

## КІЛЬЧАСТО-ШПОРОВІ І ЗУБЧАТО-ШПОРОВІ КОТКИ. ФУНКЦІЙНІ ТА ДИНАМІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ

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, e-mail: tanusha-h@ukr.net,

<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

Експериментальні дослідження в польових умовах близьких за конструкцією кільчасто-шпорових і зубчато-шпорових котків для прикочування ґрунту забезпечують їх розробників і користувачів інформацією щодо розуміння їхніх конструкційних та функційних особливостей.

**Мета досліджень** — порівняння функційних особливостей роботи кільчасто-шпорових і зубчато-шпорових котків за критеріями грудкобійного ефекту, ущільнювальної дії, стійкості до залипання в діапазоні глибини передпосівного і поверхневого обробітків ґрунту.

**Методи і матеріали.** Динамічні випробування передбачали дослідження трьох типів котків.

Гіпотеза досліджень передбачала, що вибрані критерії оцінювання роботи котків (інтенсивність подрібнення грудок, ущільнювальна дія котків, інтенсивність ущільнення дна та працездатність котків на ґрунтах підвищеної вологості) залежать від тиску котка і різних швидкісних режимів, оскільки вони є похідними від форми робочих поверхонь.

Покритеріальні дослідження передбачалося проводити на однотипному ґрунті: грудкобійні характеристики на сухому  $W=(10...12)$  %, ущільнювальна дія на фізично стиглому ґрунті  $W=(15...20)$  %, працездатність на ґрунтах підвищеної вологості —  $W=(25...27)$  %. Оцінювання характеристик ґрунту проводилося термостатно-ваговим методом за загальноприйнятною методикою «ріжучого кільця» [Качинський Н. А., 1947], за об'ємом циліндра  $100\text{ см}^3$ .

Для визначення інтенсивності ущільнення дна використовували методологію і технічний засіб розробки УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого.

Статистичний обробку експериментальних даних здійснювали методом дисперсійного аналізу за [Доспехов, 1985] та інтерпретували стандартними комп'ютерними програмами Excel як графіки.

**Результати.** Інтенсивність подрібнення грудок класичним котком є найнижчою і залежить від швидкості руху.

Інтенсивність подрібнення модернізованим котком вища приблизно в 1,1 раза і з ростом швидкості руху практично стабільна.

Інтенсивність подрібнення грудок спеціалізованим котком є найвищою і майже на  $(10...20)$  %, відповідно, перевищує показники двох попередніх котків і несуттєво залежить від росту швидкості руху.

Найбільше ущільнення ґрунту (висота шару до якої просів після проходу котка попередньо підготовлений ґрунт) притаманне спеціалізованому котку, яке майже в  $(1,5...1,7)$  раза вище, відповідно, класичного та модернізованого. Залежно від глибини попереднього обробітку ґрунту  $(5...10)$  см ущільнення котками змінюється приблизно вдвічі.

Найбільшу інтенсивність ущільнення дна забезпечує спеціалізований коток, а модернізований і класичний ущільнюють, відповідно, в  $(1,2...1,4)$  раза нижче.

Спеціалізований коток залипає найшвидше, чому сприяє 4-ярусне компонування робочих поверхонь і їх максимальний у порівнянні з іншими контакт з ґрунтом. Модернізований коток щодо залипання поверхні близький до спеціалізованого. Класичний коток найдовше зберігає чисту поверхню.

**Висновки.** Класичний коток достатньо добре ущільнює як верхній, так і нижній горизонти ґрунту, виносить на поверхню мало вологи, має середній грудкобійний ефект, може бути рекомендований для широкого діапазону робіт, але основне його призначення – це обробіток ґрунту після сівби. Як компромісне рішення може бути використаний на передпосівному обробітку з хорошими показниками якості.

Модернізований коток добре ущільнює верхній шар ґрунту, виносить мало вологи, мульчує поверхню, добре розподіляє зусилля по глибині за різних глибин культивування і насамперед може бути рекомендований для передпосівного обробітку; як компромісне рішення може бути використаний після сівби з хорошими показниками якості.

Спеціалізований коток – зубчато-шпоровий, має хорошу проникну здатність, найбільш активно працює, забезпечуючи найкращий грудкобійний ефект, децю виносить вологі горизонти на поверхню, тому може бути рекомендований для вирівнювання і використання на ґрунті після основного обробітку.

Кожен із досліджених котків може якоюсь мірою бути використаний на всіх зазначених технологічних операціях, але найкращий результат буде досягнутий за умови врахування їхніх особливостей, виду та періоду виконання.

**Ключові слова:** котки, кільчасто-шпоровий, зубчато-шпоровий, функційні особливості, інтенсивність подрібнення, ущільнювальна дія, залипання.

