

АНОТАЦІЯ

Федишин Б.М. *Обґрунтування параметрів землерийного робочого обладнання з рухомих косокутним ножом.* – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування» – Київський національний університет будівництва і архітектури. – Київ, 2025.

Дисертаційну роботу присвячено аналізу та підвищенню ефективності використання землерийних машин та подальший розвиток наукових основ розробки ґрунтів просторово орієнтованими ножами на основі встановлення закономірностей впливу руху просторово орієнтованих ножів на ґрунт та розробки методів і моделей – обґрунтування параметрів будівельних машин для підвищення їх надійності та ефективності.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у встановленні закономірностей процесу копання ґрунтів III – V категорій відвальним робочим органом з рухомими косокутними ножами, що враховують вплив орієнтації рухомих ножів в плані по відношенню до основного руху робочого органа на енергетичні показники процесу різання ними робочого середовища .

вперше:

- обґрунтовано геометричні параметри взаємодії рухомого двогранного косокутного ножа відвалу бульдозера, які полягають в тому, що зі збільшенням кута сили різання зменшуються силові та енергетичні показники;
- розроблено математичну модель визначення силових параметрів різання ґрунтів III-V категорій, рухомими просторово орієнтованими ножами, яка враховує зниження енергоємності землерийних машин;

удосконалено:

- систему визначення характеру впливу геометричних та кінематичних параметрів просторово орієнтованих ножів на їх силові та енергетичні показники при розробці ґрунтового середовища;

набули подальшого розвитку:

- методи визначення сили копання ґрунтів III – V категорій, рухомими просторово орієнтованими ножами відвалу бульдозера;
- методи інтенсифікації землерийного робочого обладнання бульдозера

Основний зміст дисертаційної роботи.

Дисертаційну роботу спрямовано на створення моделі розрахунку та дослідженні закономірностей процесу різання рухомими просторово орієнтованими ножами відвалу бульдозера. Їх вплив на силу та енергоємність різання ґрунтів III - V категорій.

У першому розділі досліджено основні критерії оцінки різання ґрунтового середовища, де було встановлено, що вид робочого органа і його геометричні та кінематичні характеристики істотно впливають на силу різання. Також проведений аналіз праць про стружкоутворення при різанні ґрунтів, та з'ясовано, що за виглядом і типом стружки можна мати розуміння як протікає процес різання. Далі провели аналіз косокутного різання, де було встановлено характер взаємодії косокутного ножа з ґрунтовим середовищем. Наступним було проведено дослідження умов раціональності робочих органів землерийної техніки. Також досліджено джерела патентної документації та запитів в мережі інтернет, з метою визначення актуальності проблеми різання ґрунтів просторово-орієнтованими ножами при роботі землерийними машинами та подальшого аналізу запропонованих технічних рішень. В результаті вищевказаних досліджень, було встановлено, що тема косокутного різання рухомими ножами є малодослідженою, а аналіз патентів показав що тема, зберігає постійну актуальність на розглянутому часовому проміжку.

У другому розділі досліджено геологічну карту «Українського кристалічного щита», на якій виявлено найпоширеніші ґрунти на території України, а саме, мергелі, суглинки та глинисті глини.

Виведено робочу гіпотезу, руху просторово-орієнтованих ножів на відвалі бульдозера, де встановлено, що при розробці ґрунту на різних швидкостях переміщення базової машини та руху просторово орієнтованого відбувається відхилення вектору прикладання сили різання на кут (α), що в свою чергу

впливає на геометричну взаємодію просторово-орієнтованого ножа з робочим середовищем. Зміна геометричної взаємодії просторово орієнтованого ножа з ґрунтом впливає на силу різання, що зумовило створення параметричної моделі взаємодії просторово-орієнтованих ножів з робочим середовищем.

Модель була розроблена для різних конфігурацій ножів відвалу бульдозера і різних співвідношень швидкості бульдозера до швидкості руху просторово орієнтованого ножа.

