

## КОТКИ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ. ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ

Шустік Л., канд. техн. наук,

e-mail: shustik@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-2413-935X>

Погорілий В., e-mail: pogoriliy@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6867-8120>

Нілова Н., e-mail: nilova-n@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5514-2338>

Гайдай Т., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0001-9141-4820>

Степченко С., <https://orcid.org/0000-0003-2808-9644>

Сидоренко С., e-mail : silviya20@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5046-117X>

УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

### Анотація

Порівняльні польові випробування близьких за конструкцією кільчасто-шпорових і зубчато-шпорових котків для прикочування ґрунту забезпечують їхніх розробників і користувачів інформациєю щодо розуміння конструкції та технологічних особливостей.

**Мета досліджень** – інженерний аналіз конструкцій кільчасто-шпорових і зубчато-шпорових котків за критеріями ваги, форми робочих поверхонь, тиску на ґрунт, повноти ущільнення, проникної здатності в діапазоні глибини передпосівного і поверхневого обробітків ґрунту.

**Методи і матеріали.** Інженерний аналіз передбачав дослідження трьох типів котків. Гіпотеза досліджень передбачала, що поєднання характеристик ваги котків і їхніх геометричних форм робочих поверхонь, які контактують з ґрунтом у статиці, забезпечать притаманні властивості окремо кожному котку (перший етап досліджень), що потенційно зорієнтує на вибір найбільш прийнятних критеріїв для порівняння функційних особливостей котків, необхідних для польових досліджень у динаміці (другий етап досліджень).

За критерії статичного дослідження були обрані: проникна здатність (1); тиск на ґрунт (2); повнота ущільнення площі (3); напрямок дії притискних зусиль (4); особливості робочих поверхонь (5); характер кріплення суцільних дисків на валу (6). Методологічно перші три критерії вимагали спеціальних пристосувань з можливістю зміни висоти ґрунтового шару в діапазоні глибин передпосівного і посівного обробітків ґрунту. Інші критерії передбачалося проводити органолептичним оцінюванням.

Дослідження передбачалося проводити на ґрунті, характерному для зони Лісостепу і однорідному за фракційним складом, для усунення впливу ґрунтових включень різного розміру. Оцінювання характеристик ґрунту проводилося термостатно-ваговим методом, за загальноприйнятою методикою «різального кільця» [Качинский, 1947] з об'ємом циліндра 100 см<sup>3</sup>.

Для визначення площі однієї елементарної робочої поверхні кільчатого диска використовували накладання розмічальної сітки на його відбиток на поверхні, залишений у шарах ґрунту  $h_{\min}$   $h_{\text{сер}}$   $h_{\max}$ . Визначаючи тиск на ґрунт, залежно від висоти обробленого шару, розмічальну сітку накладали на відбитки від декількох площ елементарних робочих поверхонь, які фіксувалися по хорді занурення в ґрунт кільчастого сегмента.

Експериментальні дані обробляли методом дисперсійного аналізу за [Доспехов, 1985] та інтерпретували стандартними комп'ютерними програмами Excel і графіками.

**Результати.** За фізичними характеристиками (вага і геометричні параметри) котки поєднують близькість діаметра дисків, ширини робочих поверхонь по крайці твірної, наявність шпор. Відмінність полягає в розмірних характеристиках, які припадають на ширину захвату, наявність агресивних форм (зубів), які видаються, в зубчато-шпоровій конструкції.

Кожен коток має індивідуальне компонування елементарних робочих поверхонь. Це дало змогу провести умовне маркування котків як «класичний», «модернізований» та «спеціалізований». Робочі поверхні класичного і спеціалізованого котків забезпечують вертикальну і бічну дію притискних

зусиль, тоді як модернізований формує їх у вертикальному напрямку. Ці зусилля для кожного з котків є похідною особливостей орієнтації робочих поверхонь різної конфігурації (плоскі вузькі, плоскі широкі; поєднання точково-сфокусованих з трапецієвидними). До того ж робочі поверхні можуть мати одно- або дворівневу послідовність контакту з ґрунтом за його змінної глибини.

*Встановлено, що характер кріплення суміжних дисків на валу може бути жорсткий або рухомий.*

*Наведено визначення понять і їх оцінювання за показниками тиску, повноти ущільнення, проникної здатності.*

**Висновки.** За показниками інженерного аналізу кожному з трьох котків передбачено притаманну йому переважну особливість для найбільш ефективного застосування на подрібнюванні грудок, передпосівній та післяпосівній операціях обробітку ґрунту.

*Визначено, що найбільш прийнятними критеріями подальших досліджень у динаміці змінної швидкості руху мають виступати інтенсивність подрібнення грудок, ступінь ущільнення ґрунту, інтенсивність ущільнення дна, залипання робочої поверхні котка в умовах підвищеної вологості, здатність до самоочищення.*

*Визначено критерії подальших досліджень у динаміці.*

**Ключові слова:** котки, кільчасто-шпоровий, зубчато-шпоровий, прикочування, ущільнення ґрунту, інженерний аналіз, функційні особливості, проникна здатність.

**Вступ.** Ущільнення ґрунту котками, як процес покращення врожайності, постійно привертало увагу фахівців землеробської механіки, які заклали основи розроблення, створення, випробування та використання таких машин. Фактично всі створені за минуле сторіччя сільськогосподарські машини пов'язані з розрахунковими методами землеробської механіки [Горячкин, 1914; Кулен А., Кунперс Х., 1986; Василенко П. М., 1990; Кравчук В. І. та ін., 2004; Сысолин П. В., Погорельий Л. В., 2005].

Однак у сучасному швидкозмінному світі виникає необхідність отримувати нові знання прискорено. Тут доцільно використовувати методи оцінки щодо фокусування наукових інженерних принципів для розкриття властивостей конструкційних рішень, зокрема котків.

Огляд конструкцій котків показує, що їхні принципові рішення постійно удосконалюються, з'являються нові.

