

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ГРУНТООБРОБНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Е. Б. Алієв^{1,2}, Г. В. Теслюк², О. В. Бєлка¹, О. М. Пацула¹

¹ Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України

² Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Для аналізу нових конструкцій ґрунтообробного модуля і дослідження їх взаємодії із ґрунтом використано метод дискретних елементів (Discrete Element Method) у програмному пакеті Simcenter STAR-CCM+. У результаті чисельного моделювання процесу взаємодії різних конструкцій ґрунтообробних модулів (2 барабана + леміш, 1 барабан, 1 барабан + леміш, 1 барабан + леміш + кожух, 1 барабан + леміш + кожух + очисник) для передпосівного обробітку із ґрунтом отримано візуалізацію скалярної сцени і гістограми розподілу агрегатів за їх діаметром і глибиною розміщення. В якості базової (контрольної) конструкції обрано двобарабаний-лемішний сепаратор (конструкція Шевченка І. А., Крижачківського Р. М., Ковязина О. С. і Трачова В. В.), чисельне моделювання якого дозволило встановити, що після обробки у шарі 0–4 см вміст фракції розміром 10–20 мм складав $64,8 \pm 0,3$ %, а фракції 20–30 мм – $24,5 \pm 0,3$ % (загально – $89,3 \pm 0,3$ %), у шарі 4–8 см вміст фракції розміром 0–10 мм складав $76,3 \pm 0,3$ %. Отримані дані підтверджуються експериментом Шевченка І. А., що свідчить про адекватність створеної чисельної моделі в Simcenter STAR-CCM+ і правильності прийняття фізико-механічних властивостей ґрунтового середовища. За результатами чисельного моделювання встановлено, що найбільш ефективною є конструкція, яка містить 1 барабан, леміш, кожух і очисник, так як вона виконує операцію сепарації і перерозподілу агрегатів ґрунту практично із такою ж самою ефективністю, як і базова (контрольна) конструкція. Про це свідчать значення вмісту фракції розміром 10–30 мм у шарі 0–4 см – $87,8 \pm 0,3$ % і вмісту фракції розміром 0–10 мм у шарі 4–8 см – $83,5 \pm 0,3$ %.

Ключові слова: ґрунт, передпосівна обробка, ґрунтообробний модуль, моделювання, конструкції, фракційний склад агрегатів, взаємодія, ефективність.

Вступ. Дослідження (Pastukhov et al. 2014, Shevchenko 2016, Sereda et al. 2019) показують, що машини з активними робочими органами є найбільш ефективними при обробці важких ґрунтів при передпосівній обробці. Більшість зарубіжних компаній (RAU, Pottinger, Struik, FARMMASTER, FPM AGROMEHANIKA DOO) виготовляє різні ґрунтообробні агрегати з шириною обробки від 0,2 до 9 м і потужністю від 0,3 до 250 кВт. Ці машини дозволяють більш ефективно завантажувати трактор або інші енергетичні засоби навіть при незначній ширині захвату.

Для підготовки ґрунту під посів в основному використовують ґрунтообробні фрези з горизонтальним або вертикальним розташуванням осі обертання, що дозволяє підготувати ґрунт під посів та виконати ці операції у



*Corresponding author

Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

одному проході (Levchenko 2014, Toscano et al. 2022, Kalinitchenko et al. 2021, Sarkar et al. 2021).

Застосування ротаційних ґрунтообробних машин з активними робочими органами з приводом від механізму відбору потужності трактора дозволяє виконувати технологічні функції на швидкостях, що в 3–8 разів перевищують швидкість машино-тракторного агрегату. Це значно знижує витрати на переміщення маси агрегату, яка не бере участі у виконанні корисної роботи, і підвищує ефективність використання агрегату (Levchenko 2014).

Як зазначено в (Brian 2008, Yankov et al. 2015, Shevchenko 2016, Lemic et al. 2021), щоб забезпечити максимальний урожай в конкретних ґрунтово-кліматичних умовах, необхідно, щоб показники роботи машини для передпосівного обробітку ґрунту відповідали вимогам сільськогосподарських рослин щодо підпосівного, посівного та надпосівного шарів орного горизонту. Функцією агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту є формування надпосівного шару з переважним розміром структурних агрегатів 10–20 мм, посівного шару – 0,25–5 мм, та щільністю ґрунту в шарі 0–8 см у межах 1,21–1,24 г/см³.

Спираючись на вищезазначене твердження, Шевченка І. А., Крижачківського Р. М., Ковязина О. С. і Трачова В. В., розробили ряд технологічних схем комбінованих ґрунтообробних агрегатів, що дозволяють виконувати сепарацію часток ґрунту в поверхневому його шарі (патент 41108 А, патент 64446, патент 64446 А). Більш детальні теоретичні і експериментальні дослідження щодо цих технологічних схем представлені в роботах зазначених авторів (Shevchenko 2016, Kryzhachkivskiy 2004, Kovyazyn 2006). Однак, навіть маючи високу ефективність використання подібних пристроїв, вони не отримали масового впровадження у виробництво. На нашу думку це спричинено складністю конструкції (присутність багатьох обертових вузлів) і низьким рівнем надійності (дуже точне виконання геометричних розмірів, відхилення яких під час роботи може призвести до руйнування знаряддя). Тому подальші дослідження направлені на удосконалення відомого ґрунтообробного модуля для передпосівного обробітку ґрунту шляхом спрощення його конструкції (тим самим підвищення його надійності) із збереженням заданої технологічної ефективності.

