УДК 631.333:631:172 DOI: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.167-172

А.С. Лімонт, доц., канд. техн. наук
Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, Україна
e-mail: andrespartak@ukr.net
З.А. Лімонт
Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна

Взаємозалежності об’єму кузова і вантажопідйомності та маси машин для внесення твердих органічних добрив

Мета роботи полягала в дослідженні зв’язку між об’ємом кузова машин для внесення ТОД і їх вантажопідйомністю та масою, а також зворотної зміни вантажопідйомності і маси цих машин залежно від об’єму кузова. В першому випадку результативною ознакою був об’єм кузова, а факторіальними – вантажопідйомність і маса машин, а в другому – за результативні ознаки прийняті вантажопідйомність і маса машин, а в якості факторіальної ознаки визначений об’єм кузова машин для внесення ТОД.

Обробка зібраних даних здійснена на засадах математичної статистики і зокрема кореляційно-регресійного аналізу та з використанням стандартних комп’ютерних програм. Коефіцієнт кореляції між об’ємом кузова машин для внесення ТОД і вантажопідйомністю машин, між вантажопідйомністю машин і об’ємом кузова мав однакове значення 0,920. Однакове значення мали і кореляційні відношення об’єму кузова на вантажопідйомність та вантажопідйомності машин на об’єм кузова, яке становило 0,935. Кількісну зміну об’єму кузова залежно від маси машин і маси машин залежно від об’єму кузова краще описують рівняння прямолінійної регресії з додатними кутовими коефіцієнтами (R^2=0,824). При збільшенні маси машин на 1 т за її зміни від 1 до 13,7 т об’єм кузова зростає на 1,8 м^3. Із збільшенням об’єму кузова на 1 м^3 за його зміни від 1,9 до 25,7 м^3 маса кузовних машин зростає на 0,456 т.

кузовні машини для внесення твердих органічних добрив, об’єм кузова, вантажопідйомність, маса, рівняння регресії

Постановка проблеми. Наукові дослідження вітчизняних вчених агробіологічного спрямування свідчать, що в системі удобрення сільськогосподарських культур сівозміни на ґрунтах Полісся та інших зон навіть за несприятливих погодних умов органічні добрива позитивно впливають на врожай культур сівозміни і особливо врожай льону-довгунця і якість волокна. Внесення твердих органічних добрив (ТОД) поряд з іншими засобами механізації здійснюють і кузовними машинами – розкидачами добрив. В маркування розкидачів ТОД виробництва підприємствами, що були розташовані на території колишнього Радянського Союзу, крім буквенного позначення входило і цифрове, що могло означати вантажопідйомність засобу механізації чи об’єм кузова.

Об’єм кузова машин для внесення ТОД є одним з параметрів, що визначає запас робочого ходу машинного-тракторного агрегату (МТА), тобто шлях спорожнення кузова від технологічного матеріалу. Запас робочого ходу МТА для внесення ТОД за їх витратою в межах одного проходу кузовної машини, що загрегатована з трактором, є визначальною характеристикою при проектуванні і організації території окремої загінки на удобрюваному полі. З використанням такої характеристики агрегату коригують дозу внесення добрив та ступінь спорожнення технологічної місткості (об’єму кузова) машини для внесення добрив. З урахуванням визначеного і

© А.С. Лімонт, З.А. Лімонт, 2022

відкоригованого запасу робочого ходу ведуть розрахунки з обґрунтування розміщення навантажувально-розвантажувальних магістралей вздовж удобрюваного поля та уточнюють розміри загінок за їхніми довжиною і шириною.

