

УДК 004.925.8:631.3

П.М. ЯБЛОНСЬКИЙ, Г.А. ВІРЧЕНКО, М.В. ГРУБИЧ

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

М.О. ТЕРЕЩУК

Київський національний університет будівництва і архітектури

ЗАСТОСУВАННЯ СПОСОБУ ЗМЕНШЕННЯ СФЕРИ ПРОЄКТНИХ РОЗВ'ЯЗКІВ НА ПРИКЛАДІ АНАЛІЗУ КОНСТРУКЦІЙНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТООБРОБНИХ ДИСКІВ

Нинішній історичний період доволі важкий для України, що пов'язано з воєнними діями на її території. Нині, поряд з акцентованими, особливо важливими є питання збереження та підвищення економічного потенціалу нашої держави. Одну з провідних ролей у зазначеному плані відіграє сільське господарство. Тому актуальну наукову проблему становить подальше його вдосконалення. Це стосується, зокрема, і покращення використуваних технічних знарядь, наприклад ґрунтообробних дисків. Їх широка популярність зумовлена теперішніми передовими тенденціями щодо мінімального обробітку землі. Як порівняти з полицевими плугами, вони забезпечують суттєве зменшення витрат пального, сприяють збереженню вологи в ґрунті, запобігають його ерозії.

Стрімкий розвиток комп'ютерних інформаційних технологій дає змогу успішно впроваджувати різноманітні математичні засоби у виробництво. Для цього потрібно ефективно здійснювати належну адаптацію наявних та напрацювання нових відповідних прогресивних методів, прийомів, алгоритмів, моделей тощо. За наявності позитивних практичних результатів запропоновані підходи варто теоретично узагальнювати для їх подальшого покращення.

У публікації на прикладі наведених у літературі відомостей про конструкційно-експлуатаційні параметри ґрунтообробних дисків викладено запропоновану методику формалізації їх аналізу. Останній, на засадах способу зменшення сфери проєктних розв'язків, спрямований на визначення раціональних варіантів сільськогосподарських знарядь. При цьому вжито таку головну перевагу геометричних моделей, як відносна простота й наочність. Основна ідея зазначеного способу полягає в поступовому звуженні початкової допустимої сфери параметрів із метою дефініції одного або кількох належних варіантів створюваного виробу, які з геометричних позицій становлять, зазвичай, певні точки в багатовимірному просторі. Використано типовий прийом візуалізації багатовимірних фігур необхідною сукупністю ліній або поверхонь відповідно дво- та тривимірного простору. Розглянуто напрями проведення подальших наукових досліджень з окресленої тематики.

Ключові слова: автоматизоване проєктування, геометричне моделювання, ґрунтообробні диски, конструкційно-експлуатаційні параметри, спосіб зменшення сфери проєктних розв'язків.

P.M. YABLONSKYI, G.A. VIRCHENKO, M.V. HRUBYCH

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

M.O. TERESCHUK

Kyiv National University of Construction and Architecture

APPLICATION OF THE METHOD OF REDUCING THE AREA OF PROJECT SOLUTIONS ON THE EXAMPLE OF THE ANALYSIS OF DESIGN AND OPERATIONAL PARAMETERS OF TILLAGE DISCS

The current historical period is quite difficult for Ukraine, which is connected with military actions on its territory. At present, along with the emphasized ones, the issues of preserving and increasing the economic potential of our state are also particularly important. Agriculture plays one of the leading roles in this regard. Therefore, its further improvement is an urgent scientific problem. This applies, in particular, to the improvement of the used technical tools, for example, tillage discs. The widespread popularity of the latter is due to current advanced trends in minimal tillage. Compared to shelf plows, these discs provide a significant reduction in fuel consumption, help retain moisture in the soil, and prevent erosion.

The rapid development of computer information technologies makes it possible to successfully introduce various mathematical tools into production. For this, it is necessary to effectively adapt the already existing and develop new corresponding progressive methods, techniques, algorithms, models, etc. In the presence of positive practical results, the proposed approaches should be theoretically generalized for their further improvement.

