

ЛІТЕРАТУРА

1. Машины для земляных работ : Навч. посіб. / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Ничке та ін./ – Під заг. ред. проф. Л. А. Хмари та проф. С. В. Кравця. – Рівне – Дніпропетровськ – Харків. – 2010. – 557 с.
2. Гарбузов З. Е. Землеройные машины непрерывного действия. Конструкции и расчеты. Под ред. Подборского Л. Е. М.—Л., «Машиностроение», 1965. – 275 с.
3. Бородачев И.П. Справочник конструктора дорожных машин / И.П. Бородачев, С.А. Варганов, М.Р. Гарбер и др. Под общ. Ред. И.П. Бородачева. -М.: Машиностроение, 1965. 724 с.
4. Патент на корисну модель №59935 Україна, МПК E02F 5/00. Різально-кидальний робочий орган/ Голубченко О.І., Хожило М.Е./ Власник ДВНЗ «ПДАБА», заявл.19.10.10; опубл.10.06.11, Бюл.№11.
5. Патент на корисну модель №48487 Україна, МПК E02F 5/00. Робочий орган землерийної машини безперервної дії/ Хмара Л.А., Голубченко О.І., Хожило М.Е./ Власник ДВНЗ «ПДАБА», заявл.03.08.09; опубл.25.03.10, Бюл.№6.
6. Патент на корисну модель №61081 Україна, МПК E02F 5/00. Робочий орган землерийної машини безперервної дії / Голубченко О.І., Хожило М.Е., Обух А.І./ Власники Голубченко О.І., Хожило М.Е., Обух А.І., заявл.06.12.10; опубл. 11.07.11, Бюл.№13.

УДК 621.878.2::167.23

О. І. ГОЛУБЧЕНКО, канд. техн. наук., М. Е. ХОЖИЛО, аспірант.

*Державний вищий навчальний заклад
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»*

БАГАТОФАКТОРНІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КОПАННЯ ҐРУНТА РІЗАЛЬНО-МЕТАЛЬНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

Актуальність проблеми. Робоче обладнання активної дії дозволяє скоротити кількість послідовних проходів, збільшити ширину копання ґрунта, зменшити величину перекриття та підвищити точність робіт. Робочий процес при використанні цього обладнання може здійснюватися машинами, які мають більшу енергонасиченість при меншій вазі [1]. При впровадженні активного робочого обладнання землерийно-транспортних машин безперервної дії виникає ряд питань по забезпеченню високої транспортуючої

здібності обладнання, вибору найбільш вигідних схем руйнування ґрунту та навішування робочих органів, розробки ефективних конструктивних рішень, для переміщення ґрунту із зони різання на зовнішній транспортуючий пристрій [1, 2, 3].

Аналіз публікацій. Більшість публікацій про дослідження робочих процесів землерийно-транспортних машин безперервної дії стосується машин статичної дії, зокрема вдосконаленню та визначенню раціональних параметрів ріжучих систем [4, 5, 6].

Мета. Метою експериментальних досліджень є отримання характеру зміни силових, енергетичних та технологічних показників робочого процесу різально-метального робочого органа (РМРО) від його геометричних і кінематичних параметрів, а також умов взаємодії з ґрунтом.

Основна частина. Перед плануванням експериментальних досліджень була проведена серія попередніх випробувань фізичних моделей різально-метальних робочих органів. Попередні експерименти дали змогу визначитися, що необхідно досліджувати більш ретельно робочий орган з кутом транспортувальної поверхні $\alpha_{\text{тр}}=35^\circ$, так як, робочий орган з кутом $\alpha_{\text{тр}}=15^\circ$ має погану розвантажувальну здатність.

Задля проведення дослідів був обраний метод багатофакторного планування експериментів, а саме: рототабельний центральний композиційний план другого порядку для 4-х факторів з довірчою ймовірністю 0,95 [7, 8]. Обраний план найбільш точно описує процес копання ґрунту різально-метальним робочим органом.

При копанні горизонтальної ґрунтової поверхні РМРО у якості функцій відгуку прийняли значення крутного моменту M на приводному валу РМРО, енергоємність E робочого процесу, та коефіцієнт транспортування ґрунту K_T , а у якості факторів, що впливають на функцію відгуку - X_1 – частота обертання приводного вала, n ; X_2 – швидкість руху машини, V_M ; X_3 – глибина копання, H_k ; X_4 – кут встановлення кожуха, $\alpha_{\text{кож}}$. Рівні факторів та інтервали варіювання наведені у табл.1.