Була створена розрахункова модель, відповідно до робочої гіпотези, де було отримано п'ять планів руху просторово орієнтованих ножів відвального обладнання, у кореляції до відхилення прикладеної повної сили різання на кут α . Проведено розрахунок сил різання ґрунту на різних глибинах при роботі рухомих просторово орієнтованих ножів робочого органу.

У третьому розділі описано програму та об'єкт проведення експериментальних досліджень. Експериментальні дослідження проводилися з метою перевірки адекватності отриманих аналітичних даних. У експериментальному дослідженні, для дотримання умов подібності процесів, що відбуваються, при взаємодії фізичної моделі оригінального робочого органу, з навколишнім середовищем, необхідно дотримуватися рівності, критеріїв геометричної та динамічної подібності. Виражено параметри натурного процесу через параметри фізичної моделі та коефіцієнти подібності.

Для проведення експериментальних досліджень процесу різання робочого середовища просторово орієнтованими відвалами ножового обладнання було вдосконалено динамометричний стенд для реєстрації силового навантаження авторської конструкції КНУБА, що дозволило провести повноцінні експериментальні дослідження з урахуванням усіх існуючих факторів взаємодії робочого середовища та робочого органу під час різання. Запропоновано використання ґрунтів III, IV та V категорій як робочого середовища.

За допомогою CAD систем, було створено 3D модель та випробувального стенду, для реєстрації сил різання, з рухомих просторово орієнтованих ножем, при цьому симулювати різні види роботи, навантажень та частоти власних коливань.

Вирішити відомі недоліки випробувального стенду та удосконалити його конструкцію. Відповідно до побудованої 3D моделі, відтворити справжню модель пристрою поздовжньо-поступального переміщення, та самого рухомого просторово орієнтованого ножа.

Підібрано та модернізовано вимірювально-реєструюче обладнання, та створено методику проведення експериментальних досліджень.

Проведені експериментальні дослідження в повній мірі підтверджують адекватність теоретичних розрахунків, а порівняння теоретичних та експериментальних результатів визначення сили різання показало їх достатню збіжність і, відповідно, правомірність використання аналітичних виразів при розрахунку силових параметрів машин з просторово орієнтованими ножами відвального обладнання.

Максимальне значення похибки визначення сили різання теоретичним та експериментальним шляхом на лабораторному стенді реєстрації сил різання просторово орієнтованими ножами відвального обладнання становить $\Delta_{\delta}=10,06\%$.

У четвертому розділі досліджено загальний опір та його складові, що виникають під час роботи бульдозера в ґрунтовому середовищі та процесів у призмі волочіння.

Цей загальний опір є сукупністю кількох окремих сил: опору необхідного для розрізання робочого середовища; опору від волочіння призми ґрунту перед відвалом; опору, що виникає при русі ґрунту вгору по поверхні відвалу; опору руху самого бульдозера; а також тертя відвалу об ґрунт.

Результатом дослідження являється демонстрація того, що використання рухомих просторово орієнтованих ножів на відвалі значно зменшує необхідну силу різання. Розрахунки та графіки підтверджують, що чим більше змінюється кут α прикладання сили різання, тим легше зрізається ґрунт. Це зменшення опору різанню безпосередньо позитивно впливає на стійкість машини під час роботи, що є важливим фактором в умовах експлуатації.

Також було досліджено ключові показники ефективності роботи землерийної машини, а саме продуктивності, що вимірюється в обсягах

переміщеного ґрунту за одиницю часу, та енергоємності, кількості енергії, необхідної для виконання одиниці роботи. У важких ґрунтах високий опір змушує бульдозер зрізати тонші шари, що знижує об'єм ґрунту, який може бути переміщений за один цикл, і збільшує загальну тривалість робочого циклу. Однак, завдяки зменшенню сили різання, досягнутому за допомогою рухомих просторово орієнтованих ножів, бульдозер може розвивати вищу робочу швидкість. Це призводить до значного збільшення загальної продуктивності машини і до зниження питомої витрати енергії на одиницю виконаного обсягу роботи. Оптимізація цих двох показників є основним завданням для максимізації вигоди та зниження експлуатаційних витрат у будівельній та гірничодобувній галузях.