Для аналізу нових конструкцій ґрунтообробного модуля і дослідження їх взаємодії із ґрунтом використано метод дискретних елементів (Discrete Element Method – DEM) в програмному пакеті Simcenter STAR-CCM+ (власник ліцензії – Дніпровський державний аграрно-економічний університет).

Матеріали і методи досліджень. Для дослідження процесу взаємодії ґрунтообробного модуля із ґрунтом останній повинен бути формалізований у вигляді фізико-математичної моделі середовища таким чином, щоб властивості цієї моделі найбільш повно відповідали фізико-механічним властивостям реального ґрунту (Hutsol et al. 2016).

У дослідженнях (Shevchenko 2016, Kryzhachkivskiy 2004, Kovyazyn 2006) отримано рівняння руху матеріальної точки (частинки ґрунту) на поверхні ґрунтообробного робочого органу і польоту її у двомірній системі координат. Насправді, ґрунт є досить складною системою агрегатів різного геометричного розміру, щільності, маси, які взаємодіють один із одним за пружно-в'язко-еластичною моделлю.

Власний досвід (Алієв 2019, Aliiev et al. 2019, Aliiev et al. 2022), пов'язаний із сепарацією насіння і фрезерування гноє-компостної суміші, показав, що в Simcenter STAR-CCM+ є можливість для моделювання середовищ методом дискретних елементів (DEM). Метод DEM – це числовий метод, який використовується для моделювання поведінки великої кількості дискретних твердих тіл, таких як частки ґрунту, піску або каменів. Він базується на використанні рівнянь руху твердих тіл та законів взаємодії між ними. При моделюванні процесу роботи ґрунтообробного робочого органу, метод DEM може бути використаний для моделювання взаємодії робочого органу з окремими частинками ґрунту, які мають різний розмір, форму і фізико-механічні властивості.

Для методу DEM в Simcenter STAR-CCM+ обрані наступні фізичні моделі: тривимірна, нестационарна неявна, Лагранжева багатофазність, багатофазна взаємодія, сила тяжіння. В якості Лагранжевої фази обрано частинки DEM із наступними моделями: сферична частинка, суцільна, постійна щільність. В якості фізико-механічних властивостей частинок ґрунту згідно досліджень (Hutsol et al. 2016, Shevchenko 2016) прийняті наступні: щільність – 1230 кг/м^3 ; коефіцієнт Пуассона – 0,41; модуль пружності Юнга – $1,5 \cdot 10^7$. Для взаємодії частинка-частинка прийнято: коефіцієнт тертя спокою – 1,732; нормальний і дотичний коефіцієнти відновлення – 0,5; множник лінійного зчеплення – 1,5; робота когезії – 0,5 Н/м. Для взаємодії частинка-сталеві стінка робочого органу прийнято: коефіцієнт тертя спокою – 0,61; нормальний і дотичний коефіцієнти відновлення – 0,5; лінійного зчеплення немає. Згідно досліджень (Shevchenko 2016) фракційний склад агрегатів ґрунту за геометричним розміром (від 1 мм до 30 мм) по шарах (0–40 мм, 40–80 мм, 80–120 мм, 120–160 мм, 160–200 мм) підпорядковувалася розподілу, який приведено на рисунку 1.

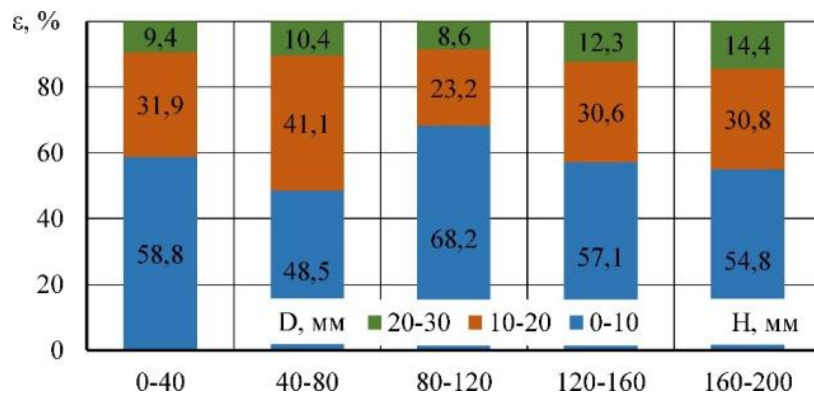


Рис. 1. Фракційний склад агрегатів ґрунту за геометричним розміром за шарами

Загальний вигляд області моделювання із зазначеними геометричними розмірами наведено на рисунку 2. Схематично область розділена на дві скалярні сцени: перша – розподіл агрегатів за геометричними розмірами (3 групи); друга – розподіл агрегатів за шарами (5 шарів). Геометричні розміри області моделювання (2,0 м × 0,6 м × 0,2 м) обрано з аналізу досліджень (Hutsol et al. 2016, Shevchenko 2016).

Першим етапом досліджень, а саме, перевіркою і верифікацією моделі в Simcenter STAR-CCM+, було чисельне моделювання конструктивно-технологічної схеми, яка запропонована Шевченком І. А., Крижачківським Р. М., Ковязиним О. С. і Трачовим В. В. (патент 41108 А, патент 64446, патент 64446 А). Усі геометричні розміри (рис. 3) і режими роботи (частота обертання барабанів – 70 об/хв, глибина обробітку – 0,08 м, швидкість руху – 1 м/с) комбінованого ґрунтообробного агрегату для передпосівного обробітку ґрунту взяті з монографії (Shevchenko 2016).