Таблиця 1.

Рівні варіації факторів процесу копання ґрунту РМРО

Фактори	Рівні факторів					Інтервал варіювання
	-2	-1	0	+1	+2	
X_1 -частота обертання приводного вала, n , об/хв.	200	235	270	305	340	35
X_2 -швидкість руху машини, V_M , м/с	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,01
X_3 -глибина копання, H_k , м.	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,005
X_4 -кут встановлення кожуха, $\alpha_{\text{кож}}$, град	30	45	60	75	90	15

При визначенні регресії, яка характеризує робочий процес різально-метального робочого органа використовувалась універсальна модель в масштабі $K_l = 4$.

Реалізація плану експеримента дала змогу отримати пакет електронних осцилограм, після розшифровки яких був сформований числовий масив значень для критерію оптимізації M . Для визначення коефіцієнта транспортування K_T після проведення кожного експерименту реєструвався об'єм ґрунту, який потрапив у накопичувальний контейнер.

Повний об'єм зрізаного ґрунту вираховувався по формулі

$$V_{зг} = BL_k H_k, \quad (1)$$

де B – ширина копання ґрунта;

L_k – довжина копання;

H_k – глибина копання.

Об'єм ґрунту, що транспортується до накопичувального контейнера

$$V_{тр} = m/\gamma_p, \text{ м}^3, \quad (2)$$

де m – маса ґрунту у накопичувальному контейнері;

γ_p – щільність розрихленого ґрунта.

Коефіцієнт транспортування K_T визначався

$$K_T = V_{зг}/V_{тр}. \quad (3)$$

При цьому, для забезпечення надійності отриманих результатів з урахуванням точності системи вимірювання і стендового обладнання кожна точка плану дублювалася чотири рази.

Після статичної обробки масиву експериментальних даних на ПЕОМ за допомогою програми «STATGRAPHICS Plus» були отримані наступні регресійні моделі, які адекватно описують залежність критеріїв оптимізації M та K_T від прийнятих факторів n , V_m , H_k , $\alpha_{кож}$.

При копанні ґрунтової поверхні РМРО ЗТМБД значення моменту M

$$\begin{aligned} M = & 2,05 - 0,2479 X_1 + 0,3145 X_2 + 0,5395 X_3 + 0,0062 X_4 - 0,065 X_1 X_2 - \\ & - 0,0156 X_1 X_3 - 0,0531 X_1 X_4 + 0,0281 X_2 X_3 + 0,0156 X_2 X_4 + 0,0656 X_3 X_4 + \\ & + 0,0672 X_1^2 + 0,1546 X_2^2 + 0,0672 X_3^2 - 0,0203 X_4^2, \end{aligned} \quad (4)$$

де X_i – кодовані значення впливових факторів.

Коефіцієнт транспортування ґрунту K_T

$$\begin{aligned} K_T = & 0,849 + 0,024X_1 + 0,014X_2 - 0,018X_3 - 0,035X_4 + 0,0037X_1^2 - 0,041X_1X_2 - 0,0068X_1X_3 \\ & - 0,0093X_1X_4 + 0,0034X_2^2 - 0,0091X_2X_3 - 0,0048X_2X_4 - 0,027X_3^2 + 0,015X_3X_4 + 0,003X_4^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Енергоємність процесу копання E

$$\begin{aligned} E = & 120751 + 2895,6 X_1 - 5418 X_2 - 2560,68 X_3 - 615,73 X_4 - 2733,7 X_1 X_2 + \\ & + 2598,13 X_1 X_3 - 2593,45 X_1 X_4 - 2527,69 X_2 X_3 + 562,07 X_2 X_4 + 3911,76 X_3 X_4 + \\ & + 1770,82 X_1^2 + 9747,29 X_2^2 + 5697,7 X_3^2 - 1665,19 X_4^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Регресійні моделі (4)-(6) в поіменованих значеннях врахованих факторів мають вигляд:

$$M = 7,149 - 0,001758 n + 121,04 Vm - 61,72 H_k + 0,0147 \alpha_{\text{кож}} - 0,1875 n Vm - 0,0893 n H_k - 0,0001 n \alpha_{\text{кож}} + 562,5 Vm H_k + 0,104 Vm \alpha_{\text{кож}} + 0,875 H_k \alpha_{\text{кож}} + 0,000054 n^2 + 1546,87 Vm^2 + 2687,5 H_k^2 - 0,00009 \alpha_{\text{кож}}^2 ; \quad (7)$$