In this publication, on the example of the information given in the literature about the design and operational parameters of tillage discs, the proposed methodology of formalization of their analysis is considered. The latter, based on the application of the method of reducing the area of design solutions, is aimed at determining rational options for agricultural implements. In this case, the main advantage of geometric models, such as their relative simplicity and clarity, was used. The main idea of the specified method is to gradually narrow the initial permissible range of parameters in order to determine one or several appropriate variants of the product being created, which, from the geometrical positions, usually represent certain points in a multidimensional space. A typical technique for visualizing a multidimensional figure with the necessary set of lines or surfaces of two- and three-dimensional space, respectively, was used. Directions for further scientific research on outlined topic are considered.

Key words: automated design, geometric modeling, tillage discs, design and operational parameters, method of reducing the area of project solutions.

Постановка проблеми

Нині комп'ютерні інформаційні технології дедалі ширше проникають у різноманітні сфери життєдіяльності. Зокрема, це стосується сільськогосподарського виробництва, удосконалення якого становить актуальну наукову прикладну проблему. Один зі шляхів її розв'язання полягає в покращенні використовуваних знарядь, зокрема ґрунтообробних дисків. Їх популярність пов'язана із сучасними прогресивними тенденціями щодо мінімального обробітку землі. Це забезпечує, як порівняти з полицевими плугами, значне зниження енергетичних витрат, зберігає вологу в ґрунті, зменшує його ерозію. У цій публікації, спираючись на наведені в літературі відомості про конструкційно-експлуатаційні параметри ґрунтообробних дисків, подано запропоновану методику формалізації виконання їх аналізу. Останній базується на застосуванні способу зменшення сфери проєктних розв'язків та спрямований на раціональне автоматизоване проєктування технічних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Деякі інноваційні підходи в аграрному секторі, які важливі для сучасної ери комп'ютеризації, описані виданням [1]. У статті [2] виконано систематизацію робочих органів сільськогосподарських знарядь засобами структурно-параметричного формоутворення. Дослідження [3] присвячено запропонованій методиці геометричного моделювання груп технічних об'єктів на прикладі ґрунтообробних дисків шляхом використання принципу інтеграції. Актуальність належного вивчення даних технічних об'єктів підтверджується також закордонними публікаціями, наприклад [4; 5]. У них на підставі натурних експериментів проаналізовано певну множину дисків різної форми та розмірів, порівняно отриману їх ефективність на кількох глибинах обробітку ґрунту. Доволі докладно й багатогранно висвітлено питання щодо конструкції та експлуатації цих знарядь у монографії [6]. Базові теоретичні основи способу зменшення сфери проєктних розв'язків наведено в праці [7], а перспективи його розвитку окреслено у виданні [8].

Мета дослідження

Головне завдання цієї публікації – подати запропоновану методику формалізації аналізу конструкційно-експлуатаційних параметрів ґрунтообробних дисків шляхом застосування для цього способу зменшення сфери проєктних розв'язків. Визначено також деякі напрями подальшого вдосконалення розглянутого підходу.

Викладення основного матеріалу дослідження

Для автоматизованого проєктування сільськогосподарських знарядь важливе оптимальне поєднання їхніх різноманітних конструкційних та експлуатаційних параметрів. На нинішньому етапі розвитку ґрунтообробної механіки при моделюванні відповідних технологічних процесів якісне опрацювання наявної теоретичної та експериментальної інформації становить особливо відповідальне завдання. Проілюструємо один зі шляхів його виконання за допомогою способу зменшення сфери проєктних розв'язків.

У монографії [6] викладено відомості щодо впливу деяких конструкційних параметрів на агротехнічні показники функціонування ґрунтообробних дисків, див. рис. 1.