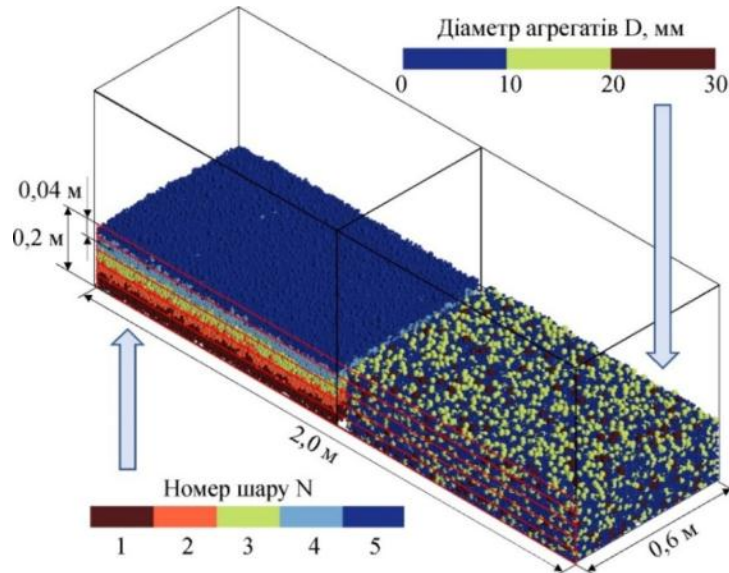


Рис. 2. Загальний вигляд області моделювання із зазначеними геометричними розмірами

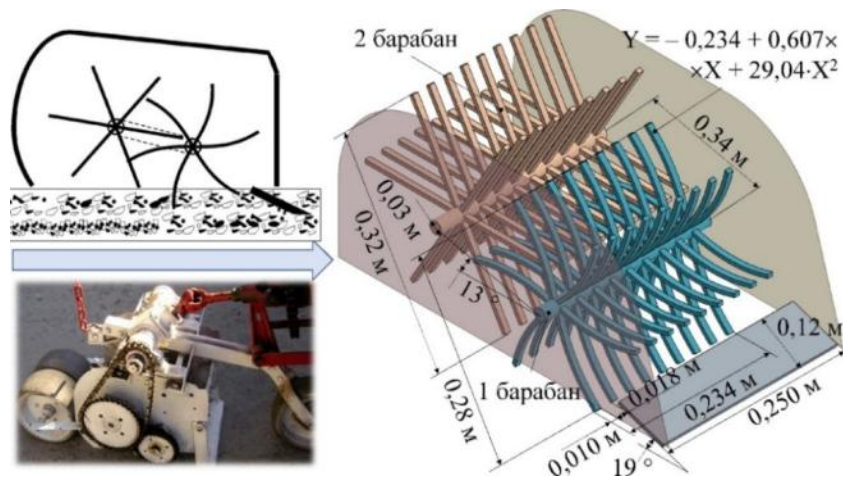


Рис. 3. Геометричні розміри комбінованого ґрунтообробного агрегату для передпосівного обробітку ґрунту (складено на основі досліджень Шевченка І. А. та ін.)

Базова (контрольна) конструкція ґрунтообробного агрегату для передпосівного обробітку ґрунту містить 2 барабани із прутками і леміш. Низька надійність машини спричинена наявністю ланцюгової передачі між двома барабанами, яка може зруйнуватися при великих навантаженнях. Окрім цього, наявність невеликих зазорів між прутками першого і другого барабанів (5–9 мм) може спричинити їх руйнування за потрапляння каміння або появи значного люфту у виконавчих механізмах.

Для аналізу процесу спрощення конструкції ґрунтообробного агрегату для передпосівного обробітку ґрунту розглянемо її дефініцію, яка приведена на рисунку 4. Так, від однобарабанного робочого органу ґрунтообробного агрегату шляхом додавання окремих елементів (леміш, кожух, очисник) будемо рухатися до ускладнення конструкції. Тому другим етапом досліджень є чисельне моделювання процесу взаємодії запропонованих конструкцій із ґрунтом.

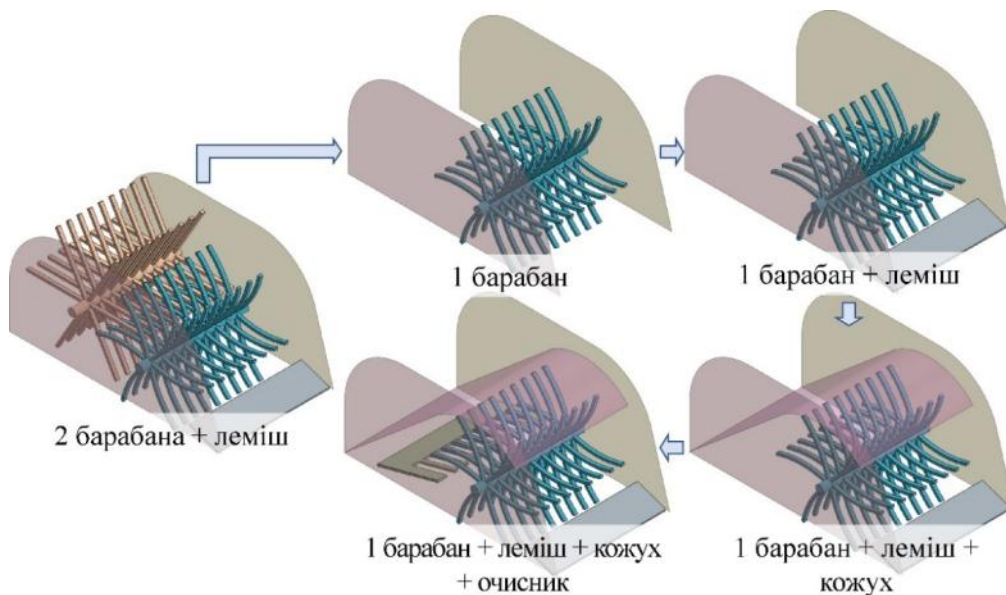


Рис. 4. Конструкції комбінованого ґрунтообробного агрегату для передпосівного обробітку ґрунту

В Simcenter STAR-CCM+ 3D-моделі робочих органів були перетворені у об'ємно-поверхневу сітку. В якості сіткових моделей було обрано: генератор поверхневої сітки і тример. Модель тримерної сітки використовує шаблонну сітку, яка побудована з шестиграних комірок цільового розміру, з яких вона вирізає або обрізає основну сітку за допомогою початкової поверхні введення. Базовий розмір сітки був прийнятий 0,01 м.