**Вступ.** Дослідженню ефективності застосування прикочувальних котків приділяли увагу багато вчених [Кузнецов, 1978; Ловкис и др., 2011; Смолінський та ін., 2017; Буксман и др., 2018]. При цьому 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 післяпосівному – ущільнення підповерхневого шару з покриттям його дрібнодисперсною фракцією для вологозабезпечення зони насінневого ложа і протидії випаровування 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; для покращення умов збирання (нижній зріз, більша швидкість, зниження забрудненості врожаю, менші прості комбайна через поломки) – вдавлювання в ґрунт наявних

твердих включень. Водночас 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 спущеної 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. Котки за функціями можна поділити на монофункційні та поліфункційні. До перших відносяться котки з фактично гладкою поверхнею і їх використання забезпечує в основному єдину ущільнювальну дію. Як правило, це здавна відомі наливні котки. До поліфункційних відносяться котки, характерною особливістю яких є поверхня складної геометрії, а саме: барабанно-штабові, кільчасто-шпорові, зубчато-шпорові, спіральні, пружно-пелюсткові, призмоподібні зубові [Кравчук та ін., 2004, Кузнецов, 1978], швелерні, клиноподібні тощо. Вони можуть виконувати декілька функцій одночасно – опорну, ущільнювальну, мульчувальну, підрізвальну. При цьому

в таких котках повнота ущільнення горизонту (питоме ущільнення поверхні,  $\%/m^2$ ) може наближено сягати меж від 20 до 90 відсотків.

Саме ця несучільність горизонтальної контактної з ґрунтом поверхні дає змогу використати наявні в розривах похилі і вертикальні форми, а також різні рівні їх компонування, які в комбінації статичних характеристик, динамічних режимів котка, нерухомого чи рухомого відносно кріплення суміжних складових котка, нададуть йому специфічних властивостей — заглиблення в ґрунт, тиску в горизонті заглиблення, форми поширення епюри тиску за відбитком контактної з ґрунтом поверхні, висоти спушеного шару над відбитком, здатності до пилоутворення, самоочищення і протидії залипанню, властивості копіювання поверхні. Причому в різних умовах кожен з котків може бути використаний на перед- і післяпосівному, глибокому і мілкому основних обробітках ґрунту та інших операціях, однак кожному з цих котків буде притаманною його панівна особливість. Інтенсифікація названих властивостей можлива за умови більшого ускладнення конструкцій котків, наприклад, надання йому вібраційних коливань і шипів збільшує діапазон притискних зусиль, покращує однорідність щільності горизонту [Шапарь, 2014].

Тому правильне своєчасне використання котків забезпечить досягнення виробничого успіху.

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

Практичне значення статті полягає в можливості виробника котків удосконалювати, 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 досліджень** — порівняння функційних особливостей роботи кільчасто-шпорових і зубчато-шпорових котків за критеріями грудкобійного ефекту, ущільнювальної дії, стійкості до залипання в діапазоні глибини передпосівного і поверхневого обробіток ґрунту.

#### **Завдання досліджень:**

- визначити критерії динамічних досліджень і сформулювати план польового експерименту для визначення кожного критерію в однотипних умовах;
- сформулювати агрегати для проведення експериментальних досліджень;
- визначити умови випробувань для оцінювання можливості роботи котків у конкретній ґрунтово-кліматичній зоні;
- провести лабораторно-польові дослідження з формуванням статистичних масивів показників за визначеними критеріями;
- провести статистичний аналіз експериментальних даних з табличною та графічною інтерпретацією;
- провести ранжування котків за вибраними критеріями.

**Методи та матеріали.** Функційні динамічні випробування передбачали лабораторно-польові 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 вибрані критерії оцінювання роботи є залежними від тиску котка і різних швидкісних режимів, оскільки вони є похідними від форми робочих поверхонь, які контактують з ґрунтом, — похилі і вертикальні, рівнів їх компонування та динамічної дії вказаних поверхонь, що дасть змогу визначити ранжування котків за кожним критерієм окремо і рекомендувати панівні технологічні операції для основного і

компромiсного їх використання виробником сiльськогосподарської продукцiї.

За критерiї оцiнювання прийнято такi:

- iнтенсивнiсть подрiбнення грудок котками залежно вiд швидкостi руху (рiзниця мiж середнiми дiаметрами грудок до i пiсля проходу вiднесена до середнього дiаметра грудок до проходу);

- ущiльнювальна дiя коткiв залежно вiд глибини обробiтку (ступiнь ущiльнення ґрунту – спiввiдношення глибини пiсля прикочування до фактичної, виражене у вiдсотках);

- iнтенсивнiсть ущiльнення дна (виражене у вiдсотках вiдношення висот занурення конуса, який падає, до найменшої, що вiдповiдає максимальнiй щiльностi – iнтенсивностi ущiльнення);

- працездатнiсть коткiв за пiдвищеної вологостi ґрунту (стiйкiсть до залипання поверхнi коткiв – вiдсоткове значення повноти залипання поверхнi коткiв на залiковiй вiдстанi; здатнiсть до самоочищення – можливiсть виносу ґрунту з внутрiшньодискової порожнини).

Дослiджена iнтенсивнiсть подрiбнення грудок на полi (рис. 2, 3) з дiлянками, розмiр фракцiй, на яких вимiрювався до i пiсля проходу кожного котка на трьох швидкостях.



а)



б)



в)

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

**Рисунок 1** – Загальний вигляд коткiв та їхнiх кiльчастих сегментiв



**Рисунок 2** – План експерименту для визначення iнтенсивностi подрiбнення грудок кiльчасто-шпоровим i зубчато-шпоровим котками (грудкобiйний ефект)



а – до проходу котка; б – після проходу котків на середній швидкості 7 км/год

**Рисунок 3** – Вигляд залікової ділянки для оцінювання інтенсивності подрібнення

Глибина обробітку	$h_3$			
	$h_2$			
	$h_1$	↑ V	↑ V	↑ V
		<i>Класичний</i>	<i>Модернізований</i>	<i>Спеціалізований</i>
	Тип котка			

**Рисунок 4** – Схема експерименту для визначення ущільнювальної дії котків

Дослідження ущільнювальної дії на ґрунт (ступеня ущільнення) котками проводилося на попередньо підготовленому полі за алгоритмом: оранка-прикочування-поверхневий обробіток-прикочування. Цим досягаються ідентичні умови фону. План експериментальних досліджень ущільнювальної дії котків представлено на рисунку 4. Ступінь ущільнення ґрунту вимірюється лінійкою.

