

УДК 631.373:629.3.013

Лімонт А., канд. техн. наук, доц. (Житомирський агротехнічний коледж), Лімонт З. (Технічний ліцей при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту)

## Передумови навантажувального забезпечення перевезення вантажів тракторними причепами

Проаналізовано зміну висоти платформи тракторних причепів залежно від її об'єму та маси і номінальної вантажопідйомності транспортних засобів. Між висотою платформи, виміряною від землі до верхнього краю основних бортів, як результативною ознакою і прийнятими факторіальними ознаками виявлений додатний кореляційний зв'язок з коефіцієнтами кореляції в межах 0,625–0,829 за кореляційних відношень зі значеннями від 0,662 до 0,854. З'ясовано, що кількісна зміна висоти платформи залежно від маси і номінальної вантажопідйомності причепів та об'єму платформи описується рівняннями степеневих функцій, які сповільнено зростають. За асимптоту рівняння гіперболи, яка характеризує зміну висоти платформи залежно від маси транспортного засобу, гранична висота сягає 775 мм. Виявлені залежності можуть бути використані для вибору навантажувачів у транспортних процесах, які супроводжують виробництво сільськогосподарської продукції.

**Ключові слова:** тракторний причеп, маса, вантажопідйомність, висота платформи, об'єм, кореляція, навантажувач.

**Постановка проблеми.** На внутрішньогосподарських перевезеннях вантажів в аграрному виробництві широко застосовують тракторно-транспортні агрегати (ТТА) у складі тракторів відповідного класу і тракторних причепів визначеної вантажопідйомності. Належне функціонування й ефективність використання ТТА залежить від вибору навантажувача у складі навантажувально-транспортного комплексу (НТК). Вибираючи навантажувач, крім іншого, слід врахову-

вати його навантажувальну висоту та навантажувальну висоту і висоту платформи тракторного причепа, виміряну від землі до верхнього краю основних бортів. Проте в проблемі навантажувально-транспортного забезпечення механізованого виробництва сільськогосподарської продукції поки що є ще ціла низка нез'ясованих питань. Про деякі з них ітиме мова в цьому повідомленні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз

© Лімонт А., Лімонт З 2019

конструкцій фронтальних, фронтально-перекидних і грейферних навантажувачів виробництва Білорусі, Польщі [1] і Росії показав, що їхня навантажувальна висота коливається від 2320 до 4000 мм. Висота підняття вантажу навантажувачами «Sanderson» GX-525 та TL6 і TL7 становить відповідно 5,3 м та 5,5 і 7,0 м, навантажувачами «Ranger» 940GX і 970 – відповідно 5,2 і 7,0 м, а навантажувача NDS-032 – 3,0 м. Висота навантажування підбирача-навантажувача снопів льону ППС-3 і навантажувача СПС-4,2 сягала до 3,5 м, пристосування ППЛ-0,5 для навантажування рулонів льону – до 6 м, навантажувачів СШР-0,5Г і СШУ-0,5 доходила відповідно до 6,5 і 7,0 м, а максимальна грейферного навантажувача ПГХ-0,5 для навантажувально-розвантажувальних робіт в бавовницьких підприємствах становила 7,2 м. Навантажувальна висота тракторних причепів виробництва підприємствами Білорусі, Польщі [2, 3], Росії, України та інших виробників змінюється в межах 950–1400 мм.

У технічних характеристиках причепів крім навантажувальної висоти є і відомості про масу і вантажопідйомність транспортних засобів та об'єм їхньої платформи з основними і надставними бортами. Ці показники причепів відносять до споживчих якостей транспортних засобів (ТЗ) і ми назвали їх масово-об'ємними параметрами причепів. За масою ТЗ  $m_{np}$  ведуть розрахунки тягового опору причепів і їхньої енергомісткості, вантажопідйомності  $q_n$ , продуктивності і тієї ж енергомісткості, об'єму  $V_n$ , тривалості навантажування і розвантажування ТЗ тощо. Крім названих параметрів ТЗ до їхніх оцінних показників відносять лінійні розміри причепів і платформ. Методика визначення висоти платформи причепа для безтарного транспортування яблук наведена в праці [4], а в статтях [5, 6] висвітлений зв'язок висоти платформи причепів з масою і вантажопідйомністю ТЗ.

**Мета дослідження** полягала, у з'ясуванні висоти платформи ТЗ, яка в сумі з їхньою навантажувальною висотою уможлиблює здійснити вибір навантажувача за його навантажувальною висотою для навантажувально-транспортного забезпечення технологічного процесу вирощування і збирання сільськогосподарських культур.