Інженерним аналізом до початку безпосередньо польових випробувань можна досягти розуміння функційних особливостей, які можуть бути закладені в змінні чинники під час визначення в процесі випробувань кількісних і якісних властивостей котка, як результату дії на нього. Ось у роботі [https://www.farmweekly.com.au/story/6717199/] автор, крім технологіч-

них характеристик, акцентує увагу на інженерних параметрах ваги, діаметрів, наявності зубових форм.

Щільність ґрунту — важлива характеристика ґрунту, яка визначає всі ґрунтові ризики: повітрообмін, водопроникнення, волого- та теплоємність, а також впливає на мікробіологічні та окисно-відновні процеси.

Оброблюючи ґрунт, ми змінюємо його щільність відносно рівноважної щільності [Шидула Н. К., Назаренко Г. В., 1990]. Тому для регулювання ґрунтових режимів оброблений ґрунт, практично в більшості випадків, підлягає ущільненню котками. Прикочування ґрунту котками має високу актуальність і органічно присутнє в технологічному ланцюгу агроприйомів та сприяє підвищенню врожайності.

Дослідженню ефективності застосування прикочувальних котків приділяли увагу багато вчених [Кузнецов, 1978; Ловкис и др., 2011; Смолінський та ін., 2017; Буксман и др., 2018]. Різні технологічні операції обробітку ґрунту вимагають відповідних підходів до вибору котків. Зокрема на оранці, за різних умов і стадій її проведення, є необхідність розбивання брил, кришення грудок, знищення пустот; на передпосівному обробітку ґрунту — це вирівнювання поля, ущільнення поверхневих горизонтів; на післяпосівно-

му – ущільнення підповерхневого шару з покриттям його дрібнодисперсною фракцією для забезпечення вологою зони насінневого ложа і протидії випаровуванню її з поверхні поля, руйнування ґрунтової кірки; на сходах озимих культур – весняне прикочування для відновлення спученої морозами прикореневої структури ґрунту [Yongwei et al, 2019], відновлення капілярності та доступу вологи до сходів [Войтюк Д.Г. та ін., 2004]; вдавлюючи наявні тверді включення в ґрунт, що покращує умови збирання (нижній зріз, більша швидкість, зниження забрудненості врожаю, менші прості комбайна через поломки). Але можуть бути негативні наслідки: переущільнення ґрунту і зниження врожаю (наприклад, сої на 7 ц/га) [Al-Kaisi and all, 2011; Edwards and all, 2012; Rueber, Holmes, 2012]; вітрова і водна ерозії на спущеній поверхні та стікання води по ущільнених смугах.

Існує велика кількість котків як окремих самостійних знарядь, так і прикочувальних елементів у складі ґрунтообробних та посівних агрегатів. Тому правильне своєчасне використання котків забезпечить виробничий успіх.

Новизна роботи полягає у порівнянні критеріїв інтенсивності дії на ґрунт у діапазоні глибин спущеного шару ґрунту для групи кільчасто- і зубчато-шпорових котків, як похідної їхніх масових характеристик, геометричних параметрів робочих поверхонь.

Практичне значення статті полягає у можливості виробника котків удосконалити, коригувати і розвивати їхню конструкцію, а виробника сільськогосподарської продукції приймати рішення щодо застосування таких котків за конкретних умов.

Внесок у світову і вітчизняну науку полягає у встановленні емпіричних залежностей, які характеризують відмінності в поведінці трьох типів кільчасто-шпорових котків за визначеними критеріями.

#### **Постановка завдань.**

**Мета роботи** – інженерний аналіз конструкцій кільчасто-шпорових і зубча-

то-шпорових котків за критеріями ваги, форми робочих поверхонь, тиску на ґрунт, повноти ущільнення, проникної здатності в діапазоні глибини передпосівного і поверхневого обробітків ґрунту.

#### **Завдання досліджень:**

- оцінювання фізичних параметрів і характеристик котків (вага, форма робочих поверхонь);

- оцінювання статичної дії котків за різної глибини обробітку ґрунту за показниками тиску (як відношення маси котка до площі відбитків робочих поверхонь); проникної здатності (відстані від спущеної поверхні до поверхні відбитка); повноти ущільнення ґрунту (відсоткове значення площі відбитків на 1 м<sup>2</sup>).

