерозподілу навантаження його мостів, викликаючи порушення керованості трактором [3].

При недостатньому зчепленні зчіпну вагу колісних тракторів з одним ведучим мостом рекомендують [7] визначати за формулою:

$$G_{зг} = \frac{G(L_m - l_{цм}) \cos \alpha}{L_m - \mu r_k}, \quad (2)$$

де  $G$  – експлуатаційна вага трактора, кН;

$l_{цм}$  – відстань від центра тяжіння трактора до вертикальної площини, що проходить через геометричну вісь кочення задніх коліс, м;

$\alpha$  – кут схилу місцевості, град (при значеннях схилу в межах  $7...10^\circ \cos \alpha \approx 1$ );

$r_k$  – радіус кочення ведучих коліс трактора, м.

Фактичне навантаження, що передається від одновісного причепа на причіпну скобу трактора, визначають експериментально зважуванням причепа. Для цього завантажений причеп причіпною скобою повинен обпирається на підпірку, установлену на платформі автомобільних ваг. При цьому колеса причепа мають знаходитися поза платформою, а висота підпірки дорівнювати відстані від землі до причіпної скоби.

Статичне фактичне вертикальне навантаження, що прикладене в центрі зріва зчіпного гака тягово-зчіпного пристрою трактора можна визначити і за допомогою динамометра ДПУ-5. Для цього гак динамометра чіпляють за петлю дишла напівпричепа, а сам динамометр – за гак відповідного підйомного крана [3].

Для одновісних причепів максимальне навантаження, кН, яке можна передати на причіпну скобу трактора, визначають за формулою [4]:

$$G_{д.пр}^{max} = \frac{L_m}{L_m + l_{np}} (2 G_{2ш.маx} - G_{2mm}), \quad (3)$$

де  $G_{2ш.маx}$  – максимально допустиме навантаження на шину заднього (ведучого) колеса трактора, кН;

$G_{2mm}$  – навантаження на задню ведучу вісь від експлуатаційної маси трактора, кН.

Максимально допустиме навантаження на шину визначають експериментально, але для з'ясування цього навантаження можна використати інформацію, що наведена у відповідних стандартах [5].

Експериментальне визначення навантаження, що передається від напівпричепа на причіпну скобу трактора, досить трудомістке. Тому зроблена спроба пошуку цього навантаження шляхом узагальнення наявного експериментального матеріалу та виявлення відповідних кореляційно-регресійних залежностей, що і визначило завдання досліджень.

### Результати досліджень

Кореляційний аналіз засвідчив, що між номінальною вантажопідйомністю причепів при її зміні в межах 2,0...9,0 т, та навантаженням, яке передається на причіпну скобу трактора, існує додатній кореляційний зв'язок. Так, коефіцієнт кореляції між номінальною вантажопідйомністю причепів і навантаженням, яке передається на причіпну скобу трактора, у випадку незавантажених причепів становить 0,999, в якщо причепа завантажені – то 0,998. Рівняння регресії, що інтерпретують кількісні закономірності зміни навантаження, яке передається на причіпну скобу трактора, залежно від вантажопідйомності причепів мають вигляд:

без вантажу в причепі –

$$G_{д.пр.бв} = 0,6q_{н.пр}, \quad (4)$$

а з вантажем –

$$G_{д.пр.зв} = 4,10 + 1,33q_{н.пр}, \quad (5)$$

де  $G_{д.пр.бв}$ ,  $G_{д.пр.зв}$  – навантаження, що передається на причіпну скобу трактора відповідно без вантажу в причепі і з вантажем, кН;  
 $q_{н.пр}$  – номінальна вантажопідйомність причепа, т.

Графіки зміни навантаження, що подані рівняннями (4) і (5), наведені на рис. 1. Порядок використання залежності, що подана рівнянням (5), такий.

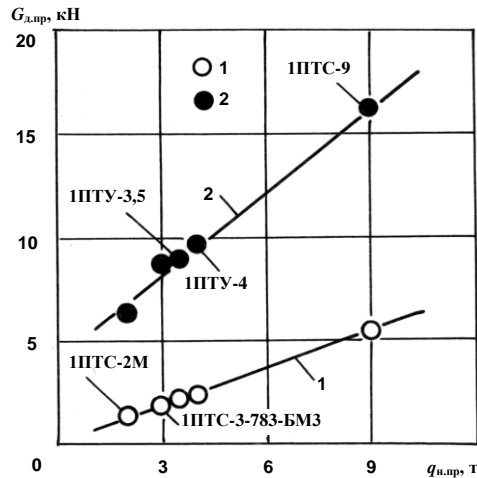


Рис. 1. Зміна навантаження  $G_{д.пр}$  (кН), що передається на причіпну скобу трактора, залежно від номінальної вантажопідйомності  $q_{н.пр}$  (т) причепа:  
1 – без вантажу в причепі  $G_{д.пр.бв}$ ; 2 – з вантажем в причепі  $G_{д.пр.зв}$