**Завдання дослідження:** 1) зібрати вихідні дані щодо визначення статистичного зв'язку між висотою платформи тракторних причепів і масово-об'ємними параметрами ТЗ; 2) дослідити зміну висоти платформи  $h_n$  ТЗ залежно від їхніх масово-об'ємних параметрів  $m_{np}$ ,  $q_n$  і  $V_n$ ; 3) визначити характер досліджуваної зміни  $h_n$  і з'ясувати її математичну модель залежно від масово-об'ємних параметрів ТЗ; 4) проаналізувати з використанням опрацьованих модельних рівнянь регресії значення граничної висоти платформи для вибору навантажувача за навантажувальною висотою у складі НТК.

**Об'єкт і методика дослідження** описані в попередніх публікаціях і зокрема в статті [6].

Опрацьовуючи експериментальні дані визначали коефіцієнт кореляції  $r$  між результативною ознакою (висотою платформи  $h_n$ ) і прийнятими факторіальними ознаками (масою і вантажопідйомністю причепів та

об'ємом їхніх платформ), кореляційне відношення  $\eta$  результативної ознаки за факторіальними, показник  $R^2$  вірогідності апроксимації експериментальних значень результативної ознаки відповідним алгебраїчним рівнянням. Показник  $R^2$  характеризував міру наближення експериментальних значень результативної ознаки до вирівняних за апроксимуючою функцією. Розраховували помилку  $S_y$  визначених рівнянь криволінійної регресії, яку обчислювали за кореляційним відношенням  $h_n$  за відповідною факторіальною ознакою і середнім квадратичним відхиленням емпіричного розподілу висоти платформи. Розрахунком коефіцієнта детермінації  $K_d$  визначали силу впливу досліджуваної факторіальної ознаки на висоту платформи тракторних причепів.

**Результати дослідження.** Маса і вантажопідйомність досліджуваних причепів коливалися в межах відповідно 0,735–7,10 і 2,0–24,0 т, а об'єм їхніх платформ за основними бортами змінювався від 2,0 до 15,2 м<sup>3</sup>. Висота платформи коливалася від 400 до 1050 мм за середнього арифметичного значення і середнього квадратичного відхилення відповідно 602 і 161 мм за коефіцієнта варіації 26,7 %. За відношеннями коефіцієнтів асиметрії та ексцесу розподілу висоти платформи до своїх помилок його можна вважати таким, що незначущо відхиляється від нормального.

Між висотою платформи і масою, вантажопідйомністю причепа та об'ємом платформи виявлений додатний кореляційний зв'язок з коефіцієнтами кореляції відповідно 0,694 та 0,695 і 0,829 за кореляційних відношень результативної ознаки за факторіальними в тій же послідовності 0,769 та 0,662 і 0,854. Додатні коефіцієнти кореляції свідчать, що висота платформи причепів із збільшенням їхньої маси і вантажопідйомності ТЗ та об'єму платформи зростає. Це зростання, оскільки кореляційні відношення перевищують значення коефіцієнтів кореляції, може бути криволінійним. Для з'ясування характеру досліджуваних парних зв'язків здійснили з використанням стандартних комп'ютерних програм вирівнювання експериментальних значень  $h_n$  залежно від  $m_{np}$ ,  $q_n$  і  $V_n$  рівняннями прямих з додатними кутовими коефіцієнтами та низкою криволінійних залежностей: логарифмічною, степеневою, експоненціальною та гіперболічною кривою. За  $R^2$ -коефіцієнтом дійшли висновку щодо характеру досліджуваної зміни. Скажімо, у разі апроксимації експериментальних даних зміни  $h_n = f(m_{np})$  та  $h_n = f(q_n)$  і  $h_n = f(V_n)$  рівняннями прямих  $R^2$ -коефіцієнт приймав значення відповідно 0,482 та 0,391 і 0,687. Якщо ж експериментальні дані результативної ознаки апроксимувати рівняннями степеневих функцій, то значення  $R^2$ -коефіцієнта для зміни  $h_n$  залежно від  $m_{np}$  та  $q_n$  і  $V_n$  становили відповідно 0,591 та 0,438 і 0,729. За цих умов ці значення  $R^2$ -коефіцієнта були найбільші порівняно з поданням досліджуваних змін іншими криволінійними залежностями. Отже, розрахунки свідчать про криволінійний характер зміни висоти платформи залежно від  $m_{np}$ ,  $q_n$  і  $V_n$ , а модельні рівняння криволінійної регресії висоти платформи  $h_n$  (мм) за досліджуваними факторіальними ознаками мають вигляд степеневих функцій, які сповільнено зростають, за:

– масою причепа (т)

$$h_n = 433,19m^{0,3233} \quad (1)$$

за  $r=0,0694$ ;  $\eta=0,769$ ;  $R^2=0,591$ ;  $S_y=103$  мм і  $k_d=0,591$ ;

– вантажопідйомністю  $q_n$  (т)

$$h_n = 349,34 q^{0,2410} \quad (2)$$

за  $r=0,625$ ;  $\eta=0,662$ ;  $R^2=0,438$ ;  $S_y=121$  мм і  $k_d=0,438$ ;

– об'ємом платформи  $V_n$  (м<sup>3</sup>)

$$h_n = 273,029 V^{0,4474} \quad (3)$$

за  $r=0,829$ ;  $\eta=0,854$ ;  $R^2=0,729$ ;  $S_y=84$  мм і  $k_d=0,729$ .