Інтенсивність ущільнення дна вимірювалася на основі методу конуса, який падає (рис. 5).

Оцінювання працездатності котків (стійкості до залипання) на ґрунтах підвищеної вологості та здатності до самоочищення проводиться в процесі пое-



**Рисунок 5** – Визначення ущільнювальної дії котка. Загальний вигляд: а – агрегата з котком; б – процедури вимірювання ступеня ущільнення ґрунту; в – процедури вимірювання інтенсивності ущільнення дна



**Рисунок 6** – Вигляд залипання різних типів котків на заліковій ділянці

Таблиця 1 – Ступінь подрібнення грудок за різної швидкості руху

Показник	Тип котка								
	Класичний			Модернізований			Спеціалізований		
Швидкість руху, км/год	4	7	10	4	7	10	4	7	10
Середній діаметр грудок (D сер. до проходу), мм	196								
Середній діаметр грудок (D сер. до проходу), мм	97	94	87	82	80	78	79	75	69
Інтенсивність подрібнення грудок, %	50	52	56	58	59	60	60	62	65

тапного проходження котком відрізків залікової ділянки на ґрунті високої вологості на однаковій швидкості. За цих умов після кожного відрізка етапу завдовжки 10 м органолептично фіксується стан котка: повнота залипання поверхні (рис. 6) та здатність до самоочищення.

### Результати

**Визначення грудкобійного ефекту** проводилось у процесі польових експериментів на агрофоні оранки. Тип ґрунту дослідної ділянки – чорнозем типовий малогумусний середньосуглинковий, вологість ґрунту в шарах (0...10) см становила 12 %, твердість – 0,89 МПа.

Критерієм оцінювання визначено *інтенсивність подрібнення грудок* залежно від швидкості руху – різниця між середніми діаметрами грудок до і після проходу віднесена до середнього діаметра грудок до проходу. Результати визначення подрібнення грудок представлені в таблиці 1.

Графічне інтерпретування подрібнення грудок залежно від швидкості руху представлено на рисунку 7.

**Коментарі за результатами випробувань.** Інтенсивність подрібнення грудок класичним котком є найнижчою і залежить від швидкості руху.

Інтенсивність подрібнення модернізованим котком вища приблизно в 1,1 раза і з ростом швидкості руху практично стабільна.

Інтенсивність подрібнення грудок спеціалізованим котком є найвищою і

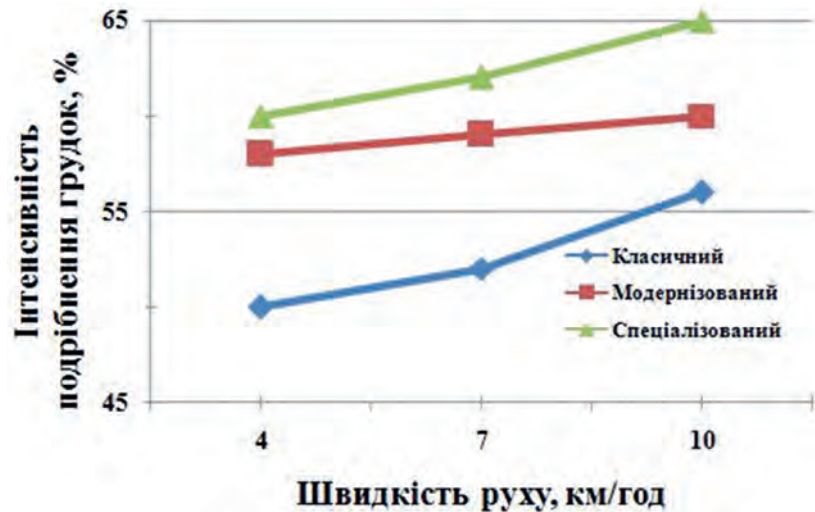


Рисунок 7 – Залежність ступеня подрібнення грудок від швидкості руху

майже на 10 % та 20 %, відповідно, перевищує показники двох попередніх котків і несуттєво залежить від росту швидкості руху.

Отже, найкращий грудкобійний ефект притаманний спеціалізованому котку, за цим показником до нього наближається модернізований коток, а класичний виконує цю функцію посередньо.

**Оцінювання ущільнювальної дії котків** виконувалось за таких умов випробувань: установлена глибина попереднього обробітку ґрунту: 5 см, 7 см, 10 см; тип ґрунту – чорнозем типовий малогумусний середньосуглинковий; вологість та твердість ґрунту в шарах (0...10) см – 18,8 % і (0,49...1,01) МПа відповідно.

Критерії оцінювання: *ступінь ущільнення ґрунту* – співвідношення глибин після прикочування до фактичної, виражене у відсотках; *інтенсивність ущільнення дна* – виражене у відсотках відношення висот занурення конусу, який падає, до

найменшої (максимальна інтенсивність ущільнення).