Ключові слова: бульдозер, відвал, ніж відвалу, просторово-орієнтовані, косокутне різання, просторово орієнтований, стружкоутворення, просторово-орієнтований, відвал екскаватора, вектор, співвідношення швидкостей, параметризація, сила різання, просторова орієнтація, кут повороту в плані, опір різанню, комп'ютерне випробування, бульдозерний відвал, випробувальний стенд, парафін, установка, фізична модель, різання, робочий орган, середовище, моделювання, коефіцієнти подібності, лабораторний стенд, експериментальне дослідження, стенд, вимірювально-реєструюче обладнання, ймовірність виконання нерівності, 3D проектування, навантаження на грані, оптимізація, енергоємність, переміщення..

ABSTRACT

Fedyshyn B.M. Substantiation of parameters for earthmoving working equipment with a movable oblique-angled blade. – *Qualification Research as the manuscript.*

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 133 – “Industrial Mechanical Engineering” – Kyiv National University of Construction and Architecture. – Kyiv, 2025.

The dissertation is devoted to the analysis and improvement of the efficiency of the use of earthmoving machines and the further development of the scientific foundations of soil development with spatially oriented knives based on the establishment of the regularities of the influence of the movement of spatially oriented knives on the soil and the development of methods and models – justification of the parameters of construction machines to increase their reliability and efficiency.

The scientific novelty of the obtained results lies in the determination of the regularities of the process of digging soils of categories III - V by a blade working body with movable oblique knives, which take into account the influence of the orientation of the movable knives in the plan in relation to the main movement of the working body on the energy indicators of the process of cutting the working medium by them.

first developed:

- The geometric parameters for the interaction of the movable two-sided oblique knife of the bulldozer blade were substantiated, demonstrating that an increase in the cutting force angle reduces the required force and energy indicators;
- a mathematical model for determining the power parameters of cutting soils of categories III - V by movable spatially oriented knives was developed, which takes into account the reduction of the energy intensity of earthmoving machines;

improved:

- a system for determining the nature of the influence of the geometric and kinematic parameters of spatially oriented knives on their power and energy indicators when developing the soil medium;

acquired further development:

- methods for determining the digging force of soils of categories III–V by moving spatially oriented blades of a bulldozer blade;
- methods for intensification of the earthmoving working equipment of a bulldozer

The main content of the dissertation work.

The dissertation work is aimed at creating a calculation model and studying the regularities of the cutting process by moving spatially oriented blades of a bulldozer blade. Their influence on the force and energy intensity of cutting soils of categories III – V.

In the first chapter, examines the main criteria for assessing the cutting of the soil environment, where it was established that the type of working body and its geometric and kinematic characteristics significantly affect the cutting force. An analysis of works on chip formation during cutting of soils was also conducted, and it was found that by the type and type of chips one can have an understanding of how the cutting process proceeds. Then, an analysis of oblique cutting was conducted, where the nature of the interaction of the oblique knife with the soil environment was established. Next, a study of the conditions of rationality of the working bodies of earthmoving equipment was conducted. Sources of patent documentation and Internet queries were also studied in order to determine the relevance of the problem of cutting soils with spatially oriented knives when working with earthmoving machines and further analysis of the proposed technical solutions. As a result of the above studies, it was found that the topic of oblique cutting with movable knives is poorly studied, and the analysis of patents showed that the topic remains constantly relevant in the considered time period.

In the second chapter, a geological map of the “Ukrainian Crystalline Shield” was studied, on which the most common soils on the territory of Ukraine were identified, namely, marls, loams and clayey clays.

A working hypothesis of the movement of spatially oriented knives on a bulldozer blade was derived, where it was established that when developing the soil at different speeds of movement of the base machine and the movement of the spatially oriented one, the vector of the application of the cutting force by an angle (α) is

deviated, which in turn affects the geometric interaction of the spatially oriented knife with the working environment. A change in the geometric interaction of the spatially oriented knife with the soil affects the cutting force, which led to the creation of a parametric model of the interaction of spatially oriented knives with the working environment.

The model was developed for different knife configurations and different ratios of the speed of the bulldozer to the speed of movement of the spatially oriented knife.