Результати досліджень та їхнє обговорення. Сутність результатів моделювання відображена на рисунках 5–9.

У результаті виконання першого етапу досліджень, а саме моделювання базової (контрольної) конструкції ґрунтообробного агрегату (2 барабана + леміш), отримано візуалізацію скалярної сцени відображення розподілу агрегатів за їх діаметром і глибиною розміщення (рис. 5). Наочний аналіз показує, що базова конструкція ґрунтообробного агрегату виконує перерозподіл агрегатів по

глибині ґрунту. Це підтверджується гістограмою фракційного складу агрегатів ґрунту за геометричним розміром по шарах після обробки (рис. 5). Так встановлено, що після обробки у шарі 0–4 см вміст фракції розміром 10–20 мм складав $64,8 \pm 0,3 \%$, а фракції 20–30 мм – $24,5 \pm 0,3 \%$ (загально – $89,3 \pm 0,3 \%$), у шарі 4–8 см вміст фракції розміром 0–10 мм складав $76,3 \pm 0,3 \%$. У свою чергу із гістограми фракційного складу агрегатів ґрунту за геометричним розміром по шарах до обробки (рис. 1) видно, що у шарі 0–4 см вміст фракції розміром 10–30 мм – $41,3 \pm 0,3 \%$, а у шарі 4–8 см вміст фракції розміром 0–10 мм – $48,5 \pm 0,3 \%$. Це свідчить про перерозподіл агрегатів по глибині ґрунту в результаті виконання процесу сепарації.

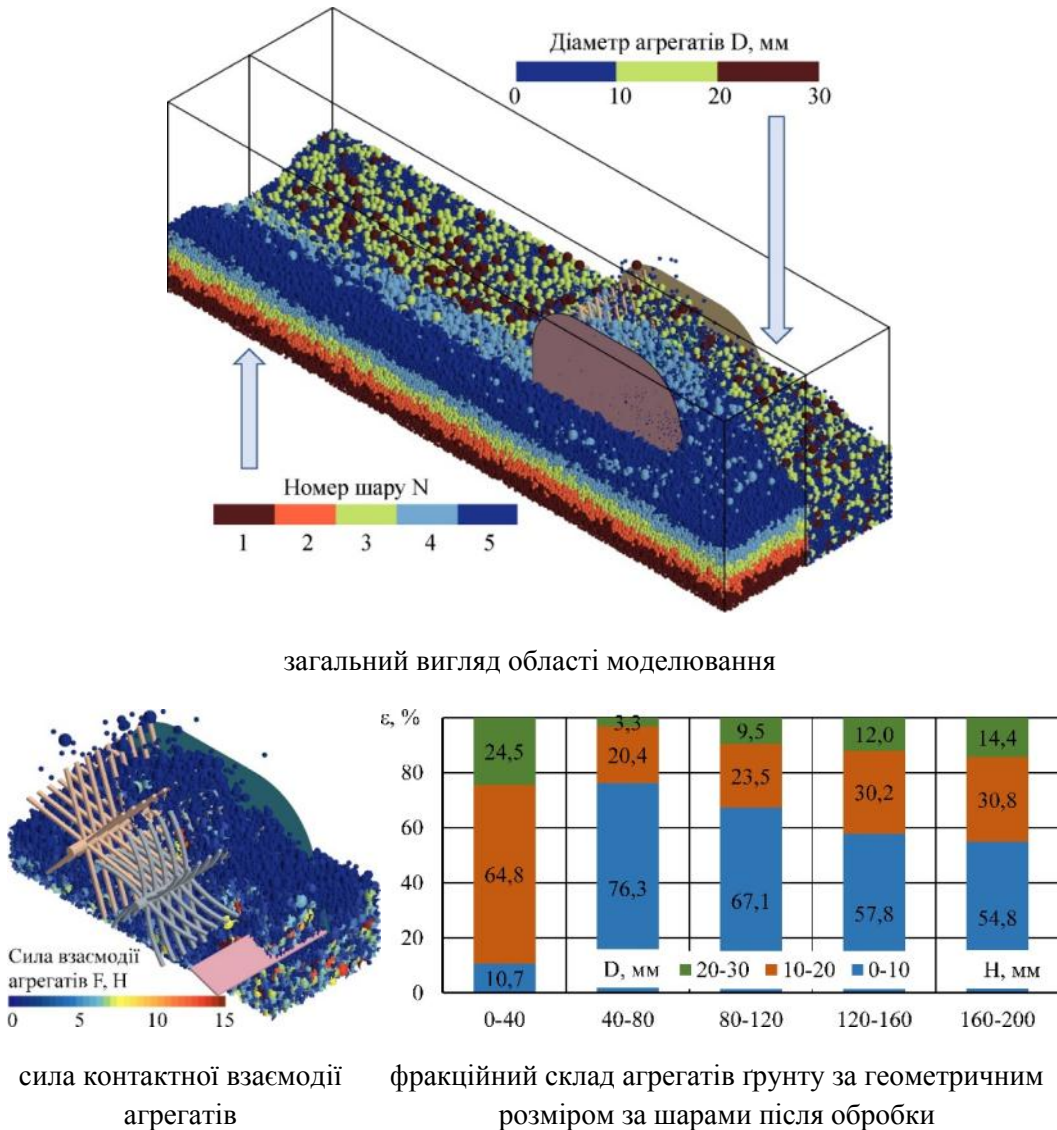
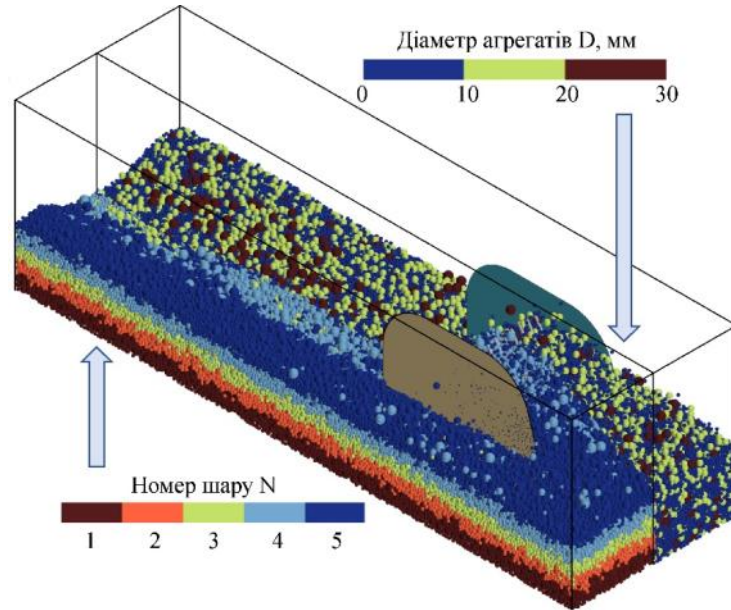
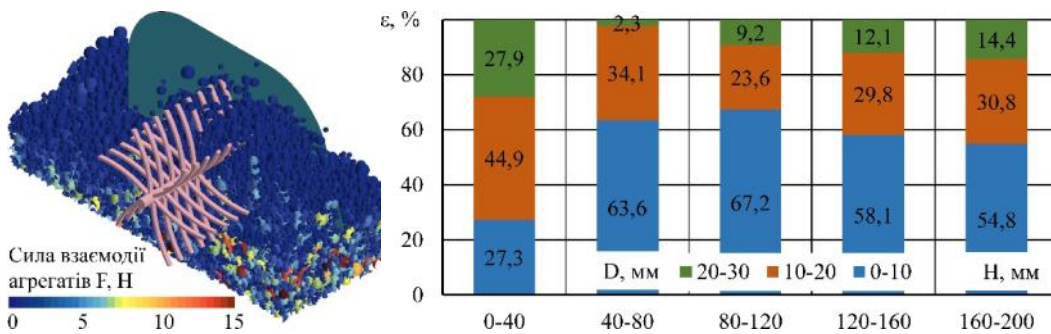