Результати експериментальних досліджень ущільнювальної дії котків за різної глибини обробітку ґрунту представлені на рисунку 8 та в таблиці 2.

Графічне інтерпретування ступеня ущільнення ґрунту та інтенсивності ущільнення дна після проходу котків залежно від глибини обробітку ґрунту представлено на рисунку 9.

**Коментарі за результатами випробувань.** Найбільше ущільнення ґрунту (висота шару, до якої просів після проходу котка попередньо підготовлений ґрунт) притаманне спеціалізованому котку, яке майже в (1,5...1,7) раза вище відповідно класичного та модернізованого. Залежно від глибини попереднього обробітку ґрунту (5...10) см ущільнення котками змінюється приблизно вдвічі.

Найбільшу інтенсивність ущільнення



Стан поверхні ґрунту після проходу котків

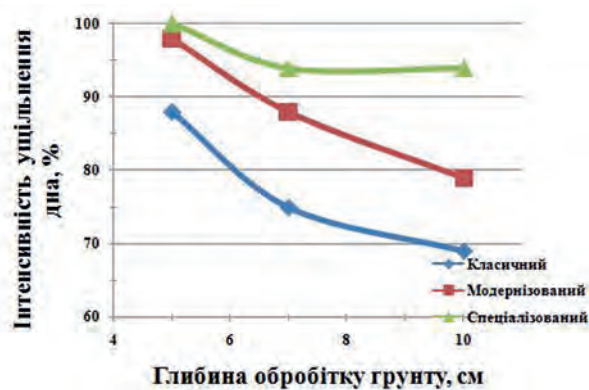
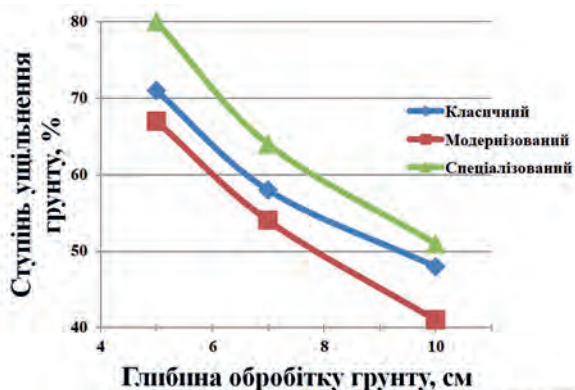
Вигляд ущільненого горизонту

Глибина спущування ґрунту після його прикочування

**Рисунок 8** – Візуалізація ущільнювальної дії котків

**Таблиця 2** – Ступінь ущільнення ґрунту та інтенсивність ущільнення дна залежно від глибини обробітку

Показник	Тип котка								
	Класичний			Модернізований			Спеціалізований		
	$h_{min}$	$h_{сер}$	$h_{max}$	$h_{min}$	$h_{сер}$	$h_{max}$	$h_{min}$	$h_{сер}$	$h_{max}$
Фактична глибина обробітку ґрунту, см	4,8	7,1	10,0	4,8	7,1	10,0	5,0	7,0	10,0
Глибина обробітку ґрунту після прикочування, см	3,4	4,1	4,8	3,2	3,8	4,1	4,0	4,5	5,1
Ступінь ущільнення ґрунту, %	71	58	48	67	54	41	80	64	51
Інтенсивність ущільнення дна, %	88	75	69	98	88	79	100	94	94
Висота занурення конуса, який падає, см	1,79	2,00	2,10	1,63	1,79	1,94	1,60	1,70	1,70



а – ступінь ущільнення ґрунту; б – інтенсивність ущільнення дна

**Рисунок 9** – Визначення ущільнювальної дії котків



Класичний

Модернізований

Спеціалізований

**Рисунок 10** – Вигляд залипання поверхні елементарної секції котків на швидкості  $V = 10$  км/год

**Таблиця 3** – Повнота залипання поверхні котка та здатність до самоочищення

Показник	Тип котка		
	Класичний	Модернізований	Спеціалізований
Повнота злипання поверхні котка, %, за обліковану відстань:			
20	70	80	90
40	100	100	100
Здатність до самоочищення	забезпечується	не забезпечується	забезпечується

дна забезпечує спеціалізований коток, а модернізований і класичний ущільнюють відповідно в (1,2...1,4) раза нижче.

За критеріями ступеню ущільнення ґрунту та інтенсивності ущільнення дна спеціалізований коток виконує свою функцію найкраще, модернізований – добре, а класичний – прийнятно. Найбільше винесення вологи притаманне спеціалізованому котку, значне – класичному, найменше – модернізованому.

**Працездатність котків за підвищеної вологості ґрунту (залипання)** визначалась в таких умовах випробувань: тип ґрунту – чорнозем типовий малогумусний середньосуглинковий; вологість ґрунту в шарах (0...5) см – 27,8 %, (5...10) см – 26,7 %, (10...15) см – 25,0 %.