З аналізу наведених функцій простежується, що з підвищенням кореляційних відношень, які характеризують якісну залежність зміни  $h_n$  від  $q_n$ ,  $m_{np}$  і  $V_n$ , помилки рівнянь криволінійної регресії зменшуються від 121 до 84 мм, а коефіцієнти детермінації зростають від 0,438 до 0,729. За значеннями коефіцієнтів детермінації варіація досліджуваних факторіальних ознак на 44–73 % причинно зумовлює варіацію висоти платформи причепів. Водночас серед досліджуваних факторів найбільш впливовим виявився об'єм платформи, а найменш впливовим – вантажопідйомність причепів.

Якщо за результатами дослідження зміну висоти платформи залежно від досліджуваних факторів подати рівняннями прямих з додатними кутовими коефіцієнтами, то за їхніми значеннями збільшення маси і вантажопідйомності причепа на 1 т, а об'єму платформи на 1 м<sup>3</sup> супроводжуються збільшенням її висоти відповідно на 66 мм та близько на 16 і 42 мм.

На рисунку наведені кореляційні поля і модельні лінії регресії висоти платформи  $h_n$  (рис. 1) тракторних причепів за їхніми масами  $m_{np}$  і вантажопідйомності  $q_n$  та об'єму платформи  $V_n$ , що побудовані з використанням рівнянь (1–3) відповідних степеневих функцій.

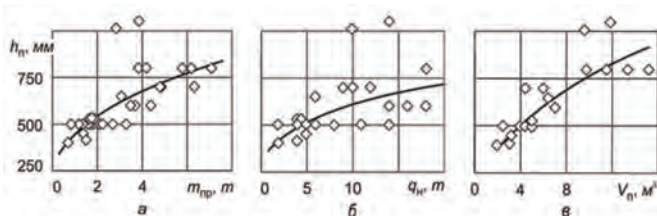


Рис. 1 – Кореляційні поля і модельні лінії регресії висоти платформи  $h_n$  тракторних причепів по їхній масі  $m_{np}$  (а) і вантажопідйомності  $q_n$  (б) та об'єму платформи  $V_n$  (в)

З рисунка видно, що наведені криві сповільнено зростають. З кривої зміни  $h_n$  залежно від  $m_{np}$  за відповідними розрахунками витікає, що із збільшенням маси причепа від 0,735 до 4 т висота платформи зростає в 1,69 раза, а з подальшим збільшенням маси від 4 до 7,1 т темп зростання висоти платформи значно уповільнюється і висота платформи зростає всього в 1,18 раза. Зі збільшенням вантажопідйомності причепа від 2 до 10 т (позиція «б» на рисунку) висота платформи зростає в 1,50 раза, а подальше збільшення вантажопідйомності від 10 до 24 т призводить до менш уповільненого зростання висоти платформи і вона зростає в 1,25 раза. Збільшення об'єму платформи від 2 до 8 м<sup>3</sup> (в 4 рази) супроводжується зростанням її

висоти в 1,69 раза, а подальше збільшення об'єму платформи від 8 до 15,2 м<sup>3</sup> (в 1,9 раза) уповільнює зростання її висоти – вона зростає в 1,37 раза.

Уповільнення зростання висоти платформи із збільшенням  $m_{np}$ ,  $q_n$  і  $V_n$  свідчить, що з підвищенням цих масово-об'ємних параметрів тракторних причепів висота платформи має сягати відповідних граничних значень. Граничне значення висоти платформи може визначати асимптота гіперболи, оскільки гіперболічний зв'язок вважають частковим випадком степеневого. Якщо подати зміну висоти платформи залежно від  $m_{np}$ ,  $q_n$  і  $V_n$  рівняннями гіпербол ( $R^2=0,274$ – $0,536$ ), то асимптота гіперболи, яка визначає кількісну зміну  $h_n$  від  $m_{np}$ , дорівнює 775 мм. Проте в статистичній вибірці досліджуваних причепів були і такі, висота платформи яких значно перевищувала 775 мм. Це причепа LMR-10 і LMR-14, висота платформи яких дорівнювала відповідно 1010 і 1050 мм.

