

Стаття надійшла до редакції /
Received 17.02.2026

Прийнята до друку /
Accepted 12.03.2026

Опубліковано /
Published 09.04.2026

УДК 677.057
<https://doi.org/10.30857/2706-5898.2026.1.6>

КОРОБЧЕНКО ЄВГЕН

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна
e-mail: korobchenko.yo@knuud.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-6026-1427>

ГОРОБЕЦЬ ВАСИЛЬ

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна
e-mail: va1948@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0001-5174-3224>

ДВОРЖАК ВОЛОДИМИР

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна
e-mail: dvorzhak.vm@knuud.com.ua
<https://orcid.org/0000-0002-1693-9106>

МАТЕМАТИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ТОВЩИНИ МАГНІТОПРОВОДУ НОВОГО МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ШВЕЙНОЇ МАШИНИ

Мета. Встановити закономірності впливу геометричних та фізичних параметрів нового розробленого авторами механізму транспортування матеріалів швейної машини на величину магнітної сили в робочому зазорі, а також визначити раціональні параметри його магнітопроводу з метою мінімізації маси рухомих елементів і покращення динамічних характеристик пристрою.

Методика. Дослідження виконано із застосуванням методів математичного моделювання та повнофакторного експерименту. Для аналізу роботи магнітного механізму транспортування матеріалів використано програмне середовище FEMM (Finite Element Method Magnetics).

Результати. Визначено вплив конструктивних параметрів механізму переміщення матеріалів швейної машини на величину магнітної сили притиску. Показано, що зміна геометричних характеристик елементів верхнього транспортуючого органу, зокрема висоти магнітопроводу суттєво впливає на величину зусилля притискання при переміщенні матеріалу. Встановлено, що при певних значеннях конструктивних параметрів система переходить у режим насичення, у якому подальша зміна розмірів окремих елементів не призводить до суттєвого підвищення ефективності роботи, що є важливим з точки зору раціонального проектування та зменшення масо-габаритних показників механізму.

Наукова новизна. Вперше встановлено закономірності впливу геометричних параметрів магнітопроводу та характеристик магнітної системи на величину сили в робочому зазорі нового механізму транспортування матеріалів швейної машини; розроблено номограми для визначення його раціональних значень параметрів, що забезпечують покращення динамічних характеристик і зниження маси рухомих елементів.

Практична значимість. Запропоновані підходи до визначення раціональних параметрів магнітопроводу дозволяють зменшити масу рухомих елементів, підвищити динамічні характеристики механізму переміщення матеріалів швейної машини.

Розроблена регресійна модель, а також отримані номограми і таблиці підбору можуть бути використані інженерами для визначення раціональних конструктивних параметрів даного пристрою без проведення складних математичних розрахунків. Це забезпечує скорочення часу проектування та підвищення ефективності розробки нових технічних рішень.

Ключові слова: швейна машина; транспортування матеріалів; магнітний механізм; магнітопровід; магнітна сила; повнофакторний експеримент; регресійна модель; оптимізація параметрів; магнітне насичення; динамічні характеристики.

MATHEMATICAL EXPERIMENT FOR DETERMINING THE MAGNETIC CORE THICKNESS OF A NEW MATERIAL FEEDING MECHANISM FOR A SEWING MACHINE

KOROBCHENKO YEVHEN, HOROBETS VASYL, DVORZHAK VOLODYMYR
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

Purpose. To establish the patterns of influence of geometric and physical parameters of a newly developed material feeding mechanism for a sewing machine on the magnitude of the magnetic force in the working gap, and to determine rational parameters of its magnetic core in order to minimize the mass of moving elements and improve the dynamic characteristics of the device.

Methodology. The study was carried out using methods of mathematical modeling and a full factorial experiment. The FEMM (Finite Element Method Magnetics) software environment was used to analyze the operation of the magnetic material feeding mechanism.

Results. The influence of the design parameters of the sewing machine material movement mechanism on the magnitude of the magnetic clamping force was determined. It was shown that changing the geometric characteristics of the elements of the upper transporting body, in particular the height of the magnetic core, significantly affects the magnitude of the clamping force when moving the material. It was established that at certain values of the design parameters the system enters a saturation mode, in which further changing the dimensions of individual elements does not lead to a significant increase in work efficiency, which is important from the point of view of rational design and reducing the mass and dimensions of the mechanism.

Scientific novelty. For the first time, the influence patterns of the geometric parameters of the magnetic core and the characteristics of the magnetic system on the force in the working gap of the new sewing machine material feeding mechanism have been established. Nomograms have been developed to determine rational parameter values that ensure improved dynamic characteristics and reduced mass of moving elements.

Practical significance. The proposed approaches to determining rational parameters of the magnetic core make it possible to reduce the mass of moving elements and improve the dynamic characteristics of the sewing machine material feeding mechanism. The developed regression model, as well as the obtained nomograms and selection tables, can be used by engineers to determine rational design parameters of the device without performing complex mathematical calculations. This ensures a reduction in design time and increases the efficiency of developing new technical solutions.

Keywords: sewing machine; material feeding; magnetic mechanism; magnetic core; magnetic force; full factorial experiment; regression model; parameter optimization; magnetic saturation; dynamic characteristics.

Вступ. Сучасний розвиток швейного виробництва характеризується суттєвим розширенням асортименту текстильних матеріалів та підвищенням вимог до якості готових виробів. Одним із ключових показників, що визначає якість процесу зшивання, є якість транспортування матеріалів в процесі шиття. Особливої уваги набуває проблема відносного зміщення шарів матеріалу (так звана «посадка»), яка негативно впливає на зовнішній вигляд і експлуатаційні властивості виробів [1, 2].