Рис. 5. Чисельне моделювання процесу взаємодії ґрунтообробного агрегату для передпосівного обробітку ґрунту (2 барабана + леміш) із ґрунтом

Як зазначено в експериментальних дослідженнях (Shevchenko 2016) вміст фракцій у шарах ґрунту поля № 1 (практично однорідного сухого ґрунту) та поля № 2 (зволоженого та неоднорідного ґрунту) після їх обробки базовою (контрольною) конструкцією ґрунтообробного агрегату (2 барабана + леміш) відповідав очікуваному. Для поля № 1 були отримані наступні результати: вміст фракції розміром 10–30 мм у шарі 0–5 см – від 81,4 % до 83,6 %, вміст фракції розміром 0,25–5 мм у шарі 5–8 см – від 80,6 % до 84,2 %. Для поля № 2 були отримані наступні результати: вміст фракції розміром 10–20 мм у шарі 0–5 см – від 79,4 % до 84,7 %, вміст фракції розміром 0,25–5 мм у шарі 5–8 см – від 78,3 % до 82,6 %.



загальний вигляд області моделювання

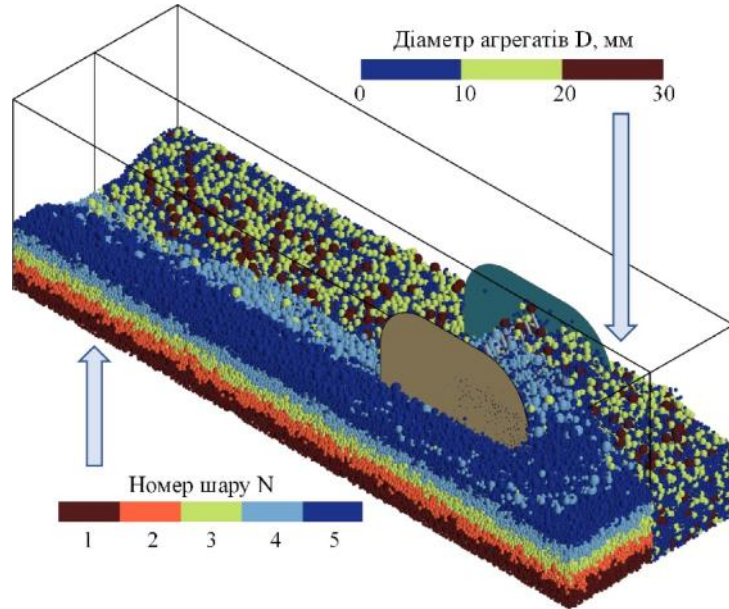


сила контактної взаємодії агрегатів

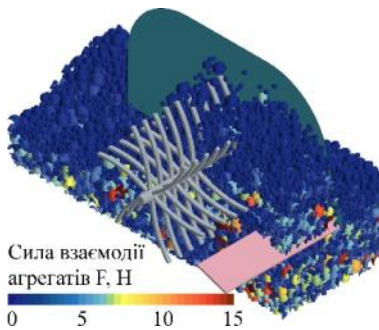
фракційний склад агрегатів ґрунту за геометричним розміром за шарами після обробки