**Висновки.** Із сукупного впливу різних факторів на висоту платформи тракторних причепів, виміряну від землі до верхнього краю основних бортів, на частку досліджуваних факторів за визначеними коефіцієнтами детермінації припадає 44–73 %. Найбільш «впливовим» фактором на висоту платформи виявився її об'єм, статистичний зв'язок між якими оцінюється додатним коефіцієнтом кореляції 0,829 за кореляційного відношення 0,854.

Кількісно зміна висоти платформи тракторних причепів залежно від їхніх мас і вантажопідйомності та об'єму платформи описується степеневими функціями, які сповільнено зростають, наближаючись до відповідного граничного значення. У разі апроксимації зміни висоти платформи рівняння гіперболи граничне значення висоти платформи за її асимптотою становить 775 мм за помилки рівнянь криволінійної регресії в межах 84–121 мм. Результати дослідження можуть бути використані у виборі навантажувача за його навантажувальною висотою для забезпечення перевезення вантажів тракторними причепами в технологічних процесах вирощування і збирання сільськогосподарських культур.

Напрямок подальших розвідок на нашу думку має бути спрямований на дослідження питомої тоннажності тракторних причепів вітчизняних і зарубіжних виробників та показників ефективності використання тракторно-транспортних засобів.

## Література

1. Ясенецький В., Муха В. Навантажувальне обладнання сільськогосподарського призначення від фірми «Pronar» (Польща). Техніка і технології АПК. 2017. № 8 (95). С. 12–14.
2. Муха В. Причепа для перевезення рулонів фірми Pronar. Техніка і технології АПК. 2017. № 6 (93). С. 20–21.
3. Ясенецький В., Пономаренко О. Тракторні причепа від фірми «Pronar» (Польща). Техніка і технології АПК. 2017. № 9 (96). С. 24–28.
4. Мартишко В., Волянський М. До визначення параметрів кузова причепа для безтарного транспортування яблук. Сучасні проблеми землеробської меха-

ніки: зб. наук. праць XVIII Міжнар. наук. конф., присвяченої 117 річниці від дня народження акад. П.М. Василенка (м. Кам'янець-Подільський, 16–17 жовтня 2017 р.) / Мін-во освіти і науки України, Подільський держ. аграр.-техн. ун-т [та ін.]. Тернопіль: Крок. 2017. С. 146–148.

5. Лимонт А. С. Прогнозирование массово-размерных параметров тракторных прицепов. Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Минск, 21–23 ноября 2018 г.) / Мин-во сельского хозяйства и продовольствия республики Беларусь, Белорусский гос. аграр. техн. ун-т / ред. кол.: В. П. Чеботарев [и др.]. – Минск: БГАТУ. 2018. С. 396–399.

6. Лимонт А. С. Вантажопідйомність і розміри кузовів тракторних причепів. Вісн. Харків. нац. техн. ун-ту с. г. ім. Петра Василенка: механізація с.-г. виробництва. 2012. Вип. 124. Т. 1. С. 110–120.

**Аннотация.** Проанализировано изменение высоты платформы тракторных прицепов, измеренной от земли до верхнего края основных бортов, в зависимости от ее объема, массы и номинальной грузоподъемности транспортных средств. Между высотой платформы как результативным признаком и принятыми факториальными выявлена положительная корреляционная связь с коэффициентом корреляции в пределах 0,625–0,829 при корреляционных отношениях со значениями от 0,662 до 0,854. Определено, что количественное изменение высоты платформы в зависимости от массы и номинальной грузоподъемности прицепов, объема платформы описывается уравнениями замедленно возрастающих степенных

функций. По асимптоте уравнения гиперболы, которая характеризует изменение высоты платформы в зависимости от массы транспортного средства, предельная высота составляет 775 мм. Выявленные зависимости могут быть использованы при выборе погрузчиков в транспортных процессах, которые сопровождают производство сельскохозяйственной продукции.

**Summary.** The paper is aimed at analyzing the change in the platform height of tractor trailers depending on its loading capacity and mass, as well as on the nominal loading capacity of vehicles. Between the height of the platform = as a resultative index and the specified factorial ones you can reveal the positive correlation feedback with the correlation coefficients fluctuating within the limits of 0,625–0,829 according to the correlation ratios with values from 0,662 to 0,854. It has been found that depending on the mass and nominal loading capacity of trailers and the platform volume the quantitative change in the platform height is described by the equations of moderately increasing exponential functions. According to asymptote of hyperbole equation which characterizes the change in the platform height depending on the mass of the vehicle, the marginal height can amount to 775 mm. The dependences revealed can be used for selecting loaders in the transporting processes which accompany the production of agricultural produce.

Стаття надійшла до редакції 20 вересня 2019 р.