Значення маси кузовних машин, об'єму кузова з урахуванням об'ємної маси ТОД і коефіцієнта використання місткості кузова, вантажопідйомності кузовної машини і статичного коефіцієнта її використання необхідно знати і при визначенні тягового опору кузовних машин. Ці відомості потрібні при розрахунках з комплектування МТА, виборі режиму їх роботи та пошуку резервів економного витрачання енергоносіїв і зниження енергозатрат при удобренні ґрунту ТОД.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед досліджень з проектування технологічного процесу внесення ТОД та робочих органів кузовних машин для реалізації цього процесу крім інших відомі роботи М.К. Лінника [1] із співавторами, О.Я. Переходька і В.А. Ярощука [2], Н.М. Марченка і його співавторів [3], П.М. Заїки [4], авторів цього повідомлення [5] та інших дослідників. Аналіз цих джерел засвідчив, що обґрунтування і визначення окремих параметрів кузовних машин для внесення ТОД вимагає подальших досліджень і зокрема узагальнення деяких параметрів з урахуванням конструкцій існуючих машин для з'ясування можливих тенденцій кількісної зміни і взаємозв'язку таких, що визначають споживчі властивості машин.

Постановка завдання. Мета роботи полягала в дослідженні зв'язку між об'ємом кузова машин для внесення ТОД і їх вантажопідйомністю та масою, а також зворотної зміни вантажопідйомності і маси цих машин залежно від об'єму кузова. В першому випадку результативною ознакою був об'єм кузова, а факторіальними – вантажопідйомність і маса машин, а в другому – за результативні ознаки прийняті вантажопідйомність і маса машин, а в якості факторіальної ознаки визначений об'єм кузова машин для внесення ТОД.

Об'єкт та методика дослідження. Об'єктом дослідження були 47 марок і моделей кузовних машин для внесення ТОД, з них 14 машин виробництва підприємствами, що розміщені на території колишнього Радянського Союзу та 9 і 24 – виробництва компаніями відповідно "KUHN" і "Strautmann". Значення досліджуваних результативних і факторіальних ознак для формування статистичних вибірок і складання двомірних варіаційних рядів відшукували з використанням інформації, що наведена в технічних характеристиках машин [6, 7, 8], та інших джерел.

Обробка зібраних даних здійснена за засадах математичної статистики [9] і зокрема кореляційно-регресійного аналізу [10] та з використанням стандартних комп'ютерних програм.

Виклад основного матеріалу. Емпіричний розподіл об'єму кузова досліджуваних машин коливався в межах від 1,9 до 25,7 $м^3$ за середнього арифметичного значення і середнього квадратичного відхилення відповідно 11,9 і 5,44 $м^3$ та коефіцієнта варіації 45,7%. Вантажопідйомність аналізованих машин коливалася в межах 2,0–34,0 т за середнього арифметичного значення і середнього квадратичного відхилення відповідно 12,64 і 6,65 т та коефіцієнта варіації 52,6%. Розмах варіювання маси машин становив 1,0–13,7 т, а середнє арифметичне значення і середнє квадратичне відхилення розподілу маси машин становили відповідно 4,93 і 2,72 т за коефіцієнта варіації 55,2%.

Результати кореляційно-регресійного аналізу об'єму кузова машин та їх вантажопідйомності і маси, як результативних ознак і відповідних їм факторіальних ознак наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати кореляційно-регресійного аналізу об'єму кузова, вантажопідйомності і маси кузовних машин для внесення твердих органічних добрив та оцінні показник рівнянь регресії

Результативна – факторіальна ознаки	Коефіцієнт кореляції	Кореляційне відношення	Прогностична функція (чисельник) і рівняння регресії (знаменник)	R^2-коефіцієнт	Помилка S_y рівняння регресії	Коефіцієнт детермінації $k_д$
Об'єм кузова $V_{од}$ ($м^3$) – вантажопідйомність $q_н$ (т) машин	0,920	0,935	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $V_{од} = 0,799\ q_н + 1,84$	0,847	2,13	0,874
Вантажопідйомність $q_н$ (т) машин – об'єм кузова $V_{од}$ ($м^3$)	0,920	0,935	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $q_н = 0,581\ V_{од} – 0,068$	0,847	2,61	0,874
Об'єм кузова $V_{од}$ ($м^3$) – маса $m_{од}$ (т) машин	0,908	0,861	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $V_{од} = 1,814\ m_{од} + 3,06$	0,824	2,28	0,741
Маса $m_{од}$ (т) машин – об'єм кузова $V_{од}$ ($м^3$)	0,908	0,861	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $m_{од} = 0,456\ V_{од} – 0,545$	0,824	0,48	0,741

Джерело: розроблено авторами

Коефіцієнт кореляції між об'ємом кузова $V_{од}$ ($м^3$) машин для внесення ТОД і вантажопідйомністю $q_н$ (т) машин, між вантажопідйомністю машин і об'ємом кузова мав однакове значення 0,920. Однакове значення мали і кореляційні відношення об'єму кузова на вантажопідйомність та вантажопідйомності машин на об'єм кузова, яке становило 0,935.