Рис. 6. Чисельне моделювання процесу взаємодії ґрунтообробного агрегату для передпосівного обробітку ґрунту (1 барабан) із ґрунтом

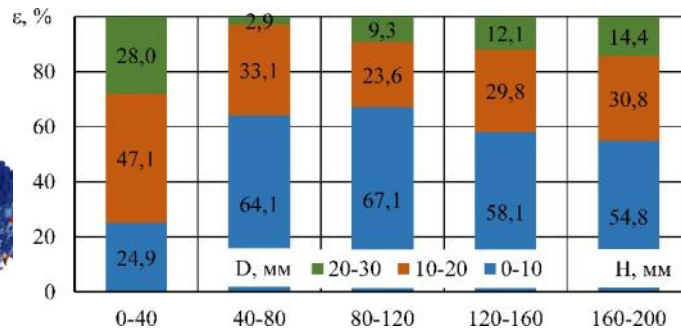
Порівнюючи експериментальні дослідження (Shevchenko 2016) і результати чисельного моделювання бачимо, що фракційний склад агрегатів ґрунту за геометричним розміром по шарах після обробки знаходиться в допустимих межах. Це свідчить про адекватність створеної чисельної моделі в Simcenter STAR-CCM+ і правильності прийняття фізико-механічних властивостей ґрунтового середовища.



загальний вигляд області моделювання



сила контактної взаємодії агрегатів

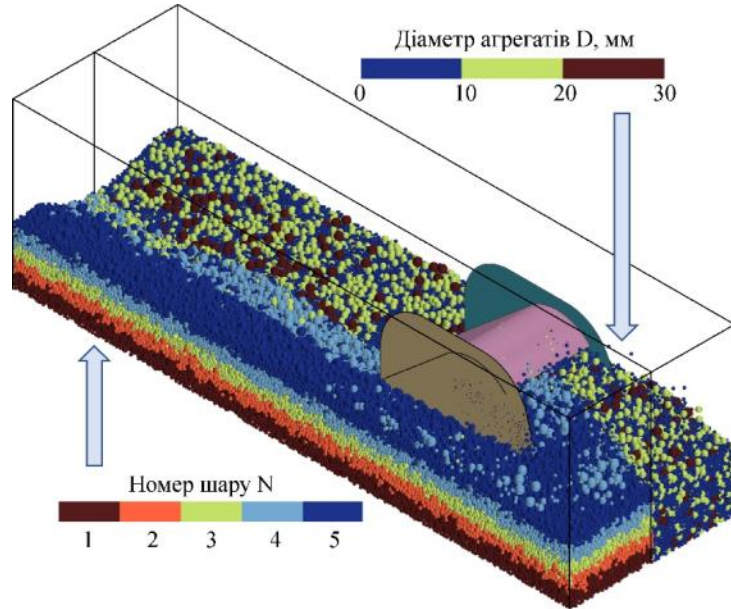


фракційний склад агрегатів ґрунту за геометричним розміром за шарами після обробки

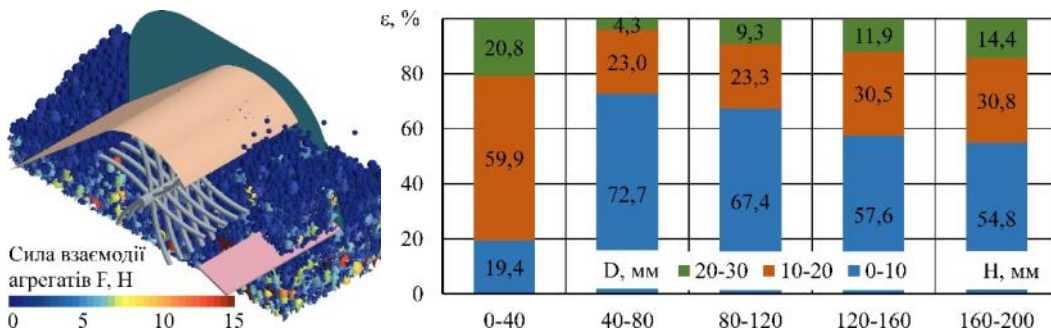
Рис. 7. Чисельне моделювання процесу взаємодії ґрунтообробного агрегату для передпосівного обробітку ґрунту (1 барабан + леміш) із ґрунтом

За другим етапом досліджень встановлено візуалізацію скалярної сцени відображення і гістограми розподілу фракційного складу агрегатів за їх діаметром і глибиною розміщення після обробки запропонованими

конструкціями (рис. 6–9). Наочний аналіз скалярних сцен дозволив виявити недоліки окремих запропонованих конструкцій. Так, під час обробки ґрунту однобарабанным ґрунтообробним агрегатом спостерігається недостатня завантаженість барабана і велика висота підкидання агрегатів над орним горизонтом (рис. 6). Це призводить до неефективного використання конструкції. Додавання до конструкції леміша (рис. 7) і кожуха (рис. 8) дозволило досягти рівномірного завантаження і отримати керовану траєкторію польоту агрегатів.