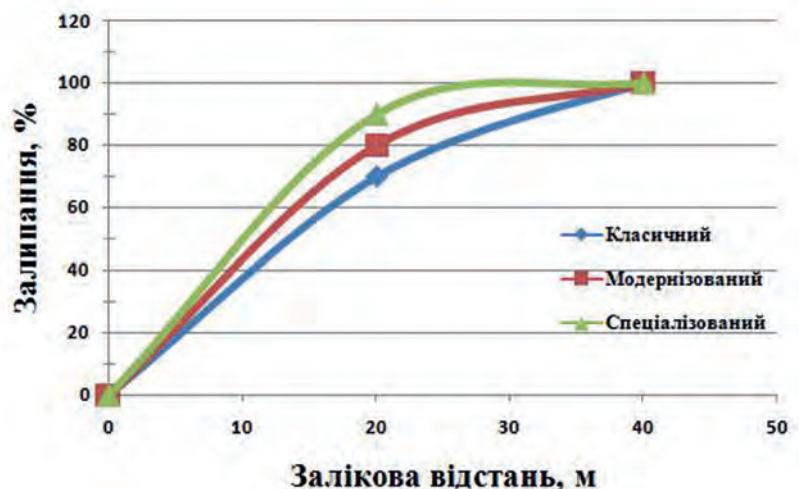
Критерії оцінювання: *залипання поверхні котків* – відсоткове значення повноти залипання поверхні котків на заліковій відстані; *здатність до самоочищення* – можливість виносу ґрунту з внутрішньої

порожнини.

Результати визначення працездатності котків представлені на рисунку 10 і в таблиці 3.

Графічне інтерпретування залипання поверхні котків представлено на рисунку 11.

**Коментарі за результатами випробувань.** Спеціалізований коток залипає найшвидше, чому сприяє 4-ярусне компонування робочих поверхонь і їхній максимальний порівняно з іншими контакт з ґрунтом.



**Рисунок 11** – Залипання поверхні котків у перезволоженому ґрунті залежно від відстані проходу



Модернізований коток щодо залипання поверхні близький до спеціалізованого. Класичний коток найдовше зберігає чисту поверхню.

Резюмуючи сказане, характер кріплення суміжних дисків на валу і ярусність компонування робочих поверхонь, за однотипних умов прикочування перезволоженого ґрунту, є найбільшими чинниками впливу на залипання та забивання, при цьому якість роботи спеціалізованого котка найбільш залежна від вологості ґрунту, а класичного – найменш.

**Обговорення.** Ширина смуги підготовленого для досліджень ґрунту, по якій рухається секція котка, має перевищувати ширину ходу коліс трактора для уникнення зависання котка на крайках смуг іншої щільності. Це співзвучно з дослідженнями [Астафьев и др., 2017], які рекомендують для стерньових сівалок котки з шириною кілець близькою, або вищою за спущену смугу висівної борозенки.

Динамічні випробування котків підтвердили припущення етапу статичних випробувань [Шустік та ін., 2020] про найкращу грудкобійну здатність спеціалізованого котка, оскільки його верхня межа тиску на ґрунт  $0,72 \text{ кг/см}^2$ , яка, насамперед, концентрується на відбитку зуба, під яким знаходиться грудка, майже в (2...4) рази перевищує тиск, який звичайно створюється в господарських умовах відповідно до типів ґрунтів, їхньої вологості і вирощуваних культур [Al-Kaisi and all, 2011; Астафьев и др., 2017; <https://www.farmweekly.com.au/story/6717199/>]. Причому грудкобійна здатність усіх котків зі зростанням швидкості покращується, що є похідною не лише тиску, а й динамічної дії на грудки вертикальних і похилих секцій котка. У спеціалізованого котка на більших глибинах його занурення на інтенсивність подрібнення грудок впливає поява нових рівнів компонування робочих поверхонь, що являють собою шпори. Водночас, збільшення швидкості може привести до зменшення тиску котка на ґрунт і ступінь ущільнення, про що говорять автори [Астафьев и др., 2017;

Буксман и др., 2018; Кравчук та ін. 2004]. Ми згодні з такими доводами, однак, у дослідженнях казахських науковців не наведені числові залежності зміни тиску від швидкості.

Аналогічної думки дотримуються автори [Грибоновский, Рзалиев, 2016], які пов'язують величину усадки (деформації) з часом і, як наслідок, з швидкістю контакту деформатора з ґрунтом. Відповідно до цього час контакту має бути рівним часу просідання котка або більшим за нього, для чого пропонується залежність.

Ущільнювальна дія котками полягає в тому, що під час натискання на ґрунт його пори стискаються, що приводить до збільшення щільності, зміни фізико-механічних властивостей ґрунту. При цьому рекомендованими наближеними величинами щільності ґрунту, під час прикочування посівів, є його значення ( $0,90...0,95 \text{ кг/см}^3$  для спущеної складової на поверхні;  $(1,1...1,2) \text{ кг/см}^3$  для ущільненого котком шару з насінням;  $>1,2 \text{ кг/см}^3$  для щільного шару посівного ложа.

Для досягнення таких характеристик рекомендують використовувати котки масою (3...4) кг на один см захвату, або ( $0,3...0,4 \text{ кг/см}^2$  (більше на легких ґрунтах з меншими запасами вологи та менше на важких і більш вологих) [Астафьев и др., 2017; <https://www.apostolovagromash.com>].

Зрозуміло, що це наближений порядок величин, які суттєво залежать від багатьох чинників – вологості, типу і механічного складу ґрунту тощо.

Класично для визначення щільності (щільності складення ґрунту або об'ємної щільності, об'ємної маси, об'ємної ваги, питомої ваги скелета ґрунту) використовують відомі методи Качинського Н. А., Вороніна А. Д. [Гилев, 2012; Практические способы определения свойств почвы в фермерских условиях, 2018].