Незважаючи на значну кількість досліджень і технічних рішень [3–8], спрямованих на зменшення або усунення цього явища, досягти повного нівелювання посадки на сьогодні не вдається. Існуючі

підходи базуються на вдосконаленні конструкцій транспортуючих і притискних органів, зміні режимів їх роботи або використанні додаткових механізмів переміщення матеріалів. Проте обмеження, пов'язані з фізичними умовами взаємодії шарів матеріалу, не дозволяють забезпечити ідентичні умови їх транспортування.

У попередніх дослідженнях [9–11] авторами було запропоновано інноваційний спосіб і пристрій транспортування матеріалів на швейній машині, що ґрунтується на використанні сил магнітного поля (рис. 1). На відміну від традиційних підходів, у запропонованому способі зусилля транспортування створюється за рахунок взаємодії ведучого та веденого транспортуючих

органів, між якими формується магнітне поле. Це дозволяє здійснювати синхронне переміщення матеріалів без заглиблення робочих поверхонь у матеріал, зменшити їх пошкодження та потенційно усунути явище посадки.

У зв'язку з цим актуальним є подальше дослідження параметрів магнітних систем, що забезпечують ефективність реалізації запропонованого способу. Зокрема,

важливим є визначення раціональних геометричних і фізичних характеристик магнітопроводу, які впливають на величину сили в робочому зазорі та динамічні характеристики механізму.

Таким чином, дослідження, спрямовані на аналіз і оптимізацію параметрів магнітних механізмів транспортування матеріалів швейних машин, є актуальними та мають як наукове, так і практичне значення.

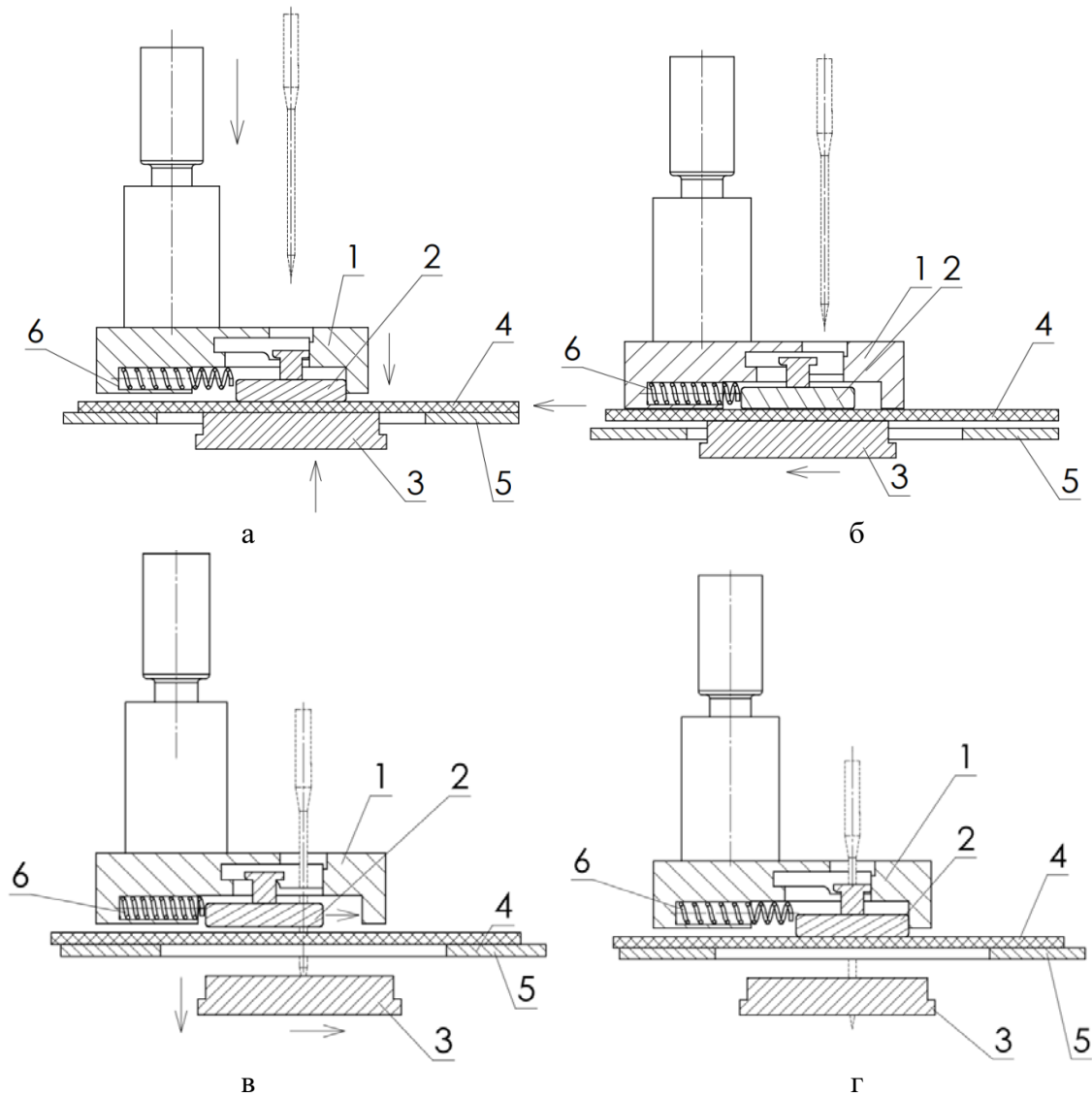


Рис. 1. Новий спосіб переміщення матеріалів на швейній машині:

1 – корпус; 2 – ведений транспортуючий орган; 3 – ведучий транспортуючий орган;
4 – матеріал; 5 – голкова пластина; 6 – зворотна пружина

Постановка завдання. Поставлено такі завдання дослідження:

– проаналізувати вплив основних факторів (коерцитивної сили магніту, геометричних параметрів магнітів і

транспортуючого органу, властивостей феромагнітного матеріалу) на величину магнітної сили;

– дослідити залежність сили в робочому зазорі від висоти магнітопроводу та

встановити характер її зміни з урахуванням явища магнітного насичення;

– визначити параметр раціональної висоти магнітопроводу на основі досягнення асимптотичного значення сили;

– побудувати математичну (регресійну) модель, що описує вплив факторів та їх взаємодій на досліджуваний процес;

– отримати дані для інженерних розрахунків при визначенні раціональних параметрів магнітного механізму транспортування матеріалів.

Результати дослідження та їх обговорення. Для проведення дослідження в програмному середовищі FEMM (Finite Element Method Magnetics) [12, 13] була побудована система геометричних об'єктів,

що спрощено моделювала елементи магнітного рушія – магнітні елементи 1, феромагнітний нижній транспортуючий орган 2, текстильний матеріал 3, голчата пластина 4, магнітопровід 5 (рис. 2).

Фактори експерименту та їх рівні наведено в таблиці 1. Кожній комбінації факторів X_1 – X_5 присвоєно індекс j . Для кожної комбінації j проводились повторні вимірювання проводились по змінній X_6 – висота перерізу магнітопроводу h_{mp} , що приймала значення (мм): 0.5; 1.0; 1.5; 1.75; 2.0; 2.25; 2.5; 3.0; 3.5; 4; 5; 10.0; 15.0. Відгук експерименту – магнітна сила на одиницю глибини q_y , що виникає в зазорі між магнітими та транспортуючим органом.

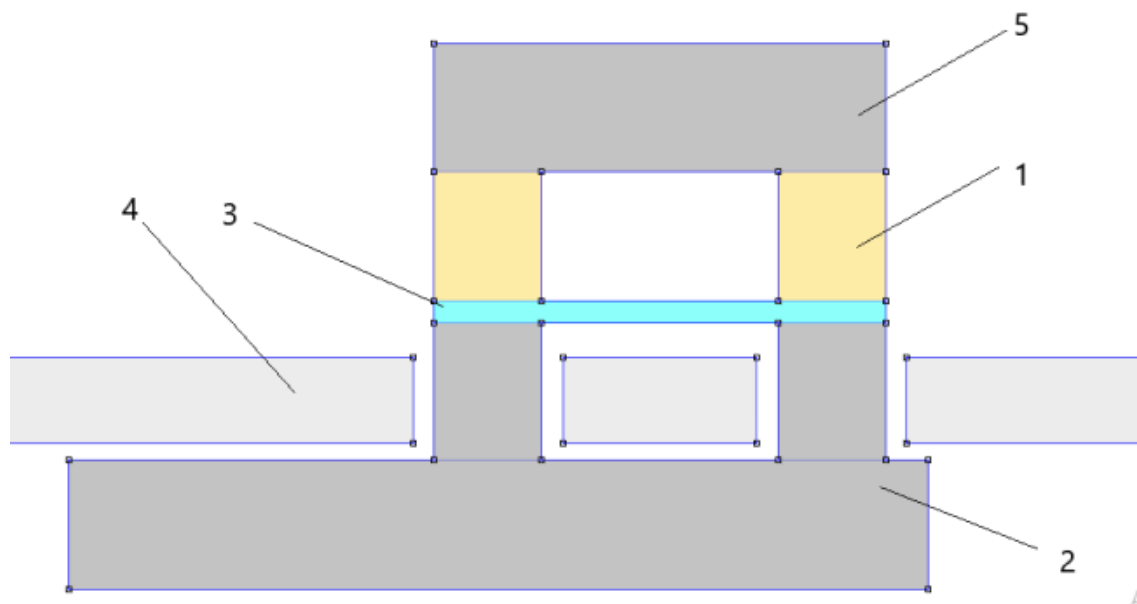


Рис. 2. Елементи геометричної побудови об'єктів моделювання

Таблиця 1

НЕЗАЛЕЖНІ ФАКТОРИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

№	Фактор	Позначення	Кодування	Кількість рівнів	Рівні фактора
1	клас магніту NdFeB / Коерцитивна сила, А/м	$magnet_type$ $/H_c$	X_1	2	N35 / 891598 N52 / 1083531
2	Висота магніту, мм	h_{magn}	X_2	2	2,0; 6,0
3	Ширина магніту, мм	w_{magn}	X_3	2	3,0; 6,0
4	Ширина зуба феромагнітного транспортуючого органу, мм	w_{tooth}	X_4	2	1,6; 3,0
5	Матеріал феромагнетика/ Відносна магнітна проникність	$Steel_type/$ μ_{fer}	X_5	2	EN 1.0401 (C15) / 529 EN 1.0725 (15SMn13) / 1777
6	Висота магнітопроводу, мм	h_{mp}	X_6	13	0.5; 1.0; 1.5; 1.75; 2.0; 2.25; 2.5; 3.0; 3.5; 4; 5; 10.0; 15.0.

Фактори, що технологічно та фізично є константами для конструкції пристрою наведено в таблиці 2.

Приклади залежності магнітної сили від висоти магнітопроводу показано на рис. 3–5 для деяких комбінацій факторів j . Аналіз отриманих залежностей $q_y = f(h_{mp})$ показав наявність асимптот паралельних осі абсцис, для будь яких комбінацій факторів j .