загальний вигляд області моделювання



сила контактної взаємодії агрегатів

фракційний склад агрегатів ґрунту за геометричним розміром за шарами після обробки

Рис. 8. Чисельне моделювання процесу взаємодії ґрунтообробного агрегату для передпосівного обробітку ґрунту (1 барабан + леміш + кожух) із ґрунтом

Однак це конструктивне виконання містило також недолік, який пов'язаний із відсутністю очищення зазорів між прутками барабану від агрегатів. У базовій конструкції ця проблема вирішувалася шляхом додавання другого

барабану. З метою спрощення конструкції другий активний барабан був замінений пасивним очисником (рис. 9).

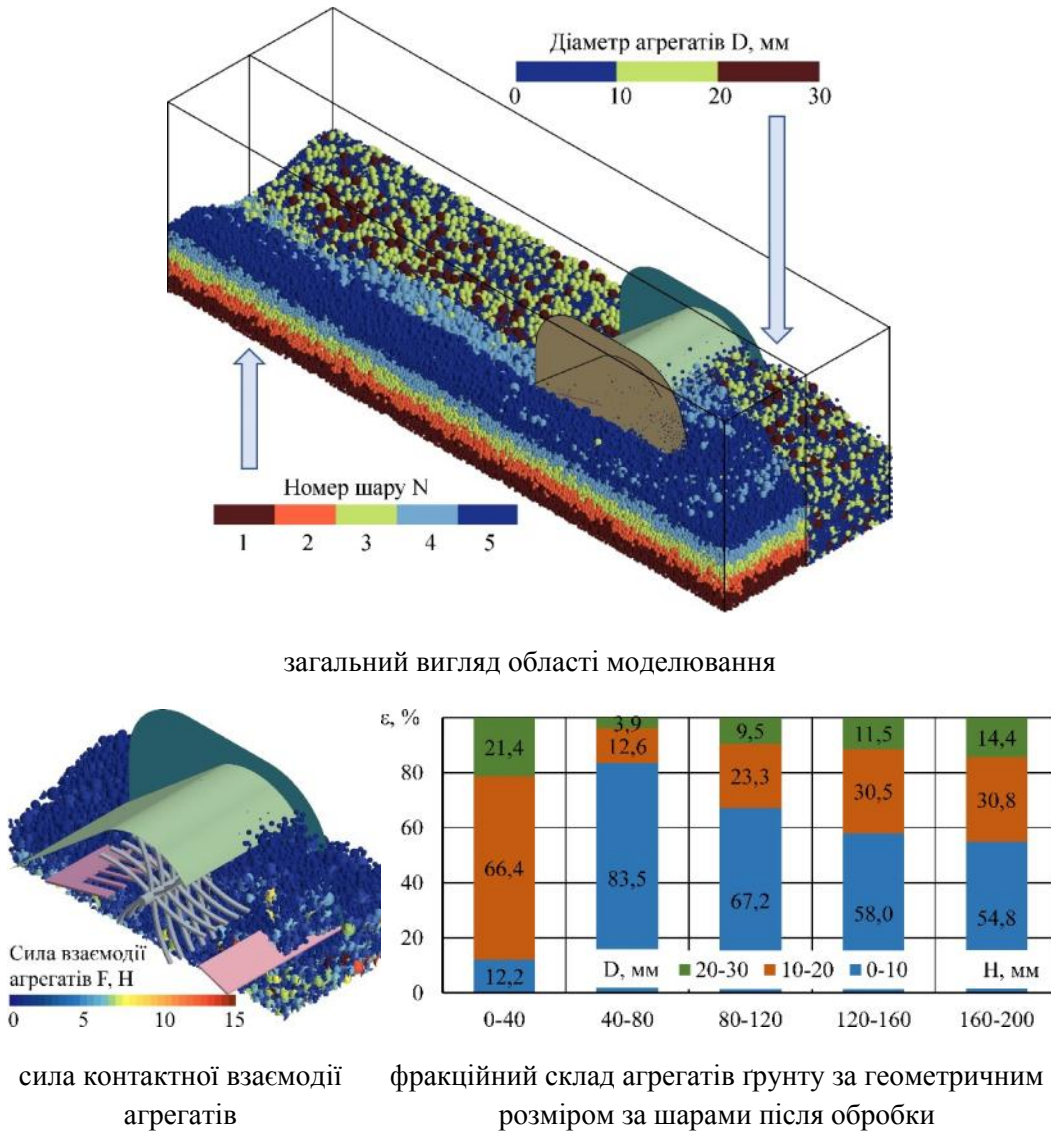


Рис. 9. Чисельне моделювання процесу взаємодії ґрунтообробного агрегату для передпосівного обробітку ґрунту (1 барабан + леміш + кожух + очисник) із ґрунтом

Для більш детального порівняння результатів чисельного моделювання складемо відповідну таблицю зміни фракційного складу агрегатів за геометричним розміром по шарах ґрунту після його обробки запропонованими конструкціями (табл. 1). Додатково в таблиці 1 зведені дані максимальної сили контактної взаємодії агрегатів ґрунту із робочими органами ґрунтообробної машини.