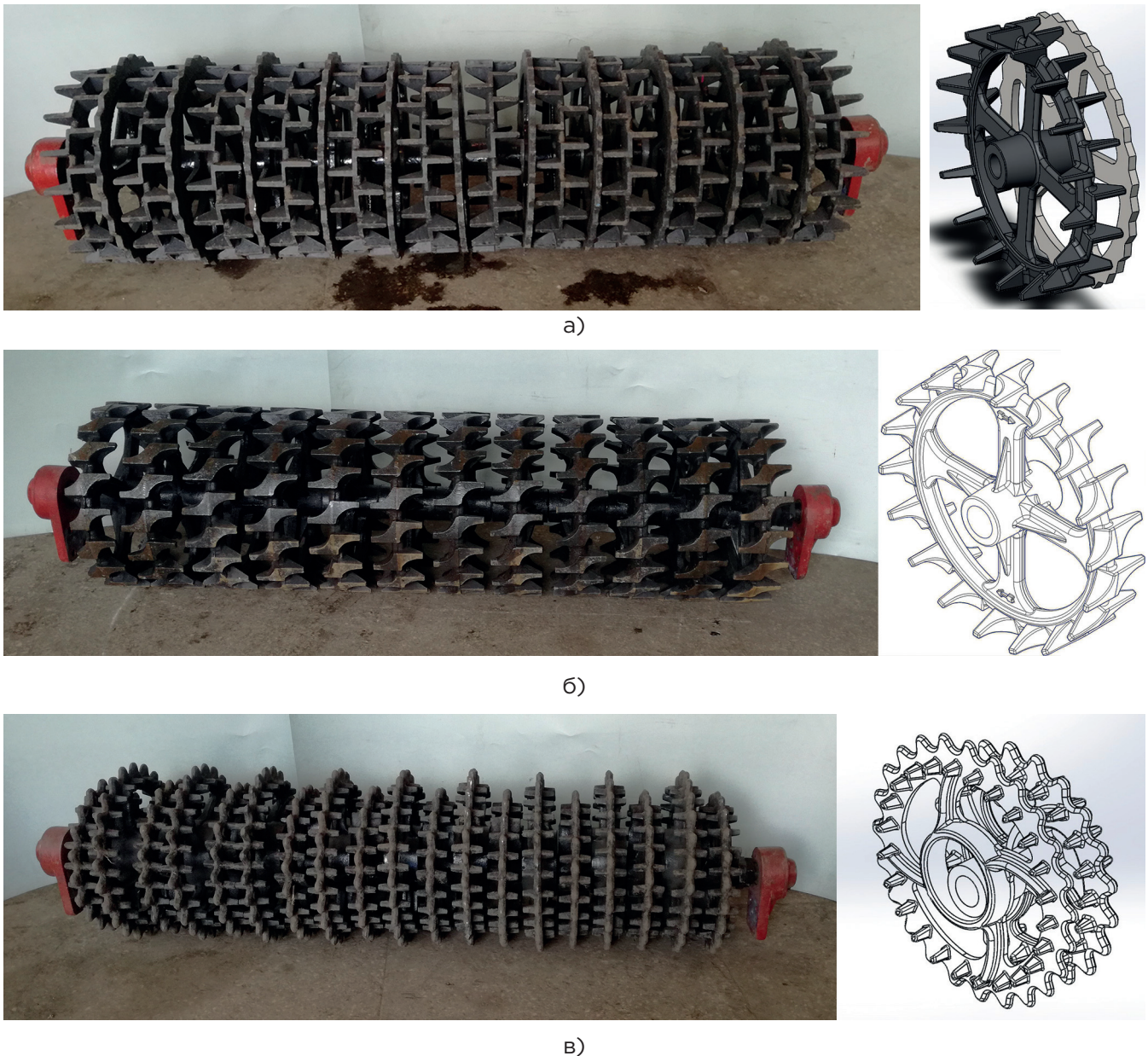
#### **Методи та матеріали.**

Інженерний аналіз котків передбачав дослідження трьох типів котків виробництва ДП «Ливарний завод» (м. Первомайськ), загальний вигляд яких та вигляд їхніх елементарних складових представлено на рисунку 1.

Гіпотеза досліджень передбачала, що поєднання характеристик ваги котків і їхніх геометричних форм робочих поверхонь, які контактують з ґрунтом у статиці, забезпечать притаманні властивості окремо кожному котку (перший етап досліджень), що потенційно зорієнтує на вибір найбільш прийнятних критеріїв для порівняння функційних особливостей котків, необхідних для польових досліджень у динаміці (другий етап досліджень).

Критеріями статичного дослідження були обрані: проникна здатність (глибина занурення) (1); тиск на ґрунт (питомий) (2); повнота ущільнення площі (3); напрямок дії притискних зусиль (4); особливості робочих поверхонь (5); характер кріплення суцільних дисків на валу (6). Методологічно перші три критерії вимагали спеціальних пристосувань з можливістю зміни висоти ґрунтового шару в діапазоні глибин передпосівного і посівного обробітків ґрунту. Інші критерії передбачалося проводити органолептичним оцінюванням.

Дослідження передбачалося проводити



а) кільчасто-шпоровий ЗККШ-6Г; б) кільчасто-шпоровий ККШ-6Г; в) зубчато-шпоровий Croskill

**Рисунок 1** – Загальний вигляд котків та їхніх кільчастих сегментів

на ґрунті, характерному для зони Лісостепу і однорідному за фракційним складом, для усунення впливу ґрунтових включень різного розміру. Оцінювання характеристик ґрунту (механічний склад, вологість, щільність) проводилося термостатно-ваговим методом, за загальноприйнятою методикою «різального кільця» [Качинський, 1947] з об'ємом циліндра  $100 \text{ см}^3$ .

Для визначення площі однієї елементарної робочої поверхні кільчастого диска розмічальну сітку накладали на його відбиток на поверхні, залишений в шарах ґрунту  $h_{\min}$ ,  $h_{\text{сеп}}$ ,  $h_{\max}$ . Визначаючи тиск на ґрунт, залежно від висоти обробленого

шару, розмічальну сітку накладали на відбиток від декількох площ елементарних робочих поверхонь, які фіксувалися по хорді занурення в ґрунт кільчастого сегмента.

Експериментальні дані обробляли методом дисперсійного аналізу за [Доспехов, 1985] та інтерпретували стандартними комп'ютерними програмами Excel і графіками.

**Результати.** Проведеними дослідженнями отримано фізичні параметри і характеристики, які наведено в таблицях 1, 2.

Статичні дослідження проводились на основі аналізу відбитків робочих повер-

Таблиця 1 – Загальна характеристика дисків (секції) котків

Показник	Значення показника		
	Тип та марка котка	ЗККШ-6Г.01.00.001 КЗК-6.02.019	ККШ-6Г.304.02
Характеристика диска (секції)			
Матеріал	Сталь	Чавун	Чавун
Діаметр обода (твірної), мм	Ø 520/530	Ø 520	Ø 470 / 530
Ширина (по крайці), мм	135	135	86 x 2
Кількість зубів / шпор	34 / 0	36 / 0	20 (40) / 24 (48)
Маса, кг	38,90	36,00	51,00
Форма спиці	Прямолінійна	Прямолінійна	Дугоподібна
Умовна назва котка	Класичний	Модернізований	Спеціалізований

Таблиця 2 – Характеристика секцій котків за органолептичним оцінюванням компонування елементарних робочих поверхонь

Показник	Тип котка		
	Класичний	Модернізований	Спеціалізований диск 1/диск 2
Напрямок дії притискних зусиль	вертикально і вбік	вертикально	Вертикально і вбік
Особливості робочих поверхонь: - горизонтальних	плоскі вузькі	плоскі широкі	точково-сфокусовані трапецієвидні
- вертикальних	трапецієвидні	комбінація прямо- та криволінійних	трапецієвидні
- компонування	однорівневе	однорівневе	дворівневе
Характер кріплення суміжних дисків на валу	рухомий	жорсткий	рухомий

Класичний

Модернізований

Спеціалізований



Рисунок 2 – Вигляд зони ущільнення котків на середній глибині

хонь, залишених у шарах ґрунту  $h_{\min}$ ,  $h_{\text{сеп}}$ ,  $h_{\max}$ . На рисунку 2 представлено приклад відбитка котка на одній із досліджуваних глибин. Повнота ущільнення визначалась розрахунковим методом як похідна площі відбитків на  $1 \text{ м}^2$  (табл. 3).