Ці методи складні у визначенні, трудомісткі, їхня достовірність вимагає ретельності відбору зразків циліндром із січними площинами і подальшого тривалого аналізу.

Виходячи з нормованого визначен-

ня ущільнення ґрунту, як технологічної операції, яка забезпечує зміну взаємного розпушення ґрунтових окремоостей із зменшенням об'єму пор, в наших дослідженнях, які проводилися на єдиному фоні в стислий час за однієї процедури підготовки ґрунту до випробувань різних типів котків, було використано співвідношення глибин після прикочування до фактичної. Тобто практично порівнювалися товщини ущільнених шарів від дії різних котків, чого на нашу думку достатньо для отримання прискореного результату.

Це підтверджується дослідженнями [Кушнір и др.], які стверджують що ущільнювальна дія може бути оцінена величиною щільності орного горизонту в контакт з деформатором, ущільненням верхнього шару, висотою шару, який утрамбовується, і розподілом щільності за глибиною.

Інтенсивність ущільнення дна, яке вимірювалось як відношення висот занурення конуса, який падає, до найменшої.

Фактично цей параметр за різної кінцевої завдання технологічної операції характеризує повноту ущільнення насінневого ложа щільність прошарку ґрунту, який запобігає випаровуванню вологи, або притисканню насіння до щільного ложа для забезпечення дружніх сходів [Астафьев и др., 2017].

Результати наших досліджень співзвучні з твердженнями авторів [Астафьев и др., 2017], що кільчасто-шпорові котки, робочі поверхні яких мають призмоподібні та клиновидні форми або їх комбінації забезпечують складні неоднорідні епюри тиску, які повніше ущільнюють підповерхневий шар. Тому спеціалізований коток за означеним параметром відповідає цим твердженням найбільш повно. Класичний коток маючи більш однорідні епюри тиску, але найменшу контактну площу ущільнює підповерхневий шар найменш повно. Модернізований коток, який має широкі контактні поверхні і близькі до стабільного на різних глибинах обробленого ґрунту, повноту ущільнення і тиск на ґрунт буде формувати широкі

зони ущільнення однорідними епюрами, сприяючими підтягуванню капілярної вологи, з розміщеними між ними крихкими проміжками, які будуть забезпечувати проникнення опадів та сприятливий повітрообмін для росту рослин, що є ефективним для передпосівного обробітку ґрунту і прикочування дрібно- та середньорозмірного насіння.

Проведені дослідження залипання котків на ґрунті підвищеної вологості показують, що хоча й існує різниця залипання між досліджуваними типами котків на заліковій ділянці, однак повноцінне виконання технологічного процесу прикочування за такого критичного рівня вологості не рекомендується. Це співзвучно з твердженнями [Al-Kaisi and all, 2011; Edwards and all, 2012; Rueber and all, 2012], що веде до переущільнення поверхневого шару, утворення кірки під час висихання поверхні.

Однак інформація може бути використана для орієнтації в прийнятті рішень використання конкретного типу котка в умовах зміни стадії вологості - від свіжої до вологої і сирої [Практические способы определения свойств почвы в фермерских условиях, 2018]. На верхній межі вологості свіжої стадії ґрунту  $W = (15...20) \%$  надважливим є здатність котків до самоочищення внутрідискового простору. Надалі результати показують, що наявність рухомих секцій або наявність кільчастих вставок сприяє очищенню внутрідискового простору від ґрунту в той час, як в інтервалах синхронно рухомих секцій котків буде мати місце набивання ґрунтової маси.

**Висновки.** Досліджувані котки трьох типів виробництва ДП «Ливарний завод» (м. Первомайськ) відносяться до кільчастих котків з притаманною для кожного поверхнею, яка контактує з ґрунтом, що їх відрізняє, і характеризуються, як кільчасто-шпорові і зубчато-шпорові. Вони близькі за діаметром, мають різне компонування і створюють різний тиск на ґрунт. Саме тиск на ґрунт, який перебуває в діапазоні  $(0,2...0,7) \text{ кгс/см}^2$ , та

форма їхніх робочих поверхонь і визначають спеціалізацію цих котків.

*Класичний* коток достатньо добре ущільнює як верхній, так і нижній горизонти ґрунту, виносить на поверхню мало вологи, має середній грудкобійний ефект, може бути рекомендований для широкого діапазону робіт, але основним його призначенням є обробіток ґрунту після сівби; як компромісне рішення може бути використаний на передпосівному обробітку з хорошими показниками якості.

*Модернізований* коток добре ущільнює верхній шар ґрунту, виносить мало вологи, мульчує поверхню, добре розподіляє зусилля по глибині за різних глибин культивування і насамперед може бути рекомендований для передпосівного обробітку; як компромісне рішення може бути використаний після сівби з добрими показниками якості.

*Спеціалізований* коток – зубчато-шпоровий, має хорошу проникну здатність, найбільш активно працює, забезпечуючи найкращий грудкобійний ефект, дещо виносить вологі горизонти на поверхню; може бути рекомендований для вирівнювання і використання на ґрунті після його основного обробітку.