Для кількісної оцінки області насичення введено параметр висоти насичення магнітопроводу – $h_{mp(sat)}$. Під $h_{mp(sat)}$ розуміють таке значення висоти магнітопроводу h_{mp} , при якому сила в робочому зазорі q_y досягає 95% від значення q_{y_asymp} . Подальше збільшення висоти практично не впливає на величину сили.

Фізичну суть результатів залежності $q_y = f(h_{mp})$ у вигляді графіку з асимптотою можна пояснити явищем магнітного насичення феромагнетика. Так для ділянки різкого зростання сили характерна картина розподілу магнітної індукції та графік розподілу індукції по перерізу магнітопроводу (рис. 6) показують магнітне насичення матеріалу з $B > 2Тл$.

Натомість для ділянки плато сили характерна картина розподілу магнітної індукції та графік розподілу індукції по перерізу магнітопроводу (рис. 7) показують відсутність магнітного насичення матеріалу з $B < 2Тл$.

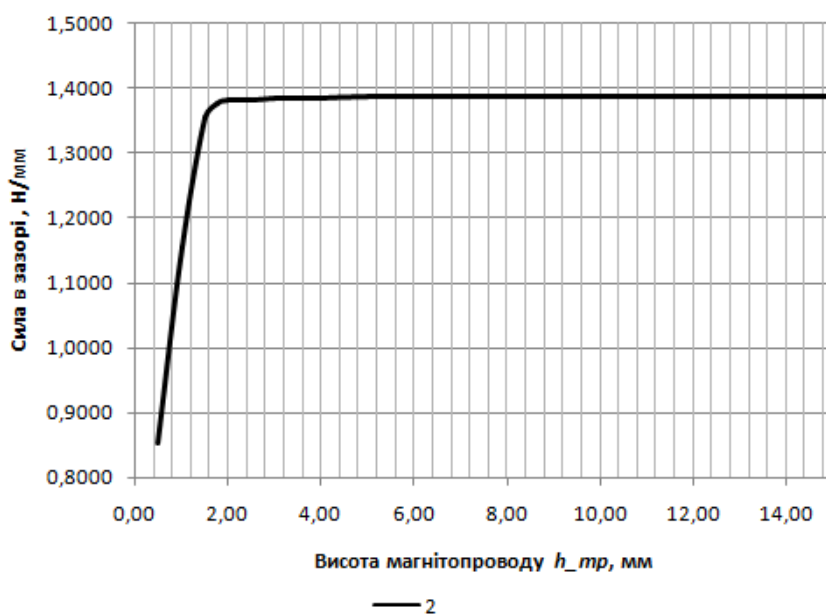
Визначення асимптоти q_{y_asymp} та $h_{mp(sat)}$ проводилось шляхом аналізу отриманих даних експерименту за допомогою мови програмування Python 3.8. Результати наведено в таблиці 3.

Асимптота кривої була визначена шляхом лінійної апроксимації останніх N точок кривої методом найменших квадратів. Вибір останніх точок дозволяє ігнорувати початкову нелінійну ділянку та зосередитися на частині кривої, яка вже наближається до насичення. Якщо нахил апроксимованої прямої менший за встановлений поріг (прийнято, 1%), вважається що система досягла плато, і екстрапольоване значення прямої береться як асимптота. Такий підхід дозволяє отримати обґрунтоване значення асимптоти, уникаючи спотворень через випадкові коливання останніх точок.

Таблиця 2

Фактори, що технологічно є константами

Магнітна проникність вакууму	Висота зуба	Зазор між зубами	Висота основи рейки	Товщина тканини, мм
μ_0 (Гн/м)	h_{tooth} (мм)	w_{bas} (мм)	h_{bas} (мм)	h_{fabr}
1,2566E-06	3,2	5,5	3	0,5