Графічна інтерпретація залежностей, представлених у критеріях 1, 2, 3, наведена на рисунках 3, 4, 5.

Згідно з графіками, проникна здат-

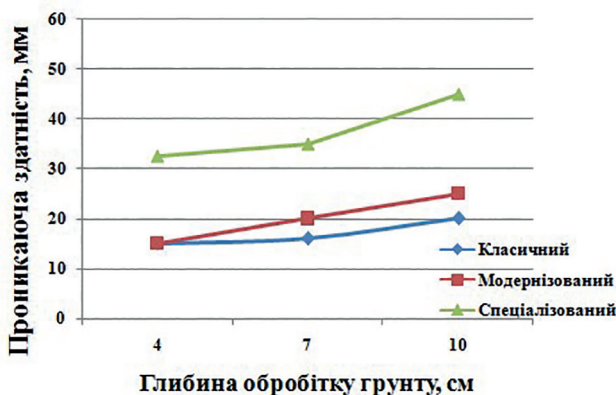
ність класичного і модернізованого котків є близькою і, залежно від зміни глибини обробітку ґрунту, коливається в межах 60-75 %. Спеціалізований коток проникає в 2-2,5 рази краще за два інших.

Тиск на ґрунт, залежно від проникної здатності класичного і модернізованого котків, також є близьким і практично стабільним.

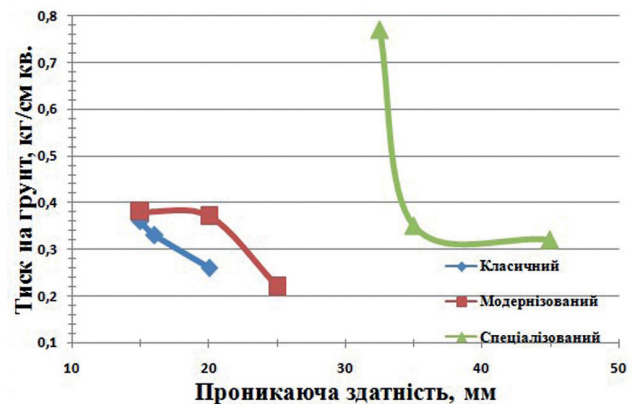
У спеціалізованого котка тиск на ґрунт

**Таблиця 3 – Проникна здатність, тиск на ґрунт та повнота ущільнення залежно від глибини обробітку**

Показник	Тип котка								
	Класичний			Модернізований			Спеціалізований диск 1/диск 2		
Глибина обробітку, см	4	7	10	4	7	10	4	7	10
Проникна здатність, см	1,5	1,6	2,0	1,5	2,0	2,5	3,3	3,5	4,5
Тиск на ґрунт, кг/см <sup>2</sup>	0,36	0,33	0,26	0,38	0,37	0,22	0,77	0,38	0,34
Повнота ущільнення 1 м <sup>2</sup> площі, %	22	26	32	35	36	39	22	44	58



**Рисунок 3** – Залежність проникної здатності від глибини обробітку



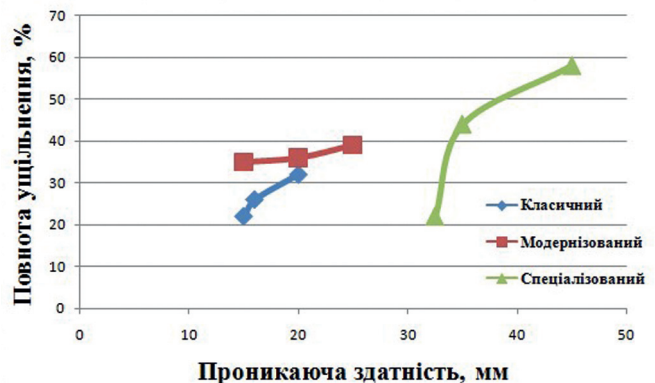
**Рисунок 4** – Залежність тиску на ґрунт від проникної здатності (глибина занурення)

за малої проникної здатності майже в 2,5 раза вищий ніж у інших. Зі збільшенням проникної здатності тиск падає приблизно на 70 % і стабілізується.

Повнота ущільнення площі класичним котком найменша і зі збільшенням проникнення збільшується починаючи від 22 %, в 1,5 раза. У модернізованого котка цей показник невисокий і стабільніший, на малому проникненні ущільнює 32 % площі і зі зміною проникнення зростає лише в 1,15 раза. Спеціалізований коток має повноту ущільнення за малого проникнення за площею ущільнення близький до класичного, а за великого проникнення ущільнює майже 60 % площі, що в 1,8-2,6 раза більше за двох інших.

**Обговорення.** Діаметр обода твірної випробовуваних котків коливається від 480 до 540 мм (різниця складає близько 13 %). У подальшому їх можна порівнювати в динамічних випробуваннях, оскільки діаметр котка впливає на можливість згорнення ґрунту. Це підтверджується дослідженнями [Кулен А., Кунперс Х., 1986].

Сукупна дія чинників ваги, розмірів, форм робочих поверхонь впливає на ди-



**Рисунок 5** – Залежність повноти ущільнення від проникної здатності (глибини занурення)

намічну складову призначення. За дослідженнями [https://blog. agrivi com/post/], гладка поверхня водоналивного котка і діапазон низьких значень тиску якісно виконують поверхневе перед- і післяпосівне прикочування, що є ефективним для формування посівного ложа для дуже дрібного і мілкового насіння (трава, люцерна, ріпак, льон). За дослідженнями [Ловкис и др., 2011], визначено різний вплив гладкого і кільчасто-шпорового котків на ущільнення верхніх і нижніх шарів ґрунту та їхню вологість. Кількість робочих поверхонь (зубів, шпор), які контактують

з ґрунтом, їхня площа, рівні розміщення, характер кріплення на валу (рухомий, блокований), форма шпичь прогнозують грудкоподрібнювальні, поверхневі та підповерхневі ущільнювальні властивості, залипання, інтенсивність кришення, повноту ущільнення в горизонтах відбитка робочих органів і під ними.