Враховуючи сказане, такі технологічні прийоми виконують котками:

- класичний – після сівби, особливо в сухих умовах, для забезпечення контакту насіння з ґрунтом;
- модернізований – перед сівбою після глибокої культивування за необхідності осаджування ґрунту, формування нижніх горизонтів та запобігання їх висушуванню покриттям поверхні спущеним шаром ґрунту;
- спеціалізований – після основного обробітку ґрунту за необхідності роздавлювання великих грудок, осаджування ґрунту із заповнюванням пустот і ущільненням за нежорстких вимог до фракційного складу ґрунту поверхні та її гребеністості.

Кожен із досліджених котків може якоюсь мірою бути використаний на всіх зазначених технологічних операціях, але

найкращий результат буде досягнутий за умови врахування їхніх особливостей, виду та періоду виконання.

### 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.

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

Гилев В. Ю. (2012). Физика почв. Пермь Грибановский А. П., Рзалиев А. С., Бекмухаметов Ш. Б. (2016). К обоснованию параметров прикатывающего устройства комбинированного орудия для предпосевной подготовки почв. Сборник докладов IV международного научного конгресса «Машины для сельского хозяйства 2016г.» г. Варна, Болгария. 51-54.

Електронний ресурс. Substantiation of characteristics of combined rolling equipment to prepare ground for preseeding work. [www.agrimachineri.net/sbornik/2016/1/15//](http://www.agrimachineri.net/sbornik/2016/1/15//)

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. К. Аграрна наука. 396.

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

Електронний ресурс. Кушнир В. Г.

и др. По следам техники. — Репозиторий. БГТУ <https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/1834/1/po-sledam-tekhniki.pdf>

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».

Электронный ресурс. Прикатывание почвы: традиционный и проверенный агроприем. Цифры и факты <https://www.apostolovagromash.com/prikatyvanie-rochvy-agropriem>

Практические способы определения свойств почвы в фермерских условиях. (2018). Практическое руководство для фермеров. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций и Общественный фонд «Центр обучения, консультации и инновации». Бишкек.

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

Шапарь М. С. (2014). Результаты сравнительных испытаний виброкатка и кольчато-шпорового катка /М. С. Шапарь, А. Н. Шишлов //Совершенствование машинных технологий в агропромышленном комплексе: Сб. материалов международной заочной науч.-практ. конф. Уссурийск: Примор. ГСХА. 27-31.

Шустік Л., Погорілий В., Нілова Н., Гайдай Т., Степченко С., Сидоренко С. (2020). Котки різних конструкцій. Інженерний аналіз. Збірник наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого «Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарства України», Дослідницьке. Вип. 27 (41)., 99-111. DOI: 10.31473/2305-5987-2020-2-27(41)-9

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).

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.](https://www.farmweekly.com.au/story/6717199/recearcg-looks-at-roller-effectiveness//Shannon%20Beattie%2012%20Apr.:%2020.10%20a.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

Astafiev V. L, Kurach A. A, Semibalamut A. V (2017). Rolling the soil: when, how, what and why? Fields of Russia. - № 10 (154). - 11.

Buksman V. E, Milyutkin V. A, Tolpekin SA (2018). High-quality rolling with high-efficiency rollers is a guaranteed increase in productivity. Proceedings of the international scientific-practical conference. Scientific support of innovative development of agro-industrial complex of the regions of the Russian Federation: Kurgan Agricultural Academy.

Dospikhov B. A (1985). Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results). M. Agropromizdat. 351.

Gilev V.Yu. (2012). Soil physics. Perm Gribanovsky A. P, Rzaliev A. S, Bekmukhametov Sh. B. (2016). To substantiate the parameters of the pressing device of the

combined tool for presowing preparation of soils. Proceedings of the IV International Scientific Congress «Machines for Agriculture 2016.» Varna, Bulgaria. 51-54.

Electronic resource. Substantiation of characteristics of combined rolling equipment to prepare ground for preseedling work. [www.agrimachineri.net/sbornik/2016/1/15//](http://www.agrimachineri.net/sbornik/2016/1/15//)

Kaczynski N. A (1947). About soil structure, some of its properties and differential porosity. *Soil science*. № 6.

Kravchuk V. I, Gritsyshyn M. I, Koval S. M etc. (2004). Modern tendencies of development of constructions of agricultural machinery. *K. Agricultural Science*. 396.

Kuznetsov Yu. I. (1978). Influence of diameter of agricultural rollers on agrotechnical indicators of work. Moscow. Scientific and technical bulletin VIM. Issue. 37. 3-5.

Electronic resource. Kushnir VG, etc. In the footsteps of technology. - Repository. BSTU <https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/1834/1/po-sledam-tekhniki.pdf>

Lovkis V. B, Bakach N. G, Radko E. G (2011). Kinematic parameters of rollers operation. Scientific and technological progress in agricultural production. Proceedings of the scientific-practical conference. Minsk. Republican Unitary Enterprise «Scientific Research Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization».

Electronic resource. Soil rolling: traditional and proven farming. Facts and figures <https://www.apostolovagromash.com/prikytyvanie-pochvy-agropriem>

Practical ways to determine soil properties in farm conditions. (2018). A practical guide for farmers. Food and Agriculture Organization of the United Nations and the Center for Training, Advice and Innovation Public Foundation. Bishkek.

Smolinsky S., Smolinskaya L., Marchenko V. (2017). Tillage rollers for efficient agriculture. *K. Agroexpert*. № 6.