Між об'ємом кузова і масою $m_{од}$ (т) машин як і між масою машин і об'ємом кузова спостережувані значення коефіцієнтів кореляції мали також однакове значення, що дорівнювало 0,908 і було додатним. В досліджуваних обох парних зв'язках кореляційні відношення $V_{од}$ на $m_{од}$ і $m_{од}$ на $V_{од}$ мали однакове значення, що дорівнювало 0,861.

Додатні коефіцієнти кореляції в досліджуваних чотирьох парних зв'язках свідчать про зростання результативних ознак при збільшенні факторіальних. Щодо форми зв'язку (лінійна чи криволінійна), то співставлення значень коефіцієнтів кореляції і кореляційних відношень вказує на можливе криволінійне підвищення $V_{од}$ і $q_н$ при збільшенні відповідно $q_н$ і $V_{од}$. Аналіз визначених показників кореляційного зв'язку $V_{од}$ з $m_{од}$ та $m_{од}$ з $V_{од}$ свідчить про можливе лінійне зростання $V_{од}$ і $m_{од}$ в міру збільшення відповідно $m_{од}$ та $V_{од}$.

Для уточнення і остаточного з'ясування форми зв'язку досліджуваних результативних і факторіальних ознак здійснили вирівнювання експериментальних значень результативних ознак залежно від факторіальних рівняннями прямих і криволінійних функцій – логарифмічними, степеневими, експоненціальними, показниковими та гіперболами.

Оцінювання ступеня наближення експериментальних значень результативних ознак до їх вирівняних величин за відповідною апроксимуючою залежністю здійснювали розрахунками R^2-коефіцієнта. За найбільшим значенням R^2-коефіцієнта в досліджуваних залежностях віддавали перевагу одній із них, яку і приймали за прогностичну функцію зміни відповідного параметра машин з урахуванням значення іншого параметра.

За розрахованими R^2-коефіцієнтами, що дорівнюють 0,875, краще наближення експериментальних значень $V_{од}$ і $q_н$ до вирівняних забезпечувала апроксимація $V_{од}$ і $q_н$ залежно від відповідно $q_н$ і $V_{од}$ рівняннями сповільнено зростаючих степеневих функцій.

Зміна $V_{од}$ залежно від $q_н$ описується функцією вигляду

$$V_{од} = 1{,}133\ q_н^{0{,}029} \quad (1)$$

а $q_н$ від $V_{од}$ залежністю

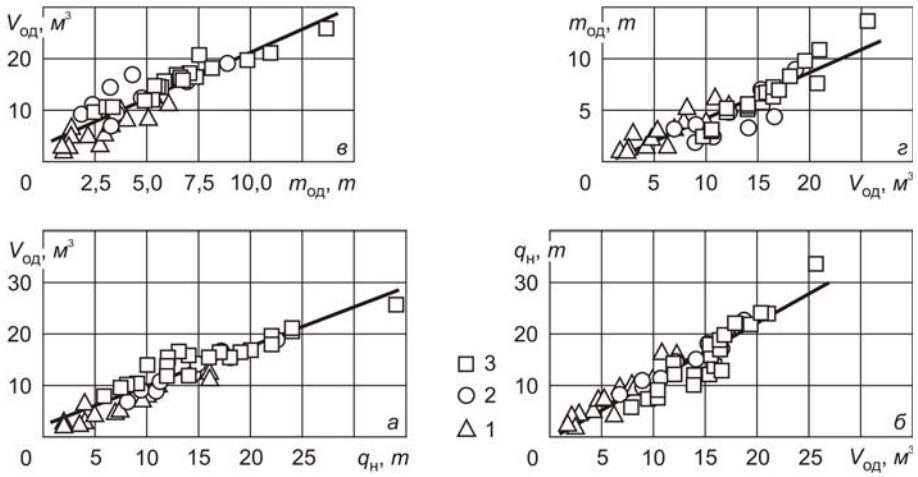
$$q_н = 1{,}194\ V_{од}^{0{,}943}\ . \quad (2)$$