Тиск на ґрунт, як відношення маси диска котка до площі відбитка робочих поверхонь, дуже важлива характеристика котка, яка визначається сукупною дією ваги та геометричних форм.

Надлишкова вага котка, як і малий діаметр, за твердженням авторів [<https://www.farmweekly.com.au/story/6717199/>, 2020], може бути причиною згорнення ґрунту.

За твердженням дослідників США [Al-Kaisi and all, 2011; Edwards and all, 2012; Rueber D., Holmes I., 2012], рекомендоване притискне зусилля під час прикочування сходів сої складає близько 0,2 кг/см<sup>2</sup>. Казахські вчені [Астафьев В. Л. и др., 2017] рекомендують 0,3-0,4 кг на 1см<sup>2</sup>, причому більший тиск застосовують на легких ґрунтах з меншими запасами ґрунтової вологи, а менший на важких і вологіших [<https://www.farmweekly.com.au/story/6717199/>, 2020].

За нашими дослідженнями, межі тиску в діапазоні досліджуваних глибин склали 0,2-0,77 кг/см<sup>2</sup>. Експериментальне верхнє значення межі 0,77 кг/см<sup>2</sup> отримано лише за умови малої глибини спущеного шару, коли маса кільця котка концентрувалася на відбитку зуба, під яким знаходилася жорстка основа. Останнє може свідчити про перспективу грудкоподрібнювальних властивостей зубчато-шпорового котка. Водночас застосування кільчато-шпорових котків у вологих умовах стає причиною їх залипання, тому їх слід використовувати на ґрунті пониженої вологості [Астафьев и др., 2017; <https://www.farmweekly.com.au/story/6717199/>].

Повнота ущільнення, як відсоткове значення площі відбитків поверхонь на 1 см<sup>2</sup>, є важливим показником. Він характеризує густоту формування щільних зон

та неушільнених проміжків. Опосередковано через цей показник можна також характеризувати здатність залипання і забивання котка, його сепарувальні властивості, продуктивність виконання технологічної операції.

Через висоту позиціювання відбитків у шарі ґрунту і нахил робочих поверхонь можна прогнозувати характер ущільнення, перспективу сходів та розвитку рослин.

Більша стабільність тиску, залежно від глибини оброблюваного шару, в досліджуваних класичному і модернізованому котках (кільчато-шпорові) порівняно з роботою спеціалізованого (зубчато-шпоровий) пояснюється поетапним заглибленням однорівневих робочих поверхонь (площі перерізів шпор) і дворівневих (сумі площ зуба і шпор). Щодо поведінки зусиль кільчато-шпорових котків це опосередковано співзвучно з результатами досліджень [Ловкис В. Б. и др., 2011].

Про неоднозначність поведінки кільчато-шпорових котків з різним типом шпор підтверджується в роботі [Крук И. С. и др., 2017].

**Висновки.** Інженерний аналіз і статичні дослідження кільчато-шпорових і зубчато-шпорових котків проведено для визначення і прогнозування притаманних кожному котку властивостей для вибору прийнятних критеріїв їх порівняння в польових умовах у динаміці.

Встановлено, що вони близькі за діаметром дисків, мають різне компонування, створюють різний тиск на ґрунт у діапазоні 0,2–0,7кг/см<sup>2</sup>, через що прогнозується їхня різна спеціалізація.

За показниками критеріїв інженерного аналізу та стаціонарних досліджень складових характеристики котків – ваги, форми робочої поверхні, тиску на ґрунт, повноти ущільнення, проникної здатності в діапазоні глибини поверхневого і передпосівного обробітків ґрунту, прогнозовано, що кожному з трьох котків притаманна переважна особливість для найбільш ефективного їх застосування на грудкоподрібнювальних, передпосівних і післяпо-

сівних операціях обробітку ґрунту.

Визначено, що найбільш прийнятними критеріями подальших досліджень динаміці змінної швидкості руху мають виступати інтенсивність подрібнення ґрунок, ступінь ущільнення ґрунту, інтенсивність ущільнення дна, залипання робочої поверхні котка в умовах підвищеної вологості, здатність до самоочищення.

Практична і наукова цінність досліджень полягає в можливості виробника котків удосконалювати, коригувати і розвивати їхню конструкцію, виробникам сільськогосподарської продукції – приймати рішення щодо застосування таких котків у конкретних умовах. Оскільки результати робіт щодо кожного чинника отримано за однакових умов, наукова цінність полягає в можливості протиставлення теоретичних розробок наявним емпіричним залежностям і вишукуванні компромісів їх взаємопов'язування.

Інженерний аналіз допомагає зорієнтуватися на вибір найбільш прийнятних критеріїв для порівняння функційних особливостей котків, необхідних для польових досліджень у динаміці, де певний вплив на якість роботи котків будуть мати змінна твердість і взаємодія рухомих дисків, що надасть повніше розуміння особливостей роботи і використання кільчато-шпорових і зубчато-шпорових котків.

### Перелік літератури

Астафьев В. Л., Курач А.А., Семибаламут А.В. (2017) Прикатывание почвы: когда, как, чем и зачем? Нивы России. – № 10 (154). – 11.

Буксман В. Э., Милюткин В. А., Толпекин С.А. (2018). Качественное прикатывание высокоэффективными катками – гарантированное увеличение урожайности. Материалы международной научно-практической конференции /Научное обеспечение инновационного развития АПК регионов РФ: Курганская сельскохозяйственная академия.

Василенко П. М. (1990). Универсаль-

ные математические модели функционирования машинных агрегатов и их применение. – К.: УСХА. – 15 с.

Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Г. Д. та ін. (2004). Сільськогосподарські та меліоративні машини /За ред. Д. Г. Войтюка. – К.: Вища освіта. – 544 с. іл.