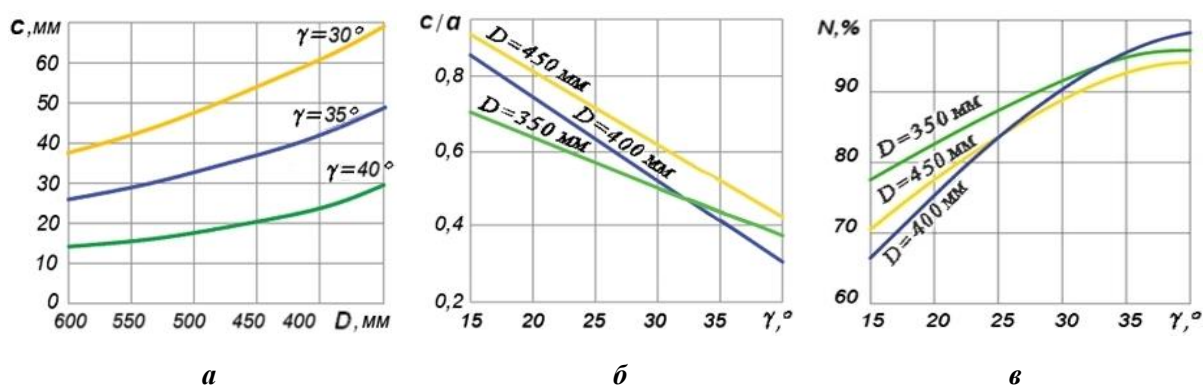


Рис. 1. Залежності агротехнічних показників: *а* – висоти *c* гребенів від діаметра *D* диска та кутів атаки γ ; *б* – відношення *c* до глибини *a* обробітку від γ для різних *D*; *в* – ступеня *N* підрізання рослинних залишків від γ та *D*

Із цих зображень видно, що зменшення діаметра *D* диска зумовлює зростання висоти *c* гребенів борозни, а збільшення кута атаки γ має протилежний вплив. Великі значення останнього покращують підрізання *N* рослинних залишків, однак можуть сприяти забиванню цього сільськогосподарського знаряддя ґрунтом. Відношення висоти гребенів *c* до глибини обробітку *a* спадає зі зростанням кута атаки.

Головна ідея способу зменшення сфери проєктних розв'язків полягає в поступовому раціональному визначенні одного або кількох варіантів опрацьовуваного технічного об'єкта, які з геометричних позицій є, зазвичай, певними точками в багатовимірному просторі. Нехай у випадку, що аналізується, початкова сфера допустимих розв'язків має вигляд:

$$D \in [350 << ; 600 <<], \quad c \in [0 << ; 70 <<], \quad c/a \in [0,2; 0,9],$$

$$\gamma \in [15^0; 40^0], \quad N \in [60\%; 100\%]. \quad (1)$$

Зазначимо, що в загальному випадку сфера (1) може бути значно складнішою.

З наведених виразів видно, що це п'ятивимірний простір параметрів

$$P = (D, c, a, \gamma, N), \quad (2)$$

де в кортежі (2) перші чотири параметри геометричні, а останній – агротехнічний.

На основі традиційного підходу геометричного моделювання стосовно представлення деякого багатовимірної об'єкта певними простішими фігурами апроксимуємо експериментальні графіки рис. 1 аналітичними залежностями за допомогою методу найменших квадратів.

Тоді отримуємо для:

– рис. 1, *а*

$$c(\gamma = 30^0, D <<) = 202,51 \cdot 10^{-6} D^2 - 0,31917 \cdot D + 156,68; \quad (3)$$

$$c(\gamma = 35^0, D <<) = 145,23 \cdot 10^{-6} D^2 - 0,23008 \cdot D + 111,76; \quad (4)$$

$$c(\gamma = 40^0, D <<) = 185,93 \cdot 10^{-6} D^2 - 0,23864 \cdot D + 90,39; \quad (5)$$