Визначають масу вантажу в причепі за формулою:

$$q_m = V_{к.пр} \rho_v \psi, \quad (6)$$

де  $q_m$  – маса вантажу в причепі, т;  
 $V_{к.пр}$  – місткість кузова причепа, м<sup>3</sup>;  
 $\rho_v$  – об'ємна маса вантажу, т/м<sup>3</sup>;  
 $\psi$  – коефіцієнт використання місткості кузова причепа.

Обчисливши масу  $q_m$  (т) вантажу в причепі, чисельне її значення підставляють у формулу (5) замість номінальної вантажопідйомності причепа і визначають навантаження  $G_{д.пр}$  від напівпричепа на причіпну скобу трактора.

Максимально допустиме навантаження на шину характеризує її найважливішу експлуатаційну властивість – вантажопідйомність. Вантажопідйомність шини визначають як допустиме нормальне навантаження при заданих внутрішньому тиску і швидкості. Для

сільськогосподарських шин нормують два найбільш важливих показники вантажопідйомності при максимально допустимих швидкостях: максимально допустиме нормальне навантаження на шину і тиск, що відповідає цьому навантаженню та мінімально допустимий тиск у шині і максимально навантаження на шину, що відповідає цьому тиску. Норми навантажень задають дискретно за зміною внутрішнього тиску через 0,01 МПа [2], а для метричних сільськогосподарських шин залежно від допустимих навантажень на них рекомендований такий ряд внутрішніх тисків: 100, 120, 140, 160, 200, 240, 280, 320, 360, 400 і 440 кПа [5]. Для забезпечення належних експлуатаційних показників у польових умовах за вимогами агротехніки тиск повітря в шині повинен бути по можливості більш низьким.

Тиск повітря в шинах найбільше впливає на геометричні параметри контакту шини з ґрунтом, характер колієутворення і в підсумку на коефіцієнти опору коченню та зчеплення шин на деформованих ґрунтах. З підвищенням вертикального навантаження на шину коефіцієнт зчеплення має тенденцію до зменшення. Незалежно від навантаження зниження тиску в шині до відповідного значення викликає значне зменшення коефіцієнта опору коченню, а при подальшому зниженні тиску – різке збільшення вказаного коефіцієнта. Із зниженням тиску в шині коефіцієнт зчеплення у більшості випадків значно зростає, що пов'язано зі збільшенням площі контакту [6].

Навантажувальний режим шин за тяговим опором агрегованих машин при відповідних швидкостях руху та нормальними навантаженнями на шини на транспортних роботах для тракторів „Беларусь” за даними праці [2] наведено в табл. 1. На підставі наведених даних, які є середніми статистичними, що характеризують усталений процес роботи, можна визначити комплексну навантаженість (від тягової сили і нормального навантаження) шин при виконанні транспортних операцій.

Таблиця 1. Нормальні навантаження на шини коліс тракторів „Беларусь” на транспортних роботах

Трактор	Швидкість руху, м/с	Тяговий опір, кН	Нормальне навантаження на шини коліс, кН	
			передніх	задніх
МТЗ-80	2...6	8,3	4,9	16
МТЗ-82	2...6	8,3	6,21	15,9
МТЗ-100	2...6,5	До 8,3	5,0	14,5

Крім силових факторів для роботи шин характерні і значні зміни швидкісного режиму. За даними тієї ж праці [2] робоча швидкість тракторно-транспортних агрегатів на полях змінюється в межах 3...12 км/год, а транспортна на ґрунтових дорогах – 15...25 км/год і на поліпшених – до 25 км/год.

Розрахунок вантажопідйомності шин здійснюють з використанням низки наближених формул, але найбільше поширення отримала формула Р. Хедекеля [2]:

$$G_{ш} = \pi p_w h_z \sqrt{b_{ш} D_{ш}}, \quad (7)$$

де  $G_{ш}$  – нормальне (радіальне) навантаження на шину, кН;

$p_w$  – внутрішній тиск повітря в шині, кН/м<sup>2</sup>;

$h_z$  – нормальна (радіальна) деформація (нормальний прогин) шини – комплексний показник навантаженості елементів конструкції шини, м;

$b_{ш}$  – ширина профілю шини, м;

$D_{ш}$  – вільний (зовнішній) діаметр шини, м.