Рис. 3. Залежність $q_y = f(h_{mp})$ для комбінації факторів $j = 2$

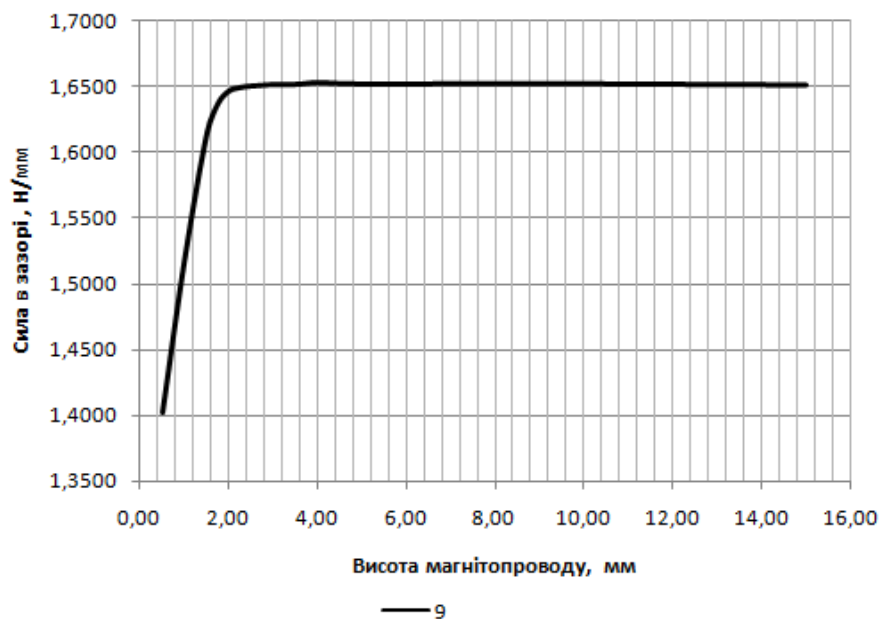


Рис. 4. Залежність $q_y = f(h_{mp})$ для комбінації факторів $j = 9$

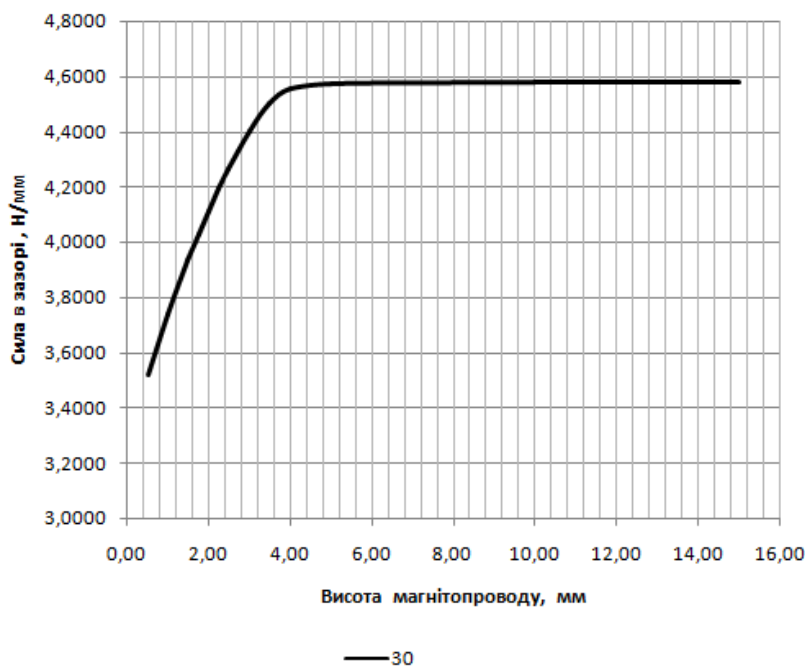


Рис. 5. Залежність $q_y = f(h_{mp})$ для комбінації факторів $j = 30$

Значення максимальної висоти магнітопроводу $h_{mp(sat)}$ визначалось для величини сили q_y рівної 95% від визначеної асимптоти та обчислюється шляхом лінійної інтерполяції між сусідніми точками кривої, які обмежують цільове значення.

Всі обчислення проведено для кожного експериментального набору j .

З врахуванням отриманих даних побудовано регресійну модель другого порядку:

$$h_{mp_{sat}} = -1.7075 + 1.7241 \cdot 10^{-6} * H_c + 0.4085 * w_{magn} + 0.1158 * w_{tooth},$$

де H_c, w_{magn}, w_{tooth} – відповідно, коерцитивна сила магніту, А/м, ширина магніту, мм та ширина зубця, мм.

Для зручності інженерних розрахунків представимо розв'язок регресійної моделі у вигляді числових значень підбору (таблиця 4) та набору номограм (рис. 8).

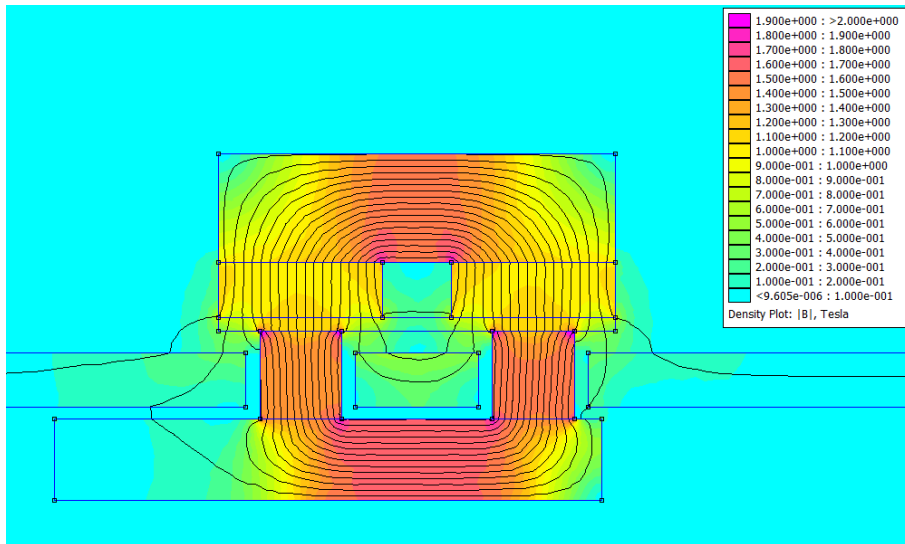


Рис. 6. Розподіл магнітної індукції в магнітному ланцюгу магнітного пристрою для транспортування матеріалів швейної машини при $h_{mp} = 4,00$ мм (комбінація $j=23$)