– рис. 1, б

$$\frac{c}{a} (D = 350 <<, \gamma^0) = -0,0128 \cdot \gamma + 0,892; \quad (6)$$

$$\frac{c}{a} (D = 400 <<, \gamma^0) = -0,022 \cdot \gamma + 1,18; \quad (7)$$

$$\frac{c}{a} (D = 450 <<, \gamma^0) = -0,02 \cdot \gamma + 1,22; \quad (8)$$

– рис. 1, в

$$N(D = 350 <<, \gamma^0) = -0,01764 \cdot \gamma^2 + 1,70779 \cdot \gamma + 56,23; \quad (9)$$

$$N(D = 400 <<, \gamma^0) = -0,03668 \cdot \gamma^2 + 3,31307 \cdot \gamma + 24,45; \quad (10)$$

$$N(D = 450 <<, \gamma^0) = -0,02656 \cdot \gamma^2 + 2,39008 \cdot \gamma + 41,06. \quad (11)$$

Залежності (3) ... (11) ілюструють конкретне застосування каркаса ліній для відтворення багатовимірної геометричної об'єкта.

Нехай далі на основі наявних даних, міркувань проектування, конструювання, вимог експлуатації тощо вводять додаткові обмеження на початкову сферу допустимих розв'язків (1) у вигляді

$$D \in (350 <<, 400 <<, 450 <<),$$

$$a \in [50 << \dots 100 <<], \quad c \in [0 << \dots 50 <<], \quad (12)$$

$$\frac{c}{a} \in [0 \dots 0,5], \quad \gamma \in [15^0; 40^0], \quad N \in [90\%; 100\%].$$

Тобто з неперервного вихідного проміжку величин діаметра D виокремлено три опрацьовані його дискретні значення, встановлено необхідну глибину обробітку a та висоту гребенів c , їх бажане співвідношення, діапазон кута атаки γ залишено без змін, обмежено ступень N підрізання рослинних залишків.

Розглянемо зменшення сфери проєктних розв'язків унаслідок умов (12). З рис. 1, в та формул (9) ... (11) маємо

$$N(D = 350 <<, \gamma^0) = -0,01764 \cdot \gamma^2 + 1,70779 \cdot \gamma + 56,23 = 90\%; \quad (13)$$

$$N(D = 400 <<, \gamma^0) = -0,03668 \cdot \gamma^2 + 3,31307 \cdot \gamma + 24,45 = 90\%; \quad (14)$$

$$N(D = 450 <<, \gamma^0) = -0,02656 \cdot \gamma^2 + 2,39008 \cdot \gamma + 41,06 = 90\%. \quad (15)$$

На основі рівнянь (13) ... (15) одержуємо скореговані діапазони кутів атаки для дисків:

$$D = 350 \text{ мм}, \gamma \in [27,7^0; 40^0]; \quad (16)$$

$$D = 400 \text{ мм}, \gamma \in [29,1^0; 40^0]; \quad (17)$$

$$D = 450 \text{ мм}, \gamma \in [31,5^0; 40^0]. \quad (18)$$

Застосувавши проміжки (16) ... (18) та залежності (6) ... (8), див. рис. 1, б, уточнюємо для досліджуваних дисків відношення висоти c гребенів до глибини a обробітку ґрунту:

$$D = 350 <<, \frac{c}{a} \in [0,38; 0,54]; \quad (19)$$

$$D = 400 <<, \frac{c}{a} \in [0,3; 0,54]; \quad (20)$$

$$D = 450 <<, \frac{c}{a} \in [0,42; 0,59]. \quad (21)$$

З виразів (19) ... (21), узявши до уваги обмеження (12), одержуємо:

$$D = 350 <<, \frac{c}{a} \in [0,38; 0,5]; \quad (22)$$

$$D = 400 <<, \frac{c}{a} \in [0,3; 0,5]; \quad (23)$$

$$D = 450 <<, \frac{c}{a} \in [0,42; 0,5]. \quad (24)$$

Маючи дані, див. рис. 1, а, для висоти гребенів залежно від дискретних кутів атаки $\gamma \in (30^0; 35^0; 40^0)$, на основі проміжків (16) ... (18) отримуємо:

$$D = 350 \text{ мм}, \gamma \in (30^0; 35^0; 40^0); \quad (25)$$

$$D = 400 \text{ мм}, \gamma \in (30^0; 35^0; 40^0); \quad (26)$$

$$D = 450 \text{ мм}, \gamma \in (35^0; 40^0). \quad (27)$$

Для декартового добутку $D \times \gamma$ елементів (25) ... (27) із використанням співвідношень (3) ... (5), див. рис. 1, а, маємо такі кортежі формату (D, γ, c) :

$$\begin{aligned} & (350 \text{ мм}; 30^0; 69,8 \text{ мм}), (350 \text{ мм}; 35^0; 49 \text{ мм}), (350 \text{ мм}; 40^0; 29,6 \text{ мм}), \\ & (400 \text{ мм}; 30^0; 61,4 \text{ мм}), (400 \text{ мм}; 35^0; 43 \text{ мм}), (400 \text{ мм}; 40^0; 24,7 \text{ мм}), \\ & (450 \text{ мм}; 35^0; 37,6 \text{ мм}), (450 \text{ мм}; 40^0; 20,7 \text{ мм}). \end{aligned} \quad (28)$$

З урахуванням обмежень (12), із множин (28) залишаються

$$\begin{aligned} & (350 \text{ мм}; 35^0; 49 \text{ мм}), (350 \text{ мм}; 40^0; 29,6 \text{ мм}), \\ & (400 \text{ мм}; 35^0; 43 \text{ мм}), (400 \text{ мм}; 40^0; 24,7 \text{ мм}), \\ & (450 \text{ мм}; 35^0; 37,6 \text{ мм}), (450 \text{ мм}; 40^0; 20,7 \text{ мм}). \end{aligned} \quad (29)$$

Висоти гребенів у виразах (29) та формули (22) ... (24) дають змогу обчислити належні проміжки величин глибини a обробітку ґрунту з узяттям до уваги також вимог (12). Остаточно зменшена початкова сфера проєктних розв'язків (1) за розглянутих вище обмежень отримує такий вигляд у форматі (D, γ, c, a, N) :

$$\begin{aligned} & (350 \text{ мм}; 35^0; 49 \text{ мм}; [98 \text{ мм}, 100 \text{ мм}]; [90\%, 100\%]), \\ & (350 \text{ мм}; 40^0; 29,6 \text{ мм}; [59 \text{ мм}, 78 \text{ мм}]; [90\%, 100\%]), \\ & (400 \text{ мм}; 35^0; 43 \text{ мм}; [86 \text{ мм}, 100 \text{ мм}]; [90\%, 100\%]), \\ & (400 \text{ мм}; 40^0; 24,7 \text{ мм}; [49 \text{ мм}, 82 \text{ мм}]; [90\%, 100\%]), \\ & (450 \text{ мм}; 35^0; 37,6 \text{ мм}; [75 \text{ мм}, 90 \text{ мм}]; [90\%, 100\%]), \\ & (450 \text{ мм}; 40^0; 20,7 \text{ мм}; [41 \text{ мм}, 49 \text{ мм}]; [90\%, 100\%]). \end{aligned} \quad (30)$$

Як видно, значення (30) повністю задовольняють умови (12). Отже, на прикладі аналізу впливу деяких конструкційних параметрів ґрунтообробних дисків на їх експлуатаційні показники показано конкретне застосування способу зменшення сфери проєктних розв'язків, який у цьому разі реалізовано графоаналітичними прийомами. При цьому широко вжито такі переваги геометричних моделей, як відносна простота й наочність. Отриманий результат дає змогу надалі спеціалізованим дисциплінам, зокрема ґрунтообробній механіці, виконувати детальніше опрацювання розглянутих знарядь.