Горячкин В. П. (1914). Основы сельскохозяйственных машин и орудий. Принцип механического подобия и однородности. – М. – Вып. 2.

Доспехов Б. А. (1985). Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат. – 351 с.

Качинский Н. А. (1947). О структуре почвы, некоторых ее свойствах и дифференциальной порозности. /Почвоведение. – № 6.

Кравчук В. І., Грицишин М. І., Коваль С. М. та ін. (2004). Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки /За ред. Кравчука В. І., Грицишина М. І., Ковалю С. М. – К.: Аграрна наука. – 396 с.

Крук И. С., Чигарев Ю. В., Назаров Ф. И., Романюк В. (2017). Теоретические исследования воздействия на почву уплотняющих элементов кольчато-прутковых рабочих органов катковых приставок. Proceeding of National Academy of Sciences of Belarus, agrarian series. – № 4, pp. 92-102.

Кузнецов Ю. И. (1978). Влияние диаметра сельскохозяйственных катков на агротехнические показатели работы. – Москва. – Научно-технический бюллетень ВИМ. – Вып. 37. – С. 3-5.

Кулен А., Кунперс Х. (1986). Современная земледельческая механика./ Пер. с англ. А. Э. Габриэляна, Под ред. Ю. А. Смирнова. – Москва: Агропромиздат. – 349 с.

Ловкис В. Б., Бакач Н. Г., Радько Е. Г. (2011). Кинематические параметры работы катков. Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. /Материалы научно-практической конференции. – Минск: Республиканское унитарное предприятие «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».



Ловкис В. Б., Бакач Н. Г., Радько Е. Г., Лисай Н. К. (2011). Исследование влияния прикатывающего катка на изменение характеристик почв на глубине // Агропанорама. – № 6. – С. 4-6.

Смолінський С., Смолінська Л., Марченко В. (2017). Грунтообробні котки для ефективного землеробства. – К.: Агроексперт. – № 6.

Сысолин П. В., Погорелый Л. В. (2005). Почвообрабатывающие и посевные машины: история, машиностроение, конструирование. – Киев: Феникс. – 264 с.

Шикула Н. К., Назаренко Г. В. (1990). Минимальная обработка черноземов и воспроизводство их плодородия. – Москва: Агропромиздат. – 320 с.

Al-Kaisi, M., DeJong-Hugnes, J., Holmes, J., Hanna, M. (2011). Land Roller Use: Challenges and Benefits. Iowa State University. Online at: <http://www.extension.iastate.edu/CropNews/2011/0103alkaisi.htm>.

Edwards, W., Johans, A., Chamra, A. (2012). Iowa Farm Custom Rate Survey. Iowa State University. Online at: <http://www.extension.iastate.edu/agdm>. Holen, D. 2011. Consider advantages, disadvantages and timing of ground rolling in soybean production. Ag News Wire, University of Minnesota Extension. Online at: [www.extension.umn.edu/news](http://www.extension.umn.edu/news).

Soil Rolling – a Good Farm Decision or Total Yield Breakdown. <https://blog.agrivi.com/post/soil-rolling-a-good-farm-decision-or-total-yield-breakdown>.

Research Looks at roller effectiveness. <https://www.farmweekly.com.au/story/6717199/research-looks-at-roller-effectiveness/> Shannon Beattie 12 Apr.: 2020. 10 a.m.

Rueber, D., Holmes, J. (2012). Water Infiltration following Land Rolling of Soybeans. Iowa State University 2011 Northern Research and Demonstration Farm Progress Report. Online at: <http://www.ag.iastate.edu/farms/11reports/Northern/WaterInfiltration.pdf>.

Yongwei, Fu.; Zhengchao, Tian; Amoozegar, Aziz, et al (2019). Measuring

dynamic changes of soil porosity during compaction. SOIL & TILLAGE RESEARCH. Volume: 193, P.: 114-121.

## References

Al-Kaisi, M., DeJong-Hugnes, J., Holmes, J., Hanna, M. (2011). Land Roller Use: Challenges and Benefits. Iowa State University. Online at: <http://www.extension.iastate.edu/CropNews/2011/0103alkaisi.htm>.

Astafiev V. L., Kurach A. A., Semibalmut A.V. (2017) Rolling the soil: when, how, what and why? Niva Rossi. - No. 10 (154). - eleven.

Buksman V. E., Milyutkin V. A., Tolpekin S. A. (2018). High-quality packing with highly efficient rollers - a guaranteed increase in yield. Materials of the international scientific and practical conference / Scientific support for the innovative development of the agro-industrial complex of the regions of the Russian Federation: Kurgan Agricultural Academy.

Dospekhov B. A. (1985). Field experiment technique (with the basics of statistical processing of research results). - М.: Агропромиздат. - 351 p.

Edwards, W., Johans, A., Chamra, A. (2012). Iowa Farm Custom Rate Survey. Iowa State University. Online at: <http://www.extension.iastate.edu/agdm>. Holen, D. 2011. Consider advantages, disadvantages and timing of ground rolling in soybean production. An News Wire, University of Minnesota Extension. Online at: [www.extension.umn.edu/news](http://www.extension.umn.edu/news).

Kachinsky N. A. (1947). On soil structure, some of its properties and differential porosity. / Soil science. - No. 6.

Kravchuk V. I., Gritsyshyn M. I., Koval S. M. etc. (2004). Modern trends in the development of agricultural machinery / Ed. Kravchuk V. I., Gritsishina M. I., Koval S. M. - К.: Agrarian science. - 396 p.

Kruk I.S., Chigarev Yu.V., Nazarov F.I., Romanyuk V. (2017). Theoretical studies of the impact on the soil of the sealing elements of the ring-rod working bodies of the roller attachments. Proceeding of National Academy of Sciences of Belarus, agrarian series.

- No. 4, pp. 92-102.

Kulen A., Kunpers H. (1986). Modern agricultural mechanics. / Transl. from English. A. E. Gabrielyan, Ed. Yu. A. Smirnov. - Moscow: Agropromizdat. - 349 p.