$$K_T = -1,7533 + 0,00796 n + 34,47 Vm + 49,05 H_k - 0,00108 \alpha_{\text{кож}} - 0,117 n Vm - 0,039 n H_k - 0,000018 n \alpha_{\text{кож}} - 182 Vm H_k - 0,032 Vm \alpha_{\text{кож}} + 0,2 H_k \alpha_{\text{кож}} + 0,000003 n^2 + 34 Vm^2 - 1080 H_k^2 + 0,000013 \alpha_{\text{кож}}^2 ; \quad (8)$$

$$E = 553460,7 - 229,79n - 9343447,2Vm - 13733180H_k + 912,859\alpha_{\text{кож}} - 7810,57nVm + 14846,46 n H_k - 4,94n \alpha_{\text{кож}} - 50553800 Vm H_k + 3747,15Vm\alpha_{\text{кож}} + 52156,8 H_k \alpha_{\text{кож}} + 1,445 n^2 + 97472900 Vm^2 + 22798000 H_k^2 - 7,4 \alpha_{\text{кож}}^2 . \quad (9)$$

Оцінка якісних показників при дослідженні регресійних моделей дає підстави стверджувати, що встановлення захисного кожуха значно поліпшує транспортування ґрунта у напрямі накопичувального контейнера.

Дослідження поверхонь відгуку M , K_T , E на ПЕОМ дозволило отримати тривимірні графічні зображення, які відображають вплив на цільові функції врахованих факторів n , Vm , H_k , $\alpha_{\text{кож}}$.

На рис. 1 а. показано графічне зображення впливу на поверхню відгуку крутного моменту M врахованих факторів, яке свідчить, що найбільш впливовим фактором на цільову функцію моменту є глибина копання H_k .

Виходячи з цієї умови були побудовані поверхневі графіки (рис. 1. б, в, г) при зміні глибини копання H_k . Як видно з графіків при куті встановлення кожуху $\alpha_{\text{кож}} = 60^\circ$ та збільшенні глибини копання H_k від 0,015 м до 0,025 м крутний момент M на валу РКРО збільшився у 1,5 рази.

На рис. 2 показані залежності коефіцієнта транспортування ґрунта K_T від кута встановлення кожуха $\alpha_{\text{кож}}$. Зокрема на рис.3.а показаний вплив усіх факторів на поверхню відгуку K_T , з яких в найбільшій ступені впливає $\alpha_{\text{кож}}$.

Виходячи з наведених поверхневих графіків (рис. 2. б, в, г) можна зробити висновок, що поверхнева функція $K_T = f(n, Vm)$ має найбільшу висоту розташування при $\alpha_{\text{кож}} = 45^\circ$ та постійному значенні $H_k = 0,02$ м. Слід відзначити, що при усіх рівнях обраних факторів діапазон зміни коефіцієнта $K_T = 0,75 - 0,95$. Більші значення K_T при постійному куті $\alpha_{\text{кож}}$ відповідають максимальній частоті обертання приводного вала РКРО і у цьому випадку коефіцієнт $K_T = 0,85 - 0,95$, а також його значення незначній ступені залежать від швидкості руху машини Vm . В той же час при мінімальній частоті обертання $K_T = 0,75 - 0,9$ і на його значення впливає швидкість руху машини Vm .