A computational model was created, in accordance with the working hypothesis, where five plans of movement of the spatially oriented knives of the blade equipment were obtained, in correlation with the deviation of the applied total cutting force by an angle α . The calculation of soil cutting forces at different depths during the operation of movable spatially oriented knives of the working body is carried out.

In the third chapter describes the program and object of experimental research. Experimental research was carried out to verify the adequacy of the obtained analytical data. In the experimental study, in order to comply with the conditions of similarity of the processes occurring during the interaction of the physical model of the original working body with the environment, it is necessary to adhere to the equality, criteria of geometric and dynamic similarity. The parameters of the natural process are expressed through the parameters of the physical model and similarity coefficients.

To conduct experimental studies of the process of cutting the working environment with spatially oriented blades of knife equipment, a dynamometer stands for registering the force load of the author's design of KNUBA was improved, which allowed conducting full-fledged experimental studies taking into account all existing factors of interaction of the working environment and the working body during cutting. It was proposed to use soils of categories III, IV and V as a working environment.

Using CAD systems, a 3D model of the test stand was created for registering cutting forces with a moving spatially oriented knife, while simulating various types of work, loads and frequencies of natural oscillations.

To solve the known shortcomings of the test stand and improve its design. According to the constructed 3D model, to recreate a real model of the longitudinal translational movement device and the moving spatially oriented knife itself.

The measuring and recording equipment were selected and modernized, and the methodology for conducting experimental studies was developed.

The conducted experimental studies fully confirm the adequacy of theoretical calculations, and the comparison of theoretical and experimental results of determining the cutting force showed their sufficient convergence and, accordingly, the validity of using analytical expressions when calculating the force parameters of machines with spatially oriented knives of blade equipment.

The maximum error value of determining the cutting force by theoretical and experimental means on the laboratory stand for recording cutting forces by spatially oriented knives of blade equipment is $\Delta_{\delta}=10.06\%$.

In the fourth chapter presents an investigation into the total resistance and its constituent components that are generated during the operation of a bulldozer within a soil medium, specifically focusing on the dynamics of the soil drag prism.

This total resistance is defined as the summation of several distinct forces: the resistance necessary for the cutting of the working medium; the resistance arising from the dragging of the soil prism preceding the blade; the resistance developed during the upward movement of soil along the surface of the blade; the resistance to the motion of the bulldozer itself; and the frictional force between the blade and the soil.

The core finding of this research is the demonstration that the implementation of movable spatially-oriented knives on the blade significantly reduces the requisite cutting force. Empirical calculations and graphical analyses confirm a correlational relationship: a greater change in the cutting force application angle α results in a corresponding reduction in the force required to shear the soil. This minimization of cutting resistance directly and positively influences the operational stability of the machine, which constitutes a critical parameter in field exploitation conditions.

Furthermore, the study examined key performance metrics for earthmoving machinery, namely productivity (quantified as the volume of displaced soil per unit of time) and energy intensity (the energy expenditure required to perform a unit of work). In heavy soils, elevated resistance compels the bulldozer to engage with thinner layers, thereby decreasing the volume of soil transportable per cycle and augmenting the overall duration of the work cycle. Conversely, the reduction in cutting force achieved

via the movable spatially-oriented knives enables the bulldozer to attain a higher working velocity. This mechanism facilitates a substantial increase in the machine's overall productivity and a concomitant reduction in the specific energy consumption per unit of completed work volume. The optimization of these two indicators is paramount for maximizing economic benefit and mitigating operating costs across the construction and mining sectors.

Keywords: bulldozer, blade, blade knives, spatially oriented, oblique cutting, spatially oriented, chip formation, spatially oriented, excavator blade, vector, speed ratio, parameterization, cutting force, spatial orientation, angle of rotation in the plan, cutting resistance, computer testing, bulldozer blade, test stand, paraffin, installation, physical model, cutting, working body, environment, modelling, similarity coefficients, laboratory stand, experimental research, stand, measuring and recording equipment, probability of inequality fulfilment, 3D designing, load on faces, optimization, energy intensity, movement.