Перспективами викладених досліджень у практичному плані є поширення викладеної методики не тільки на інші види сільськогосподарської техніки, а й на решту виробів промислової продукції. У теоретичному аспекті доречне узагальнення запропонованого підходу на

використання, з погляду геометричного моделювання, не тільки ліній, як у наведених ілюстраціях, а також поверхонь та тривимірних фігур. Формально це зробити не важко, зокрема, інтерполяцією або апроксимацією ліній кожного зображення рис. 1 відповідною поверхнею. Але виникає питання рівня адекватності отриманої в такий спосіб математичної моделі. Мається на увазі насамперед допустима точність виконаних так узагальнень. Зазначене питання може бути вирішене проведенням певної серії належних натурних експериментів. Зауважимо, що окреслені завдання доволі важливі для забезпечення якісного автоматизованого проєктування різноманітних технічних виробів.

Висновки

Цю публікацію присвячено важливій сучасній науковій прикладній проблемі подальшого покращення сільськогосподарського виробництва. Проаналізовані завдання, особливо актуальні в нинішній тяжкий воєнний період для нашої держави, оскільки вказана галузь народного господарства зараз є однією з провідних для економіки України. У виконаному дослідженні здійснено ілюстрацію використання способу зменшення сфери проєктних розв'язків для проведення належного комплексного аналізу конструкційно-експлуатаційних параметрів ґрунтообробних дисків. Відомо, що зазначені знаряддя суттєво підвищують ефективність багатьох теперішніх аграрних технологічних процесів. Тому їх удосконалення становить одне з ключових поточних завдань науки та виробництва. У статті також визначено деякі основні перспективні напрями подальшого розвитку описаного підходу щодо узагальнення наявних теоретичних напрацювань та розширення практичного застосування розглянутої методики як у сільському господарстві, так і в інших галузях промисловості.

Список використаної літератури

1. Stender S., Tsvihun I., Balla I., Borkovska V., Haibura Yu. Innovative approaches to improving the agricultural sector in the era of digitalization of the economy. *Scientific Horizons*. 2024. Vol. 27, № 3. P. 154–163. doi: 10.48077/scihor3.2024.154.
2. Ванін В. В., Вірченко Г. А., Яблонський П. М. Деякі геометричні аспекти класифікації дискових робочих органів ґрунтообробних знарядь. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь : МДПУ, 2019. Вип. 16. С. 70–75. doi: 10.33842/2313-125X-2019-16.
3. Ванін В. В., Вірченко Г. А., Яблонський П. М. Автоматизоване геометричне моделювання дискових робочих органів технічних об'єктів. *Інформаційні системи, механіка та керування*. Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2019. Вип. 21. С. 5–13. doi: 10.20535/2219-3804212019197602.
4. Xu G., Xie Y., Peng S., Liang L., Ding Q. Performance evaluation of vertical discs and disc coulters for conservation tillage in an intensive rice–wheat rotation system. *Agronomy*. 2023. Vol. 13, 1336. doi: 10.3390/agronomy13051336.
5. Zeng Z., Thoms D., Chen Y., Ma X. Comparison of soil and corn residue cutting performance of different discs used for vertical tillage. *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11, 2537. doi: 10.1038/s41598-021-82270-9.
6. Гуцол О. П., Ковбаса В. П. Обґрунтування параметрів і режимів руху ґрунтообробних машин з дисковими робочими органами : Монографія. Київ : НУБіП України, 2016. 145 с.
7. Яблонський П. М. Деякі питання узагальнення засобів геометричного моделювання для проєктування технічних об'єктів. *Сучасні проблеми моделювання*. Мелітополь : МДПУ, 2018. Вип. 13. С. 192–198.
8. Ванін В. В., Вірченко Г. А., Яблонський П. М., Незенко А. Й. Деякі актуальні задачі сучасного комп'ютерного геометричного моделювання технічних об'єктів. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. Київ : КНУБА, 2020. Вип. 97. С. 16–22. doi: 10.32347/0131-579x.2020.97.