За показником степеня функція (2) наближається до прямої.

Для практичних розрахунків зміну $V_{од}$ залежно від $q_н$ і $q_н$ залежно від $V_{од}$ доцільно подати рівняннями прямолінійних залежностей, модельні рівняння яких і визначені R^2-коефіцієнти наведені в табл. 1. В графічному поданні модельні лінії прямолінійної регресії $V_{од}$ на $q_н$ і $q_н$ на $V_{од}$ наведені на рис. 1.

За значеннями кутового коефіцієнта рівняння прямої, що наведена на рисунку, збільшення $q_н$ на 1 т усереднено супроводжується підвищенням об'єму кузова майже на 0,8 м^3. Збільшення об'єму кузова на 1 м^3 в досліджуваних межах за значенням кутового коефіцієнта модельного рівняння прямолінійної регресії $q_н$ на $V_{од}$ супроводжується зростанням вантажопідйомності майже на 0,6 т.

Кількісну зміну $V_{од}$ залежно від $m_{од}$ і $m_{од}$ залежно від $V_{од}$ найкраще з досліджуваних апроксимуючих залежностей описують рівняння прямолінійної регресії з додатними кутовими коефіцієнтами, які забезпечують одержання найбільшого значення R^2-коефіцієнта, що дорівнює 0,824. Модельне рівняння прямолінійної регресії $V_{од}$ на $m_{од}$ (табл. 1) має додатний кутовий коефіцієнт, який дорівнює 1,814 м^3/т. За такого значення кутового коефіцієнта із збільшенням маси кузовних машин на 1 т за її зміни в досліджуваних межах об'єм кузова зростає на 1,814 м^3.



$V_{од}$ – об'єм кузова машин для внесення твердих органічних добрив (ТОД); $q_н$ – вантажопідйомність кузовних машин (КМ) для внесення ТОД; $m_{од}$ – маса КМ для внесення ТОД; 1 – параметри машин виробництва підприємствами на території колишнього Радянського Союзу; 2 – те ж компанії «KUHN»; 3 – компанії «Strautmann»

Рисунок 1 – Кореляційні поля досліджуваних ознак і прогнозована зміна об'єму кузова $V_{од}$ машин для внесення ТОД залежно від їх вантажопідйомності $q_н$ (*а*) і маси $m_{од}$ (*в*) та вантажопідйомності $q_н$ (*б*) і маси $m_{од}$ (*г*) від об'єму кузова $V_{од}$

Джерело: розроблено авторами

Модельне рівняння прямолінійної регресії $m_{од}$ на $V_{од}$, що визначає прогностичну функцію зміни $m_{од}$ залежно від $V_{од}$, наведене в табл. 1. Рівняння має додатний кутовий коефіцієнт, що дорівнює 0,456 т/м^3. За цим коефіцієнтом збільшення об'єму кузовних машин для внесення ТОД на 1 м^3 в досліджуваній його зміні від 1,9 до 25,7 м^3

супроводжується зростанням маси машин на 0,456 т. Графічна інтерпретація з'ясованих залежностей наведена на рисунку (позиції «*в*» і «*г*»).

Визначені помилки (табл. 1) рівнянь регресії значно менші середніх арифметичних значень відповідних емпіричних розподілів. За значеннями розрахованих коефіцієнтів детермінації (табл. 1) факторіальні ознаки на 74 і 87% визначають варіювання досліджуваних результативних ознак. Решта 26 і 13% із загальної варіабільності є наслідком впливу випадкових факторів, що їх не розглядали в цьому дослідженні [9].