Допустимі значення нормальних навантажень визначають з урахуванням показника нормального прогину  $h_z$ . Надмірне збільшення нормального прогину призводить до перевантаження конструкції шини та її передчасного руйнування. Тому відносне значення нормального вигину  $h_z/h_{ш}$  (тут  $h_{ш}$  – висота профілю шини) обмежують. Для кожного розміру шини існує гранична радіальна деформація, яка зумовлюється допустимим зниженням тиску повітря в ній. Так, для сільськогосподарських шин традиційної конструкції при рядових умовах експлуатації  $h_z/h_{ш}$  становить 15...19 % для діагональних і 17...20 % для радіальних шин [2].

Відомо, що шину вибирають за максимальним навантаженням для заданого (визначеного) внутрішнього тиску. Для задніх коліс це навантаження рекомендовано [1, 9, 10] визначати за формулою:

$$G_{2ш} = 0,5(G_{2шт} + G_{д.пр}) + \frac{P_{шт} h_{гак}}{L_m}, \quad (8)$$

де  $G_{2шт}$  – статичне навантаження, що приходить на задню вісь (навантаження від експлуатаційної маси трактора), кН;

$G_{д.пр}$  – довантаження задньої осі трактора від напівпричепа, кН;

$P_{шт}$  – номінальне тягове зусилля трактора, кН;

$h_{гак}$  – висота прикладання тягового зусилля над площиною кочення коліс, м.

Навантаження на задню ведучу вісь трактора від його експлуатаційної маси визначають за формулою:

$$G_{2шт} = G(L_m - l_{цм})/L_m, \quad (9)$$

а довантаження задньої осі від напівпричепа аналітично можна визначити так [12]:

$$G_{д.пр} = G_{пр} l_{цм} / L_{пр}, \quad (10)$$

де  $G_{пр}$  – вага напівпричепа з вантажем, кН;

$l_{цм}$  – поздовжня координата центра тяжіння напівпричепа (відстань від центра тяжіння напівпричепа до осі балансірної підвіски або до осі одновісного причепа), м;

$L_{пр}$  – поздовжня база напівпричепа (відстань від точки з'єднання напівпричепа з трактором до осі коліс напівпричепа), м.

Для орієнтовного визначення навантаження на шини задніх коліс трактора у формулу (8) замість номінального тягового зусилля слід ставити тяговий опір напівпричепа, який обчислюють за формулою:

$$R_{ат} = (G_{пр.х} + 10V_{к.пр} \rho_e \psi - G_{д.пр}) (f_{пр} \pm i), \quad (11)$$

де  $R_{ат}$  – тяговий опір напівпричепа, кН;

$G_{пр.х}$  – експлуатаційна вага напівпричепа, кН;

$f_{пр}$  – коефіцієнт опору ковчезненню напівпричепа;

$i$  – схил місцевості, соті частки одиниці.

За визначеним навантаженням на шину можна дійти висновку щодо внутрішнього тиску повітря в ній. На підставі інформації, що наведена у праці [11], побудовані графіки зміни внутрішнього тиску повітря в шині залежно від норми навантажень (рис. 2), а в табл. 2 наведені регресійні рівняння, які аналітично характеризують кількісну закономірність відшуканого зв'язку. За наведеними рівняннями, обчисливши за формулою (8) навантаження на шину, можна визначити який тиск повітря має бути в ній.

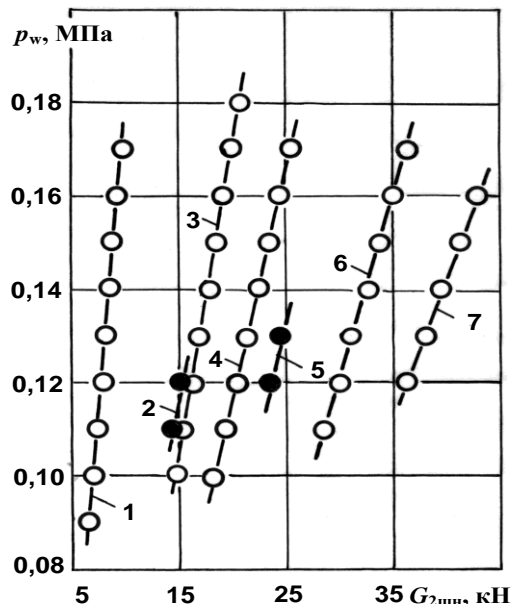


Рис. 2. Взаємозалежність норми навантажень  $G_{2шн}$  (кН) і тиску  $p_w$  (МПа) для нових шин задніх коліс тракторів при швидкості 30 км/год:

- 1 – трактори Т-25А, шини 240-813 (9,5-32); 2 – Т-40М, Т-40АМ, Т-40АНМ, шини 360-762 (14,9/13-30); 3 – МТЗ-80, МТЗ-82, ЮМЗ-6АЛ, шини 400-965 (15,5-38) Р; 4 – ХТЗ-120, ХТЗ-121, шини 16,9R38; 5 – МТЗ-80, МТЗ-82, шини 465-868 (18,4-34) R; 6 – Т-150КМ, шини 23,1R26; 7 – трактори К-701, шини 720-665 (28,1-26) Р

Таблиця 2. Регресійні рівняння зміни внутрішнього тиску  $p_w$  (МПа) в шині ведучих коліс трактора залежно від навантаження  $G_{2\text{шн}}$  (кН) на шину

Трактор	Шина	Рівняння регресії
T-25A	240–813(9,5–32)	$p_w = -0,078 + 0,026 G_{2\text{шн}}$
MT3-80, MT3-82, ЮМЗ-6АЛ	400–965(15,5–38)P	$p_w = -0,096 + 0,0134 G_{2\text{шн}}$
ХТЗ-120, ХТЗ-121	16,9R38	$p_w = -0,083 + 0,01 G_{2\text{шн}}$
T-150KM	23,1R26	$p_w = -0,1114 + 0,0078 G_{2\text{шн}}$
K-701	720–665(28,1–26)P	$p_w = -0,0985 + 0,006 G_{2\text{шн}}$

### Висновки

Визначено, що зв'язок між номінальною вантажопідйомністю напів-причепів та навантаженням від них на причіпну скобу трактора описується рівнянням лінійної регресії. З підвищенням вантажопідйомності причепів на 1 т при її зміні в межах 2...9 т навантаження на причіпну скобу трактора зростає на 1,33 кН. З підвищенням класу тракторів межа розсіювання регульованого тиску повітря в шинах ведучих (задніх) коліс звужується. Залежно від моделей шин та визначених норм навантажень на них з підвищенням навантаження на 1 кН внутрішній тиск повітря зростає в межах 0,006...0,026 МПа.

### Перспективи подальших досліджень

У подальшому слід визначити тиск повітря в шинах напрямних коліс тракторів.

### Література

1. Анилович В. Я., Водолажченко Ю. Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. Справ. пособ. – М.: Машиностроение, 1976. – 456 с.
2. Бойков В. П., Белковский В. Н. Шины для тракторов и сельскохозяйственных машин. – М.: Агропромиздат, 1988. – 240 с.
3. Горбенко І. Розрахунок навантаження на тягово-зчіпний пристрій трактора // Техніка АПК. – 2002. – № 10–11. – С. 21.
4. Діденко М. К. Експлуатація машинно-тракторного парку. – К.: Вища шк., 1983. – 447 с.
5. ДСТУ 3654–97 (ГОСТ 30238.2 – 98) (ISO 7867.2 – 1996). Шини та ободи (метричні серії) для сільськогосподарських тракторів і машин. Експлуатаційні характеристики та номінальні навантаження. – К.: Держстандарт України, 1999. – 9 с.
6. Кошарный Н. Ф., Хабатов Р. Ш. Экспериментально-теоретические предпосылки прогнозирования технико-эксплуатационных показателей работы пневмошин на деформируемых грунтах // Математические методы расчета на перспективу технико-экономических показателей



- мобильных сельскохозяйственных агрегатов. Вычислительный центр Госплана УССР. – К.: 1968. – Вып. 24. – С. 20–40.
7. *Пильщиков Л. М.* Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка. – М.: Колос, 1976. – 272 с.
  8. Пособие по эксплуатации машинно-тракторного парка / *Н. Э. Фере, В. З. Бубнов, А. В. Еленев, Л. М. Пильщиков.* – М.: Колос, 1978. – 256 с.
  9. Тракторы: Теория / *В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. А. Атаманов* и др.; Под ред. *В. В. Гуськова.* – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
  10. Тракторы. Ч. III. Конструирование и расчет / *В. В. Гуськов, И. П. Ксенович, Ю. Е. Атаманов., А. С. Солонский;* Под ред. *В. В. Гуськова.* – Минск: Вышэйш. шк., 1981. – 383 с.
  11. Ходовые системы тракторов: (Устройство, эксплуатация, ремонт): Справ. / *В. М. Забродский, А. М. Файнлейб, А. Н. Кутин* и др. – М.: Агропромиздат, 1986. – 271 с.
  12. *Чудаков Д. А.* Основы теории и расчета трактора и автомобиля. – М.: Колос, 1972. – 384 с.