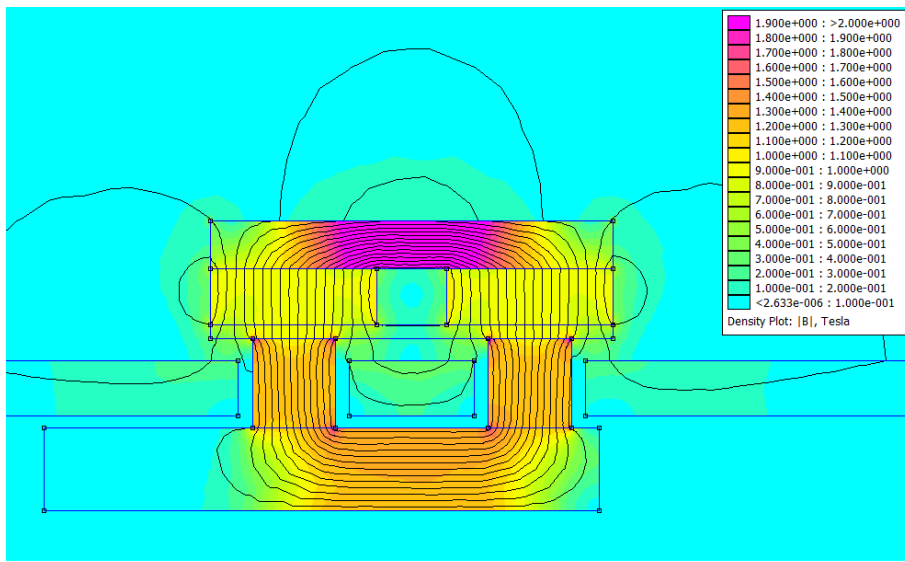


Рис. 7. Розподіл магнітної індукції в магнітному ланцюгу магнітного пристрою для транспортування матеріалів швейної машини при $h_{mp} = 1,75$ мм (комбінація $j = 23$)

Таблиця 3

Результати обробки даних ПФЕ з визначенням q_y - асмпт та $h_{mp(sat)}$

№ комб.	Комбінації параметрів					Розраховані значення	
	H_c (А/м)	h_{magn}	w_{magn}	w_{tooth}	μ_{fer}	q_y - асмпт	$h_{mp(sat)}$
1	891598	2,0	3,0	1,6	529	1,372	1,418
2	891598	2,0	3,0	1,6	1777	1,386	1,406
3	891598	2,0	3,0	3,0	529	1,507	1,476
4	891598	2,0	3,0	3,0	1777	1,518	1,458
5	891598	2,0	6,0	1,6	529	2,396	2,362
6	891598	2,0	6,0	1,6	1777	2,423	2,347
7	891598	2,0	6,0	3,0	529	2,933	2,613
8	891598	2,0	6,0	3,0	1777	2,973	2,612
9	891598	6,0	3,0	1,6	529	1,651	1,260
10	891598	6,0	3,0	1,6	1777	1,666	1,263
11	891598	6,0	3,0	3,0	529	1,795	1,357
12	891598	6,0	3,0	3,0	1777	1,803	1,355
13	891598	6,0	6,0	1,6	529	3,216	2,425

№ комб.	Комбінації параметрів					Розраховані значення	
	H_c (А/м)	h_{magn}	w_{magn}	w_{tooth}	μ_{fer}	q_{y_asympt}	$h_{mp(sat)}$
14	891598	6,0	6,0	1,6	1777	3,235	2,407
15	891598	6,0	6,0	3,0	529	3,788	2,606
16	891598	6,0	6,0	3,0	1777	3,825	2,587
17	1083531	2,0	3,0	1,6	529	2,003	1,622
18	1083531	2,0	3,0	1,6	1777	2,032	1,613
19	1083531	2,0	3,0	3,0	529	2,222	1,724
20	1083531	2,0	3,0	3,0	1777	2,240	1,707
21	1083531	2,0	6,0	1,6	529	3,419	2,809
22	1083531	2,0	6,0	1,6	1777	3,447	2,789
23	1083531	2,0	6,0	3,0	529	4,253	3,063
24	1083531	2,0	6,0	3,0	1777	4,316	3,051
25	1083531	6,0	3,0	1,6	529	2,403	1,467
26	1083531	6,0	3,0	1,6	1777	2,423	1,453
27	1083531	6,0	3,0	3,0	529	2,646	1,608
28	1083531	6,0	3,0	3,0	1777	2,661	1,606
29	1083531	6,0	6,0	1,6	529	4,560	2,838
30	1083531	6,0	6,0	1,6	1777	4,582	2,823
31	1083531	6,0	6,0	3,0	529	5,475	3,049
32	1083531	6,0	6,0	3,0	1777	5,516	3,022