Shapar M. S (2014). The results of comparative tests of the vibratory roller and the ring-spur roller / M. S Shapar, A N. Shishlov // Improvement of machine technologies in the agro-industrial complex: Sb. materials

of the international correspondence scientific-practical. conf. Ussuriysk: Primor. GSHA. 27-31.

Shustik L., Pogoriliy V., Nilova N., Gaidai T., Stepchenko S., Sidorenko S. (2020). Rollers of various designs. Engineering analysis. Collection of sciences. ave. L. Pogorilyy UkrNDIPV. «Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine», *Research. Vip. 27 (41)*, 99-111. DOI: 10.31473 / 2305-5987-2020-2-27 (41)-9

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).

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>.

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

UDC 631.331.4:001.8

## CROSSKILL AND STAR-WHEELED ROLLERS. FUNCTIONAL AND DYNAMIC TESTS

**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>

**Gaidai T.**, Ph.D. in Tech. Scs, e-mail: tanusha-h@ukr.net,

<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

*Experimental field research of crosskill and star-wheeled rollers similar by design provides their developers and users with information on understanding their design and functional features.*

*The purpose of the research is to compare the functional features of crosskill and star-wheeled rollers according to the criteria of clods breaking effect, compacting action, resistance to sticking in the range of pre-sowing and surface tillage depth.*

*Methods and materials.* Dynamic tests involved the study of three types of rollers. The research hypothesis assumed that the selected criteria for evaluating the work of rollers (intensity of breaking of clods, compacting action of rollers, intensity of bottom compaction and performance of rollers at high soil moisture) depend on roller pressure and different speed regimes, as they are derived from the shape of work surfaces. Sub-criteria studies were supposed to be carried out on the same type of soil: clods breaking characteristics on dry  $W = (10... 12) \%$ , compacting effect on physically mature soil  $W = (15... 20) \%$ , efficiency at high humidity -  $W = (25... 27) \%$ . Evaluation of soil characteristics was performed by thermostatic-weight method according to the generally accepted method of «cutting ring» [Kaczynski NA, 1947], according to the volume of the cylinder 100 cm<sup>3</sup>. To determine the intensity of bottom compaction used the methodology and technical means of L. Pogorilyy UkrNDIPVT development. 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 in the form of graphs.

*Results.* The intensity of clods breaking with a classic roller is the lowest and depends on the speed of movement. The intensity of breaking by the modernized roller is approximately 1.1 times higher and with increasing speed is almost stable. The intensity of clods breaking by a specialized roller is the highest and almost (10...20) %, respectively, exceeds the previous two rollers and does not significantly depend on the increase in speed. The greatest compaction of the soil (the height of the layer to which the pre-prepared soil asked after the passage of the roller) is characteristic of a specialized roller, which is almost (1.5...1.7) times higher than the classic and modernized, respectively. Depending on the depth of pre-tillage (5...10) cm, compaction by rollers varies approximately twice. The greatest intensity of compaction of a bottom is provided by the specialized roller, and modernized and classical condense accordingly in (1,2...1,4) times below. The specialized roller sticks the fastest, which is facilitated by the 4-tier arrangement of working surfaces and their maximum in comparison with others contact with the ground. Sticking of the modernized roller surface is as that of the specialized. The classic roller surface remains clean for the longest time.

*Conclusions.* The classic roller compacts both the upper and lower horizons of the soil well enough, brings little moisture to the surface, has a medium clods breaking effect, can be recommended for a wide

range of works, but its primary purpose is cultivating after sowing; as a compromise it can be used for pre-sowing tillage with good quality indicators. The upgraded roller compacts the top layer of the soil well, carries away little moisture, mulches the surface, distributes the effort well at different depths of cultivation and can be recommended primarily for pre-sowing tillage; as a compromise solution can be used after sowing with good quality indicators. Specialized roller – star-wheeled, has good penetrating ability, works most actively, providing the best clods breaking effect, slightly carries away wet horizons on the surface; can be recommended for leveling and use on the soil after its main cultivation. Each of the studied rollers can be used to some extent in all these technological operations, but the best result will be achieved taking into account their characteristics, type and period of execution.

**Key words:** rollers, crosskill and star-wheeled rollers, functional features, clods breaking intensity, compaction action, sticking.

УДК 631.331.4:001.8

## **КОЛЬЧАТО-ШПОРОВЫЕ И ЗУБЧАТО-ШПОРОВЫЕ КАТКИ. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ**

**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, e-mail: tanusha-h@ukr.net,

<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**

Экспериментальные исследования в полевых условиях близких по конструкции кольчато-шпоровых и зубчато-шпоровых катков для прикатывания почвы обеспечивают их разработчиков и пользователей информацией относительно понимания их конструкционных и функциональных особенностей.

**Цель исследований** - сравнение функциональных особенностей работы кольчато-шпоровых и зубчато-шпоровых катков по критериям комкоизмельчающего эффекта, уплотняющего действия, устойчивости к залипанию в диапазоне глубины предпосевной и поверхностной обработки почвы.

**Методы и материалы.** Динамические испытания предусматривали исследования трех типов катков. Гипотеза исследования предусматривала, что выбранные критерии оценки работы катков (интенсивность измельчения комков, уплотняющая действие катков, интенсивность уплотнения дна и работоспособность катков при повышенной влажности почвы) являются зависимыми от давления катка и различных скоростных режимов, поскольку они являются производными от формы рабочих поверхностей. Покритериальные исследования предполагалось проводить на