Lovkis V. B., Bakach N.G., Radko E. G. (2011). Kinematic parameters of the rollers. Scientific and technical progress in agricultural production. / Materials of the scientific and practical conference. - Minsk: Republican Unitary Enterprise «Scientific Research Center of the NAS of Belarus for Agricultural Mechanization».

Lovkis V. B., Bakach N. G., Radko E. G., Lisay N. K. (2011). Investigation of the effect of the roller on the change in soil characteristics at depth // Agropanorama. - No. 6. - P. 4-6.

Research Looks at roller effectiveness. <https://www.farmweekly.com.au/story/6717199/recearcg-looks-at-roller-effectiveness/> Shannon Beattie 12 Apr.: 2020. 10 a.m.

Rueber, D., Holmes, J. (2012). Water Infiltration following Land Rolling of Soybeans. Iowa State University 2011 Northern Research and Demonstration Farm Progress Report. Online at: <http://www.ag.iastate.edu/farms/11reports/Northern/WaterInfiltration.pdf>.

Shikula N. K., Nazarenko G.V. (1990). Minimal processing of chernozems and reproduction of their fertility. - Moscow: Agropromizdat. - 320 p.

Smolinsky S., Smolinskaya L., Marchenko V. (2017). Tillage rollers for efficient agriculture. - К.: Агроексперт. - № 6.

Soil Rolling – a Good Farm Decision or Total Yield Breakdown. <https://blog.agrivi.com/post/soil-rolling-a-good-farm-decision-or-total-yield-breakdown>.

Sysolin P. V., Pogorilyy L. V. (2005). Tillage and sowing machines: history, mechanical engineering, design / P. V. Sysolin, L. V. Pogorilyy. - Kiev: Phoenix. - 264 p.

Vasilenko P. M. (1990). Universal mathematical models of the functioning of machine units and their application. - К.: USKHA. - 15 p.

V. P. Goryachkin (1914). Fundamentals of agricultural machinery and tools. The principle of mechanical similarity and homogeneity. - М. - Issue. 2.

Voytiuk D. G, Dubrovin V. O, Ishchenko G. D. etc. (2004). Agricultural and reclamation machines / Ed. D. G. Wojtyuk. - К.: Higher education. - 544 pp. Ill.

Yongwei, Fu.; Zhengchao, Tian; Amooze-gar, Aziz, et al (2019). Measuring dynamic changes of soil porosity during compaction. SOIL & TILLAGE RESEARCH. Volume: 193, P.: 114-121.

Yu. I. Kuznetsov (1978). The influence of the diameter of agricultural rollers on agrotechnical performance / Yu. I. Kuznetsov. - Moscow. - Scientific and technical bulletin VIM. - Issue. 37. - S. 3-5.

UDC 631.314

## ROLLERS OF DIFFERENT CONSTRUCTIONS. ENGINEERING ANALYSIS

**Shustik L.**, Cand. Tech. Scs,

e-mail: shustik@ukr.net,

<https://orcid.org/0000-0003-2413-935X>

**Pogoriliy V.**, e-mail: pogoriliy@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6867-8120>

**Nilova N.**, e-mail: nilova-n@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5514-2338>

**Gaiday T.**, Cand. Tech. Scs, <https://orcid.org/0000-0001-9141-4820>

**Stepchenko S.**, <https://orcid.org/0000-0003-2808-9644>

**Sidorenko S.**, <https://orsid.org/0000-0001-5046-117X>

L. Pogorilyy UkrNDIPVT

### Summary

Comparative field tests of similar in design ring-spur and gear-spur rollers for soil rolling provide their developers and users with information on the understanding of the design and technological features.

**The Goal of research** – engineering analysis of structures of ring-spur and gear-spur rollers according to the criteria of weight, shape of working surfaces, soil pressure, completeness of compaction, penetrating ability in the range of depth of pre-sowing and surface tillage.

**Methods and Materials.** Engineering analysis involved the study of three types of rollers. The research hypothesis assumed that the combination of weight characteristics of rollers and their geometric shapes of working surfaces in contact with the soil, in statics will provide the inherent properties of each cat (the first stage of research), which will potentially focus on choosing the most acceptable criteria for comparing functional features of rollers. necessary for field research in dynamics (the second stage of research).

According to the criteria of static research were selected: penetrating ability (1); soil pressure (2); completeness of compaction of the area (3); direction of clamping forces (4); features of working surfaces (5); the nature of the mounting of solid disks on the shaft (6). Methodologically, the first three criteria required special adaptations (capacities) with the ability to change the height of the soil layer in the range of depths of pre-sowing and sowing tillage. Other criteria were supposed to be carried out by organoleptic evaluation.

The study was supposed to be carried out on soil characteristic of the Forest-Steppe zone and homogeneous in fractional composition, to exclude the influence of soil inclusions of different sizes. Evaluation of soil characteristics was performed by thermostatic-weight method, according to the generally accepted method of «cutting ring» [Kaczynski, 1947] with a cylinder volume of 100 cm<sup>3</sup>.

To determine the area of one elementary working surface of the annular disk, the application of a marking grid on its imprint on the surface left in the soil layers  $h_{mir}$ ,  $h_{mid}$ ,  $h_{max}$  was used. When determining the pressure on the soil, depending on the height of the treated layer, the marking grid was superimposed on the imprint of several areas of elementary working surfaces, which were fixed on the chord of immersion in the soil of the annular segment.

Statistical analysis of experimental data was performed by the method of analysis of variance according to [Dospekhov, 1985] and interpreted by standard computer programs Excel and graphs.