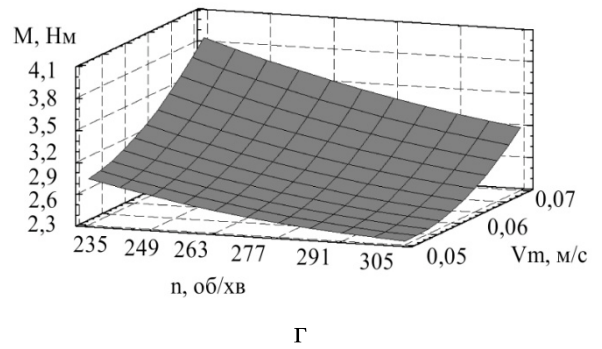
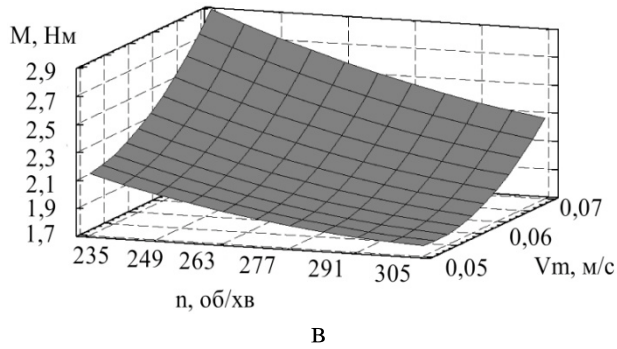
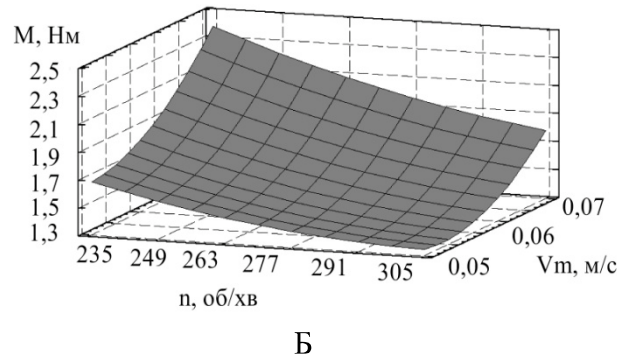
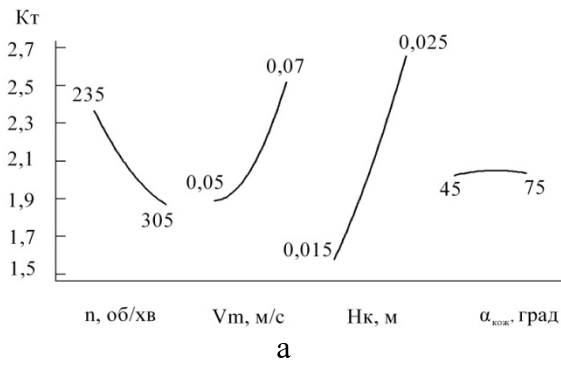


Рис.1. Графіки залежності $M=f(n, V_m, H_k, \alpha_{\text{кож}})$: а - вплив факторів на поверхню відгуку M ; б - $H_k=0,015$ м, $\alpha_{\text{кож}}=60^\circ$; в - $H_k=0,02$ м, $\alpha_{\text{кож}}=60^\circ$; г - $H_k=0,025$ м, $\alpha_{\text{кож}}=60^\circ$.

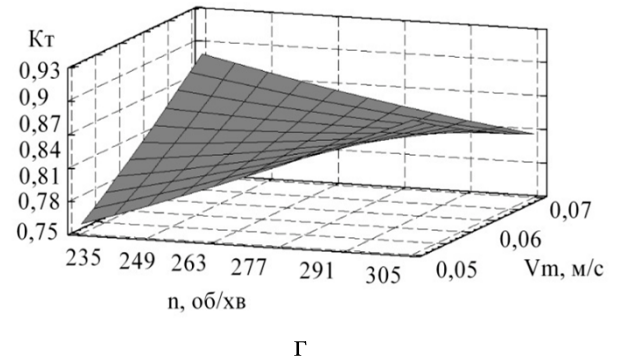
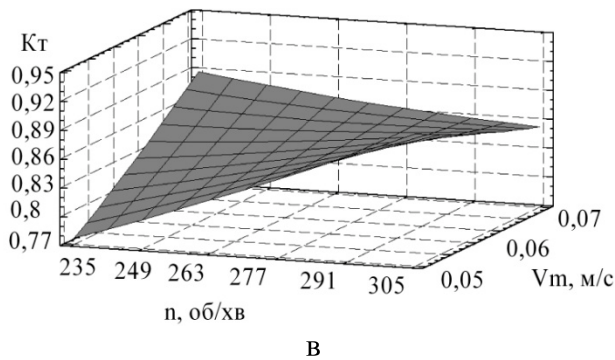
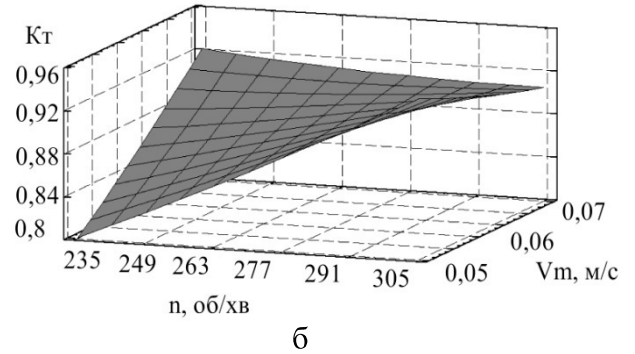
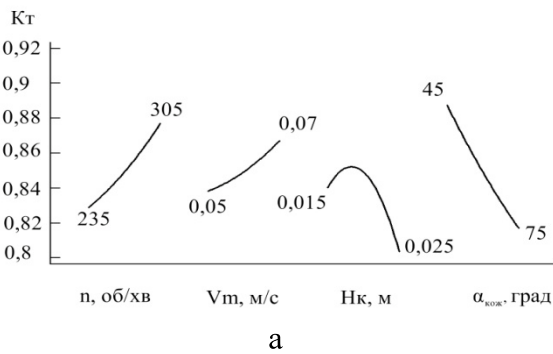