Висновки. Отримані в результаті дослідження модельні рівняння прямолінійної регресії об'єму кузова на вантажопідйомність і масу кузовних машин для внесення ТОД та залежності зміни вантажопідйомності і маси машин від об'єму кузова можуть бути використані при проектуванні машин для внесення ТОД та організації використання машин для удобрення ґрунту.

Перспективи подальших розвідок на нашу думку мають бути спрямовані на дослідження зв'язку і пізнання кількісних пропорцій між масою і габаритними розмірами кузовних машин для внесення твердих органічних добрив.

Список літератури

1. Машины и оборудование для производства и внесения органических удобрений: конструирование и расчет / Линник Н.К. и др.; под ред. Л.В. Погорелого. Киев: Тэхника, 1992. 103 с.
2. Переходько О.Я., Ярощук В.А. Обгрунтування раціональної ширини внесення твердих органічних добрив кузовними розкидачами. *Механізація та електрифікація сільського господарства.* Київ: Урожай, 1992. Вип. 75. С. 70–74.
3. Марченко Н.М., Личман Г.И., Шебалкин А.Е. Механизация внесения органических удобрений (Технологические основы проектирования процессов и рабочих органов). Москва: Агропромиздат, 1990. 207 с.
4. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин: машини для приготування і внесення добрив. Харків: Око, 2002. Т. 1. Ч. 3. 352 с.
5. Лімонт А.С., Ломакін В.О., Лімонт З.А. Пропускна спроможність і вантажопідйомність кузовних машин для внесення твердих органічних добрив. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: зб. наук. праці*. Кропивницький: ЦНТУ, 2021. Вип. 4 (35). С. 134–141.
6. Клименко М. Система машин для внесення твердих та рідких органічних добрив. *Техніка АПК*. 2006. № 8. С. 21–23.
7. KUHN. Каталог техніки. 2018. 64 с.
8. B. Strautmann & Söhne GmbH & Co. KG Проспекти розкидачів органічних добрив.
9. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учеб. пособ. Москва: Изд-во Москов. ун-та. 1972. 292 с.
10. Уланова Е.С., Забелин В.Н. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии: монография. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1990. 208 с.

References

1. Linnik, N.K. et al. (1992). *Mashiny i oborudovanie dlja proizvodstva i vnesenija organicheskih udobrenij: konstruirovanie i raschet* [*Machinery and equipment for the production and application of organic fertilizers: design and calculation*]. L.V. Pogorelogo (Ed.). Kiev: Tjehnika [in Russian].
2. Perekhod'ko, O.Ya.& Yaroschuk, V.A. (1992). Obgruntuvannia ratsional'noi shyryny vnesennia tverdykh orhanichnykh dobryv kuzovnymy rozkydachamy [Substantiation of the rational width of application of solid organic fertilizers by body spreaders]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia sil's'koho hospodarstva – Mechanization and electrification of agriculture*, *Issue 75,* 70–74. [in Ukrainian].
3. Marchenko, N.M., Lichman, G.I. & Shebalkin, A.E. (1990). Mehanizacija vnesenija organicheskih udobrenij (Tehnologicheskie osnovy proektirovanija processov i rabochih organov) [Mechanization of the application of organic fertilizers (Technological bases for the design of processes and working bodies)]. Moskva: Agropromizdat [in Russian].
4. Zaika, P.M. (2002). *Teoriia sil's'kohospodars'kykh mashyn: mashyny dlia pryhotuvannia i vnesennia dobryv* [*Theory of agricultural machines: machines for preparing and applying fertilizers*]. Kharkiv: Oko, *Vol. 1, part 3*, 352 [in Ukrainian].