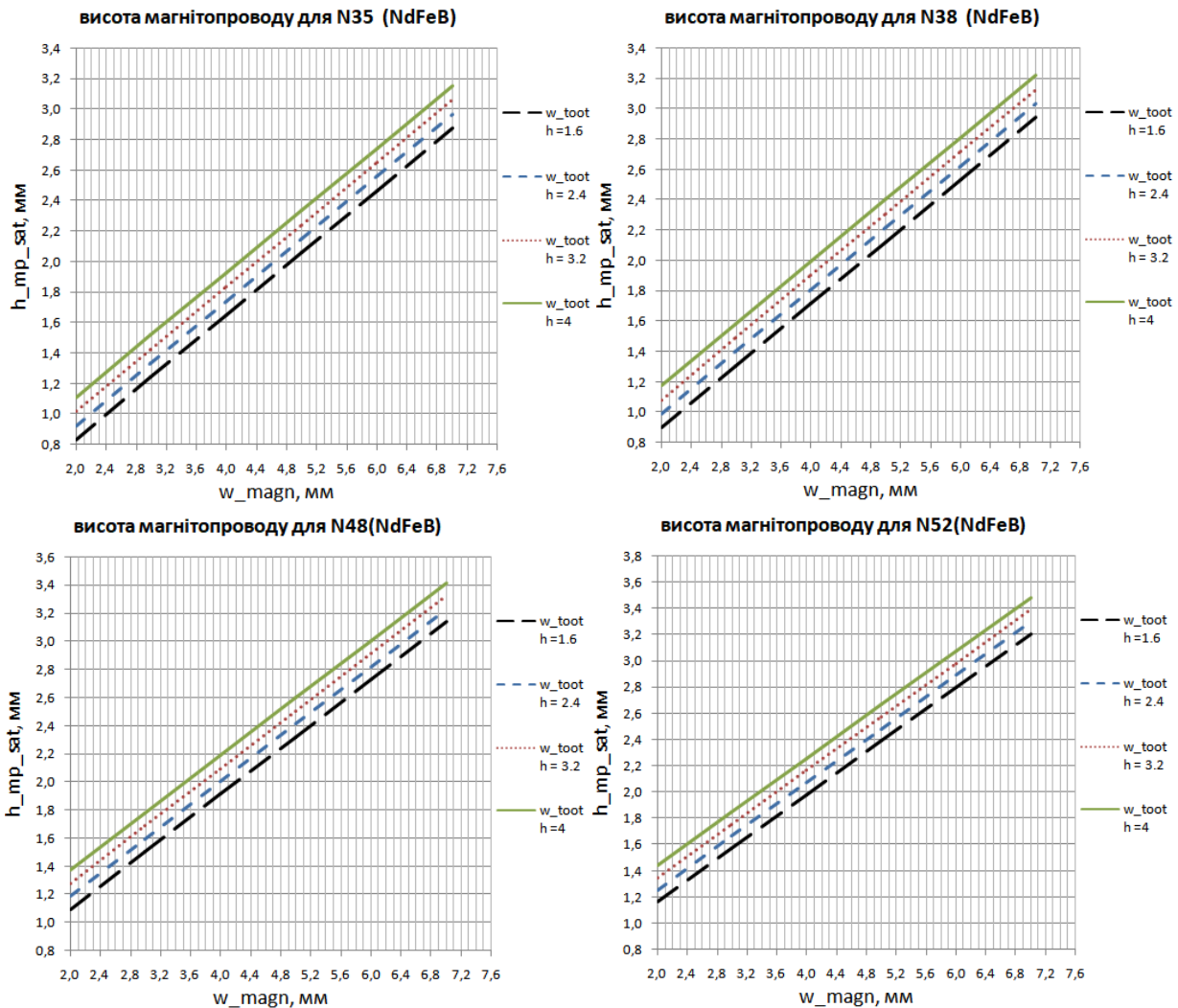


Рис. 8. Номограми для визначення раціональних розмірів перерізу магнітопроводу нового пристрою транспортування матеріалів швейної машини

Таблиця 4

Таблиця підбору раціональних значень розмірів перерізу магнітопроводу нового пристрою транспортування матеріалів швейної машини

		Клас магніту	W_{tooth}, MM			
			1,6	2,4	3,2	4
W_{magn}, MM	2,0	N35 (NdFeB)	0,8	0,9	1,0	1,1
	3,0		1,2	1,3	1,4	1,5
	4,0		1,6	1,7	1,8	1,9
	5,0		2,1	2,2	2,2	2,3
	6,0		2,5	2,6	2,7	2,7
	7,0		2,9	3,0	3,1	3,2
W_{magn}, MM	2,0	N38 (NdFeB)	0,9	1,0	1,1	1,2
	3,0		1,3	1,4	1,5	1,6
	4,0		1,7	1,8	1,9	2,0
	5,0		2,1	2,2	2,3	2,4
	6,0		2,5	2,6	2,7	2,8
	7,0		2,9	3,0	3,1	3,2
W_{magn}, MM	2,0	N48 (NdFeB)	1,1	1,2	1,3	1,4
	3,0		1,5	1,6	1,7	1,8
	4,0		1,9	2,0	2,1	2,2
	5,0		2,3	2,4	2,5	2,6
	6,0		2,7	2,8	2,9	3,0
	7,0		3,1	3,2	3,3	3,4
W_{magn}, MM	2,0	N52 (NdFeB)	1,2	1,3	1,3	1,4
	3,0		1,6	1,7	1,8	1,8
	4,0		2,0	2,1	2,2	2,3
	5,0		2,4	2,5	2,6	2,7
	6,0		2,8	2,9	3,0	3,1
	7,0		3,2	3,3	3,4	3,5

Висновки. На основі проведеного математичного експерименту та аналізу отриманих результатів визначено вплив конструктивних параметрів механізму переміщення матеріалів швейної машини на величину магнітної сили притиску. Показано, що зміна геометричних характеристик елементів верхнього транспортуючого органу, зокрема висоти магнітопроводу суттєво впливає на величину зусилля притискання при переміщенні матеріалу. Встановлено, що при певних значеннях конструктивних

параметрів система переходить у режим насичення, у якому подальша зміна розмірів окремих елементів не призводить до суттєвого підвищення ефективності роботи, що є важливим з точки зору раціонального проектування та зменшення масо-габаритних показників механізму.

Розроблені аналітичні залежності та інженерні інструменти розрахунку дозволяють значно спростити процес проектування механізмів переміщення матеріалів і скоротити час їхньої оптимізації.

Література

1. Щербань Ю. Наукові засади проектування швейних машин з регульованою пасадкою матеріалу: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.10. Київ, 2000. 411 с.
2. Коробченко Є. О., Горобець В. А., Крикун Є. Підвищення якості процесу переміщення матеріалу на швейних машинах. *Технології та інжиніринг*. 2024. Т. 3, № 20. С. 31–46.

References

1. Shcherban, Yu. (2000). *Naukovi zasady proektuvannia shveinykh mashyn z rehulovanoi pasadkoiu materialu: dys. ... d-ra tekhn. nauk: 05.05.10* [Scientific principles of designing sewing machines with adjustable material feed]. Kyiv. 411 p. [in Ukrainian].
2. Korobchenko, Ye. O., Horobets, V. A., & Krykun, Ye. (2024). *Pidvyshchennia yakosti protsesu peremishchennia materialu na shveinykh mashynakh* [Improving the quality of the material movement process in sewing machines]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh – Technologies and Engineering*, 3(20), 31–46. [in Ukrainian].