References

1. Stender, S., Tsvihun, I., Balla, I., Borkovska, V., & Haibura, Yu. (2024). Innovative approaches to improving the agricultural sector in the era of digitalization of the economy. *Scientific Horizons*, 27(3), 154–163. doi: 10.48077/scihor3.2024.154 [in English].
2. Vanin, V. V., Virchenko G. A., & Yablonskyi P. M. (2019). Deiaki heometrychni aspekty klasyfikatsii diskovykh robochykh orhaniv gruntoobrobnykh znariad. [Some geometrical aspects of the classification of disc working bodies of tillage implements]. *Suchasni problemy modeliuвання*, 16, 70–75. doi: 10.33842/2313-125X-2019-16 [in Ukrainian].
3. Vanin, V. V., Virchenko, G. A., & Yablonskyi P. M. (2019). Avtomatyzovane heometrychne modeliuвання diskovykh robochykh orhaniv tekhnichnykh ob'ektiv. [Automated geometrical modelling of disc working bodies of technical objects]. *Informatsiini systemy, mekhanika ta keruvannya*, 21, 5–13. doi: 10.20535/2219-3804212019197602 [in Ukrainian].
4. Xu, G., Xie, Y., Peng, S., Liang, L., & Ding, Q. (2023). Performance evaluation of vertical discs and disc coulters for conservation tillage in an intensive rice–wheat rotation system. *Agronomy*, 13, 1336. doi: 10.3390/agronomy13051336 [in English].
5. Zeng, Z., Thoms, D., Chen, Y., & Ma, X. (2021). Comparison of soil and corn residue cutting performance of different discs used for vertical tillage. *Scientific Reports*, 11, 2537. doi: 10.1038/s41598-021-82270-9 [in English].
6. Hutsol, O. P., & Kovbasa, V. P. (2016). *Obgruntuvannya parametriv i rezhymiv rukhu gruntoobrobnykh mashyn z diskovymy robochymy orhanamy: Monohrafiia*. [Justification of the parameters and modes of movement of tillage machines with disc working bodies: Monograph]. Kyiv: NUBiP [in Ukrainian].
7. Yablonskyi, P.M. (2018). Deiaki pytannya uzahalnennia zasobiv heometrychnoho modeliuвання dlia proektuvannya tekhnichnykh ob'ektiv. [Some issues of generalization of geometric modelling tools for the design of technical objects]. *Suchasni problemy modeliuвання*, 13, 192–198. [in Ukrainian].
8. Vanin, V. V., Virchenko, G. A., Yablonskyi, P. M., & Nezenko, A. I. (2020). Deiaki aktualni zadachi suchasnoho kompiuternoho heometrychnoho modeliuвання tekhnichnykh ob'ektiv. [Some actual problems of modern computer geometric modelling of technical objects.]. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika*, 97, 16–22. doi: 10.32347/0131-579x.2020.97 [in Ukrainian].

Яблонський Петро Миколайович – к.т.н., доцент, доцент кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». E-mail: ypn@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1971-5140.

Вірченко Геннадій Анатолійович – д.т.н., професор, завідувач кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». E-mail: kpivir@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9586-4538.

Грубич Марія Володимирівна – асистент кафедри нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». E-mail: mariya.grubich@gmail.com, ORCID: 0009-0003-9056-3826.

Терещук Микола Олександрович – к.т.н., докторант кафедри архітектурних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури. E-mail: nikolatereschuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4444-3677.

Yablonskyi Petro Mykolaiovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Descriptive Geometry, Engineering and Computer Graphics of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. E-mail: ypn@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1971-5140.

Virchenko Gennadii Anatoliyovych – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Descriptive Geometry, Engineering and Computer Graphics of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. E-mail: kpivir@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9586-4538.

Hranych Mariya Volodymyrivna – Assistant at the Department of Descriptive Geometry, Engineering and Computer Graphics of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. E-mail: mariya.grubich@gmail.com, ORCID: 0009-0003-9056-3826.

Tereschuk Mykola Oleksandrovych – Candidate of Technical Sciences, Doctoral Student at the Department of Architectural Structures of the Kyiv National University of Construction and Architecture. E-mail: nikolatereschuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4444-3677.