Рис. 2. Графіки залежності $K_T=f(n, V_m, H_k, \alpha_{\text{кож}})$: а - вплив факторів на K_T ; б - $\alpha_{\text{кож}}=45^\circ$, $H_k=0,02$ м; в - $\alpha_{\text{кож}}=60^\circ$, $H_k=0,02$ м; г - $\alpha_{\text{кож}}=75^\circ$, $H_k=0,02$ м.

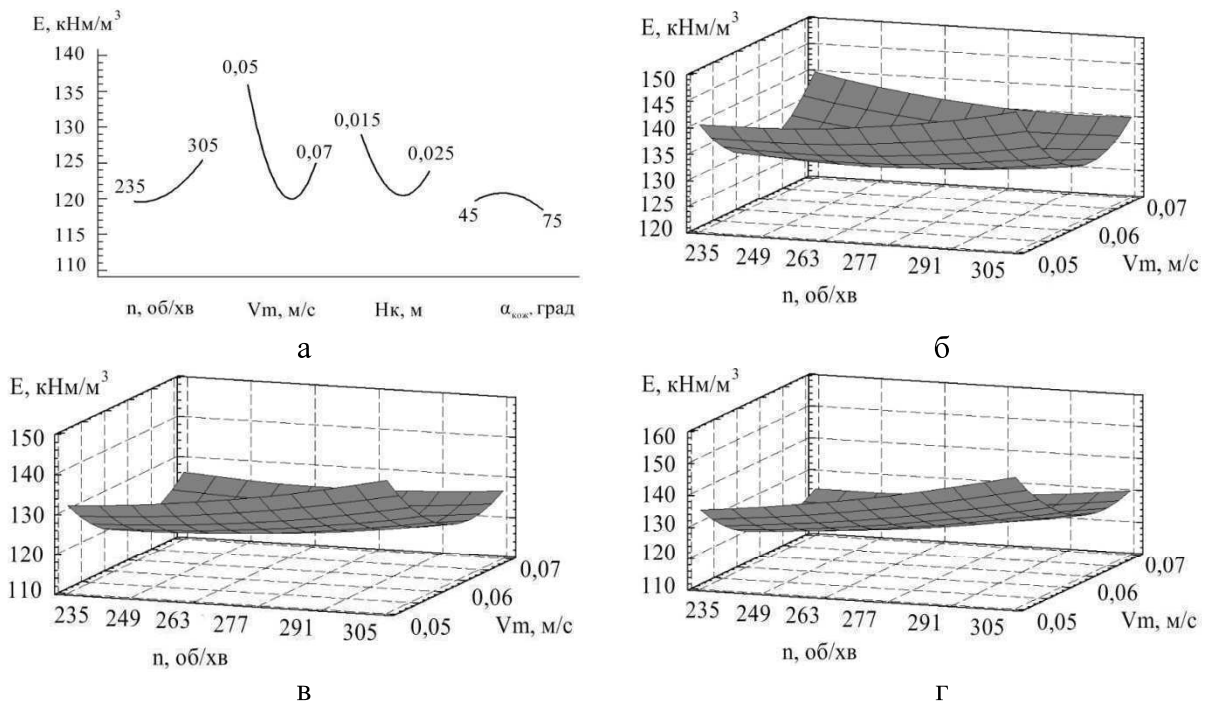


Рис. 3. Графіки залежності $E=f(n, V_m, H_k, \alpha_{\text{кож}})$: а - вплив факторів на енергоємність E ; б - $H_k=0,015$ м, $\alpha_{\text{кож}}=60^\circ$; в - $H_k=0,02$ м, $\alpha_{\text{кож}}=60^\circ$; г - $H_k=0,025$ м, $\alpha_{\text{кож}}=60^\circ$.