3. Горобець В. А., Дворжак В. М. Розробка і синтез нового механізму транспорту швейної машини. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2018. Вип. 5. С. 33–39.
4. Горобець В. А., Маноїленко О. П. Проектування профілю робочої поверхні транспортуючих органів швейних машин. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2009. Т. 2, № 46. С. 7–9.
5. Faizur R. M. et al. Impact of modified feed mechanism on seam quality of garments. *Annals of the University of Oradea. Fascicle of Textiles, Leatherwork*. 2023. Vol. 24, Iss. 1. P. 89–96.
6. Селівончик І. С. Розробка транспортуючих органів швейних машин: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13. Київ, 1994. 173 с.
7. Robak D. A model of fabric transport in a sewing machine using a feed dog covered with a supple material of increased friction. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2002. Vol. 8, Iss. 3 (38).
8. Jucienė M., Vobolis J. Influence of fabric external friction force and certain parameters of a sewing machine upon stitch length. *PES*. 2004. Vol. 1. P. 100.
9. Коробченко Є. О., Горобець В. А. Розроблення нового способу переміщення матеріалів на швейній машині. *Синергія науки і бізнесу у повоєнному відновленні регіонів України: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (24–26 квітня 2024 року)*. Одеса: Олді+, 2024. С. 184–188.
10. Коробченко Є. О., Горобець В. А. Аналіз процесу переміщення матеріалу. *Мехатронні системи: інновації та інжиніринг: тези доповідей VIII Міжнародної науково-практичної конференції*. Київ: Київський національний університет технологій та дизайну, 2024. С. 71–72.
11. Коробченко Є. О., Горобець В. А. Експериментальне визначення сили корисного опору переміщення матеріалів на швейній машині. *Наукові нотатки*. 2025. Вип. 82. С. 16–21.
12. Meeker D. Finite Element Method Magnetics. URL: <https://www.femm.info/wiki/Documentation> (дата звернення: 10.08.2025).
13. Васьковський Ю. М., Гайденок Ю. А., Цивінський С. С. Використання комп'ютерних систем математичних розрахунків MATLAB та FEMM для аналізу електричних машин: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.
3. Horobets, V. A., & Dvorzhak, V. M. (2018). Rozrobka i synteza novoho mekhanizmu transportu shveinoi mashyny [Development and synthesis of a new transport mechanism for a sewing machine]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Seriya: Tekhnichni nauky – Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Series: Technical Sciences*, 5, 33–39 [in Ukrainian].
4. Horobets, V. A., & Manoilenko, O. P. (2009). Proektuvannia profilu robochoi poverkhni transportuiuchykh orhaniv shveinykh mashyn [Design of the working surface profile of the transporting organs of sewing machines]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu – Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*, 2(46), 7–9 [in Ukrainian].
5. Faizur, R. M. et al. (2023). Impact of modified feed mechanism on seam quality of garments. *Annals of the University of Oradea. Fascicle of Textiles, Leatherwork*, 24(1), 89–96.
6. Selivonchik, I. S. (1994). Rozrobka transportuiuchykh orhaniv shveinykh mashyn: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.02.13 [Development of transporting organs of sewing machines]. Kyiv. 173 p. [in Ukrainian].
7. Robak, D. (2002). A model of fabric transport in a sewing machine using a feed dog covered with a supple material of increased friction. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 8(3(38)).
8. Jucienė, M., & Vobolis, J. (2004). Influence of fabric external friction force and certain parameters of a sewing machine upon stitch length. *PES*, 1, 100.
9. Korobchenko, Ye. O., & Horobets, V. A. (2024). Rozroblennia novoho sposobu peremishchennia materialiv na shveinii mashyni [Development of a new method of material feed on a sewing machine]. *Synerhiia nauky i biznesu u povoiennomu vidnovlenni rehioniv Ukrainy: materialy II Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (24–26 kvitnia 2024 roku)* (pp. 184–188). Odessa: Oldi+ [in Ukrainian].
10. Korobchenko, Ye. O., & Horobets, V. A. (2024). Analiz protsesu peremishchennia materialu [Analysis of the material feed process]. *Mekhatronni systemy: innovatsii ta inzhynirynh : tezy dopovidei VIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (pp. 71–72). Kyiv: Kyivskiy natsionalnyi universytet tekhnolohii ta dyzainu [in Ukrainian].
11. Korobchenko, Ye. O., & Horobets, V. A. (2025). Eksperymentalne vyznachennia syly korisnoho oporu peremishchennia materialiv na shveinii mashyni [Experimental determination of the useful resistance force of material movement on a sewing machine]. *Naukovi notatky – Scientific Notes*, 82, 16–21 [in Ukrainian].
12. Meeker, D. (n.d.). Finite Element Method Magnetics: dokumentatsiia [Finite Element Method Magnetics: documentation]. URL: <https://www.femm.info/wiki/Documentation> (accessed on: 10.08.2025).
13. Vaškovskiy, Yu. M., Haidenko, Yu. A., & Tsyvinskyi, S. S. (2022). Vykorystannia kompiuternykh system matematychnykh rozrakhunkiv MATLAB ta FEMM dlia analizu elektrychnykh mashyn: navch. posib. [Use of computer systems of mathematical calculations MATLAB and FEMM for the analysis of electrical machines]. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho [in Ukrainian].