5. Limont, A.S., Lomakin, V.O. & Limont, Z.A. (2021). Propuskna spromozhnist' i vantazhopidjomnist' kuzovnykh mashyn dlia vnesennia tverdykh orhanichnykh dobryv [Throughput capacity and carrying capacity of body machines for applying solid organic fertilizers]. *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky: zb. nauk. pratsi – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, Issue 4 (35)*, 134–141 [in Ukrainian].
6. Klymenko, M. (2006). Systema mashyn dlia vnesennia tverdykh ta ridkykh orhanichnykh dobryv [A system of machines for applying solid and liquid organic fertilizers]. *Tekhnika APK –Agricultural machinery*, *8*, 21–23 [in Ukrainian].
7. KUHN. Kataloh tekhniky. 2018. 64 s. [in Ukrainian].
8. B. Strautmann & Söhne GmbH & Co. KG. Prospekty rozkydachiv orhanichnykh dobryv [Prospectuses of spreaders of organic fertilizers]. [in Ukrainian].
9. Dmitriev, E.A. (1972). *Matematicheskaja statistika v pochvovedenii* [*Mathematical statistics in soil science*]. Moskva: Izd-vo Moskov. un-ta. [in Russian].
10. Ulanova, E.S. & Zabelin, V.N. (1990). *Metody korreljacionnogo i regressionnogo analiza v agrometeorologii* [*Methods of correlation and regression analysis in agrometeorology*]. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].

Anatoliy Limont, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Zhytomyr Agrotechnical Collede, Zhytomyr, Ukraine
Zlata Limont, student
Dnipro National University named after Oles Honchar, the city of Dnipro, Ukraine.

Interdependence of Body Volume and Load Capacity and Weight of Machines for Application of Solid Organic Fertilizers

The aim of the study was to investigate the relationship between the body volume of solid organic fertilizer (TOD) machines and their load capacity and weight, as well as the inverse change in load capacity and weight of these machines depending on the body volume. In the first case, the effective feature was the volume of the body, and the factorial – load capacity and weight of machines, and in the second – the effective characteristics were taken to be the load capacity and weight of machines, and as a factorial feature was the body size of the machine. The study included 47 brands and models of body machines for TOD, including 14 machines manufactured by enterprises located in the former Soviet Union, and 9 and 24 produced by "KUHN" and "Strautmann", respectively. The value of the studied resultant and factorial features was found using information from domestic and foreign literature.

The collected data are processed on the basis of mathematical statistics and in particular correlation-regression analysis and using standard computer programs. The correlation coefficient between the volume of the body of the machine for applying TOD and the load capacity of the machines, between the load capacity of the machines and the volume of the body was the same value 0,920. The correlation ratios of body volume to load capacity and machine load capacity to body volume, which was 0.935, were equally important. Between the volume of the body and the weight of the cars as well as between the weight of the cars and the volume of the body, the observed values of the correlation coefficients also had the same value, equal to 0.908 and positive. In the two paired relationships studied, the correlations between body volume to machine weight and machine mass to body volume had the same value of 0.861.

Quantitative changes in body volume depending on the weight of the machines and the weight of the machines depending on the volume of the body are better described by the equations of rectilinear regression with positive angular coefficients (R^2 = 0.824). As the weight of the machines increases by 1 ton and changes from 1 to 13.7 tons, the body volume increases by 1.8 m^3. With an increase in body volume by 1 m^3 with its change from 1.9 to 25.7 m^3, the weight of body cars increases by 0.456 tons. Quantitative change in body volume depending on load capacity and load capacity depending on body volume should be described by equations of rectilinear regressions with positive angular coefficients (R^2 = 0.847). According to the calculated R^2 coefficients equal to 0.875, the approximation of the experimental values of the effective features of body volume and load capacity to their aligned values was provided by approximating the change in body volume and load capacity by the equations of slowly increasing power functions. According to the angular coefficients of the equations of lines when increasing the load capacity of body machines by 1 ton for its change from 2 to 34 tons, the body volume increases by 0.799 m^3, and when increasing the body volume by 1 m^3 for its changes from 1.9 to 25, 7 m^3 capacity of machines increases by 0.581 tons.

body machines for solid organic fertilizers, body volume, load capacity, mass, regression equations

Одержано (Received) 16.02.2022 *Прорецензовано (Reviewed) 25.02.2022*
Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022