Порівняння теоретичних та експериментальних даних наведено на прикладі поверхневої діаграми $M = f(n, V_m, H_k, \alpha_{\text{кож}})$, яка представлена на рис. 4.

Розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями силових та енергетичних параметрів робочого процесу для моделей різально-кидального робочого органа не перевищує 7%.

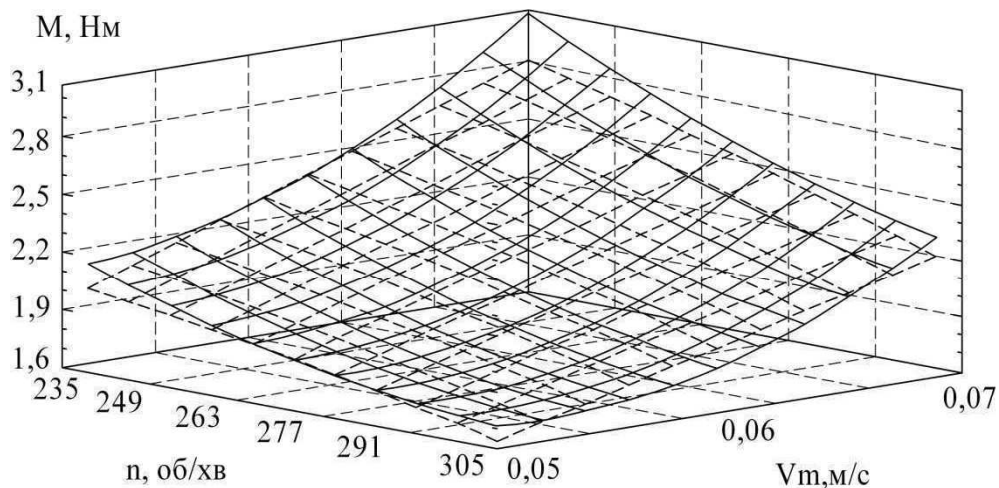


Рис. 4. Зіставлення теоретичних та експериментальних значень крутного моменту при $H_k=0,02$ м, $\alpha_{\text{кож}}=60^\circ$: — експериментальна залежність; ---- теоретична залежність.

Висновки.

1. Проведені експериментальні дослідження РМРО дозволили отримати фактичні дані моменту на приводному валу робочого органа.

2. Отримані регресійні моделі процесу копання ґрунта РМРО землерійно-транспортної машини безперервної дії.

3. Встановлені фактори, які найбільш впливають на енергоємність E , момент M та коефіцієнт транспортування K_T .

ЛІТЕРАТУРА

1. Мартюченко И.Г. Исследование процесса взаимодействия винтовых рабочих органов с грунтовой средой / И.Г. Мартюченко // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2005. – № 2. – С. 53–55.

2. Машини для земляних робіт : Навч. посіб. / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Нічке та ін./ – Під заг. ред. проф. Л. А. Хмари та проф. С. В. Кравця. – Рівне – Дніпропетровськ – Харків. – 2010. – 557 с.

3. Кінематичні особливості процесу транспортування ґрунту гвинтовим робочим органом різально-кидального типу для землерійно-транспортних машин безперервної дії / О.І. Голубченко, М.Е. Хожило // Сб. науч. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъемно – транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. Вып. 57 – Дн – ск: ПДАБА, 2010. – С. 36 – 45.

4. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин.– М.: Высшая школа, 1981. – 336 с.

5. Красильников Л. В. Исследование лобового и косого резания грунтов при различной высоте рабочего органа: Автореф. дис. . канд. техн. наук . – Харьков., 1967 . – 20 с.

6. Красильников Л. В. Косое резание и копанье ґрунта // Строительные и дорожные машины, 1967 . – №6 . – С. 23 – 25.

7. Баловнев В.И., Завадский Ю.В., Мануйлов В.Ю. Применение математической теории планирования эксперимента при исследовании дорожніх машин. МАДИ – М., 1985. – 104 с.

8. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. М., «Легкая индустрия», 1974. – 262 с.