**Results.** According to the physical characteristics (weight and geometric parameters) of the roller combines the proximity of the diameter of the disks, the width of the working surfaces on the edge of the generator, the presence of spurs. The difference lies in the dimensional characteristics that fall on

*the width of the grip, the presence of aggressive protruding shapes (teeth) in the gear-spur structure.*

*Each roller has an individual layout of elementary work surfaces. This allowed the conditional marking of rollers as «classic», «modernized» and «specialized». The working surfaces of the classic and specialized rollers provide vertical and lateral action of the clamping forces, while the modernized forms them in the vertical direction. These forces for each of the rollers are derived from the orientation of the working surfaces of different configurations (flat narrow, flat wide; a combination of point-focused with trapezoidal). In addition, work surfaces can have a one- or two-level sequence of contact with the soil at a variable depth.*

*It is established that the nature of the attachment of adjacent disks on the shaft can be rigid or movable.*

*Definitions of concepts and their estimation on indicators of pressure, completeness of consolidation, penetrating ability are resulted.*

**Conclusions.** *According to the indicators of engineering analysis, each of the three rollers is predicted to have its inherent dominant feature for the most effective use in milling, pre-sowing and post-sowing tillage operations.*

*It is determined that the most acceptable criteria for further research in the dynamics of variable speed should be the intensity of crushing lumps, the degree of soil compaction, the intensity of soil compaction, sticking of the working surface of the roller in high humidity, self-cleaning ability.*

*The criteria of further research in dynamics are determined.*

**Key words:** *rollers, ring-spur, gear-spur, rolling, soil compaction, engineering analysis, functional features, penetrating ability.*

УДК 631.314

## **КАТКИ РАЗНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ**

**Шустик Л.**, канд. техн. наук,

e-mail: shustik@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-2413-935X>

**Погорелый В.**, e-mail: pogoriliy@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-6867-8120>

**Нилова Н.**, e-mail: nilova-n@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-5514-2338>

**Гайдай Т.**, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0001-9141-4820>

**Степченко С.**, <https://orcid.org/0000-0003-2808-9644>

**Сидоренко С.**, <https://orcid.org/0000-0001-5046-117X>

УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого

### **Аннотация**

*Сравнительные полевые испытания близких по конструкции кольчато-шпоровых и зубчато-шпоровых катков для прикатывания почвы обеспечивают их разработчиков и потребителей информацией относительно понимания конструкции и технологических особенностей.*

**Цель исследований** – инженерный анализ конструкций кольчато-шпоровых и зубчато-шпоровых катков по критериям веса, формы рабочих поверхностей, давления на почву, полноты уплотнения, проникающей способности в диапазоне глубины предпосевной и поверхностной обработок почвы.

**Методы и материалы.** *Инженерный анализ предусматривал исследования трех типов катков. Гипотеза исследования предусматривала, что сочетание характеристик веса катков и их геометрических форм рабочих поверхностей, контактирующих с почвой, в статике обеспечат присущие им свойства отдельно для каждого катка (первый этап исследований), что позволит потенциально*

сориентироваться на выборе наиболее приемлемых критериев для сравнения функциональных особенностей катков, необходимых для полевых исследований в динамике (второй этап исследований).

В качестве критериев статического исследования были выбраны: проникающая способность (1); давление на почву (2); полнота уплотнения площади (3); направление действия прижимных усилий (4); особенности рабочих поверхностей (5); характер крепления сплошных дисков на валу (6). Методологически первые три критерия требовали специальных приспособлений (емкостей) с возможностью изменения высоты почвенного слоя в диапазоне глубин предпосевной и послепосевной обработок почвы. Другие критерии предполагалось проводить органолептическим оцениванием.

Исследования предполагалось проводить на почве, характерной для зоны Лесостепи и однородной по фракционному составу, для исключения влияния почвенных включений разного размера. Оценивание характеристик почвы проводилось термостатно-весовым методом, по общепринятой методике «режущего кольца» [Качинский, 1947] с объемом цилиндра 100 см<sup>3</sup>.

Для определения площади одной элементарной рабочей поверхности кольчатого диска использовали наложения разметочной сетки на его оттиск на поверхности, оставленный в слоях почвы  $h_{\text{мин}}$ ,  $h_{\text{сред}}$ ,  $h_{\text{макс}}$ . При определении давления на грунт, в зависимости от высоты обработанного слоя, разметочная сетка накладывалась на оттиски от нескольких площадей элементарных рабочих поверхностей, которые фиксировались по хорде погружения в почву кольчатого сегмента.

Статистический анализ экспериментальных данных осуществляли методом дисперсионного анализа по [Доспехов, 1985] и интерпретировали стандартными компьютерными программами Excel и графиками.

**Результаты.** По физическим характеристикам (вес и геометрические параметры) катки сочетаются близостью диаметра дисков, ширины рабочих поверхностей по кромке образующей, наличием шпор. Отличие заключается в размерных характеристиках, которые приходятся на ширину захвата, наличии агрессивных выступающих форм (зубов) в зубчато-шпоровой конструкции.

Каждый каток имеет индивидуальную компоновку элементарных рабочих поверхностей. Это позволило провести условную маркировку катков как «классический», «модернизированный» и «специализированный». При этом рабочие поверхности классического и специализированного катков обеспечивают вертикальное и боковое действие прижимных усилий, в то время как модернизированный формирует их в вертикальном направлении. Эти усилия для каждого из катков являются производной особенностей ориентации рабочих поверхностей различной конфигурации (плоские узкие, плоские широкие, сочетание точечно-сфокусированных с трапециевидными). К тому же рабочие поверхности могут иметь одно- или двухуровневую последовательность контакта с почвой при переменной ее глубине.

Установлено, что характер крепления смежных дисков на валу может быть жестким или подвижным.

Приведены определения понятий и их оценивание по показателям давления, полноты уплотнения, проникающей способности.

**Выводы.** По показателям инженерного анализа каждому из трех катков спрогнозировано присущую ему доминирующую особенность для наиболее эффективного применения на дроблении крупных комков, предпосевной и послепосевной операциях обработки.

Определено, что наиболее приемлемыми критериями дальнейших исследований в динамике переменной скорости движения должны выступать интенсивность дробления комков, степень уплотнения почвы, интенсивность уплотнения дна, залипание рабочей поверхности катка в условиях повышенной влажности, способность к самоочищению.

Определены критерии дальнейших исследований в динамике.

**Ключевые слова:** катки, кольчато-шпоровый, зубчато-шпоровый, прикатывание, уплотнение почвы, инженерный анализ, функциональные особенности, проникающая способность