Фракційний склад агрегатів за геометричним розміром за шарами ґрунту після його обробки запропонованими конструкціями

Конструкція	Вміст фракції розміром 10–30 мм у шарі 0–4 см, %	Вміст фракції розміром 0–10 мм у шарі 4–8 см, %	Максимальна сила контактної взаємодії агрегатів, Н
До обробки (моделювання)	41,2 ± 0,3	48,5 ± 0,3	–
До обробки (експеримент за Шевченком І. А.)	41,0 ± 1,0	47,0 ± 1,0	–
2 барабана + леміш (моделювання)	89,3 ± 0,3	76,3 ± 0,3	11,4 ± 0,4
2 барабана + леміш (експеримент за Шевченком І. А.)	81,4–83,6	80,6–84,2	–
1 барабан (моделювання)	72,7 ± 0,3	63,6 ± 0,3	14,8 ± 0,4
1 барабан + леміш (моделювання)	75,1 ± 0,3	64,1 ± 0,3	12,2 ± 0,4
1 барабана + леміш + кожух (моделювання)	80,6 ± 0,3	72,7 ± 0,3	12,0 ± 0,4
1 барабана + леміш + кожух + очисник (моделювання)	87,8 ± 0,3	83,5 ± 0,3	12,1 ± 0,4

Аналізуючи таблицю 1 можна стверджувати, що конструкція із 1 барабаном, лемішем, кожухом і очисником виконує операцію сепарації і перерозподілу агрегатів ґрунту із практично такою ж самою ефективністю, як і базова конструкція із 2 барабанами та лемішем. Про це свідчать значення вмісту фракції розміром 10–30 мм у шарі 0–4 см – $87,8 \pm 0,3$ % і вмісту фракції розміром 0–10 мм у шарі 4–8 см – $83,5 \pm 0,3$ %. Для поліпшення ефективності запропонованої конструкції ґрунтообробного модуля для передпосівного обробітку ґрунту необхідно дослідити його конструктивно-режимні параметри, що буде зроблено в подальших дослідженнях.

Висновки

У результаті чисельного моделювання процесу взаємодії різних конструкцій ґрунтообробних модулів (2 барабана + леміш, 1 барабан, 1 барабан + леміш, 1 барабана + леміш + кожух, 1 барабана + леміш + кожух + очисник) для передпосівного обробітку із ґрунтом отримано візуалізацію скалярної сцени і гістограми розподілу агрегатів за їх діаметром і глибиною розміщення.

В якості базової (контрольної) конструкції обрано двобарабаний-лемішний сепаратор (конструкція Шевченка І. А., Крижачківського Р. М., Ковязина О. С. і Трачова В. В.), чисельне моделювання якого дозволило встановити, що після обробки у шарі 0–4 см вміст фракції розміром 10–20 мм складав $64,8 \pm 0,3$ %, а фракції 20–30 мм – $24,5 \pm 0,3$ % (загально – $89,3 \pm 0,3$ %), у шарі 4–8 см вміст фракції розміром 0–10 мм складав $76,3 \pm 0,3$ %. Отримані дані підтверджуються експериментом Шевченка І. А., що свідчить про адекватність створеної чисельної моделі в Simcenter STAR-CCM+ і правильності прийняття фізико-механічних властивостей ґрунтового середовища.

За результатами чисельного моделювання встановлено, що найбільш ефективною є конструкція, яка містить 1 барабан, леміш, кожух і очисник, так як вона виконує операцію сепарації і перерозподілу агрегатів ґрунту практично із такою ж самою ефективністю, як і базова (контрольна) конструкція. Про це свідчать значення вмісту фракції розміром 10–30 мм у шарі 0–4 см – $87,8 \pm 0,3$ % і вмісту фракції розміром 0–10 мм у шарі 4–8 см – $83,5 \pm 0,3$ %.

References

Brian S. Atkinson. Identification of optimum seedbed preparation for establishment using soil structural visualisation // Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy. 2008. 273 p. https://projectblue.blob.core.windows.net/media/Default/Research%20Papers/Cereals%20and%20Oilseed/3031_final_report_sr06.pdf

Yankov P., Drumeva M. Effect of the way of pre-sowing soil tillage for wheat on the development of its roots // Agricultural science and technology. 2015. 7 (4): 451–454. doi: 10.15547/ast.2017.02.022

Sarkar P., Upadhyay G., Raheman H. Active-passive and passive-passive configurations of combined tillage implements for improved tillage and tractive performance: A review // Spanish Journal of Agricultural Research. 2021. 19 (4), e02R01, 14 p. doi: 10.5424/sjar/2021194-18387

Lemic D., Pajač Živković I., Posarić M., Bažok R. Influence of Pre-Sowing Operations on Soil-Dwelling Fauna in Soybean Cultivation // Agriculture, 2021. 11: 474 p. doi: 10.3390/agriculture11060474

Sereda LP, Trukhanska OO, Shvets LV (2019) Development and research of a tillage machine for strip-till technology with active milling working bodies. Vibrations in Engineering and Technology 4 (95): 65–71. DOI: 10.37128/2306-8744-2019-4

Pastukhov VI, Belovol SA (2014) Study of movement of crushed soil in the vertical plane under the action of rotary tillage machines. Environmental Engineering 2 (2): 80–83. <https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/3582/1/16.pdf>

Levchenko P (2014) Machines with active working bodies in agricultural production of Ukraine. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine 18(1): 309–316. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttar_2014_18\(1\)_34](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttar_2014_18(1)_34)

Shevchenko IA (2016) Management of the agrophysical state of the soil environment. K.: "Vinichenko" Publishing House: 320 p. ISBN 978-966-2622-22-5. <http://imk.zp.ua/index.php/naukovi-vydannia/monografii/169-keruvannia-ahrofizychnym-stanom-gruntovoho-seredovyscha-shevchenko-ihor-arkadiiovych>

Toscano P, Brambilla M, Cutini M, Bisaglia C (2022) The Stony Soils Reclamation Systems in Agricultural Lands: A Review. Agricultural Sciences 13: 500–519. DOI: 10.4236/as.2022.134034

Kalinitchenko VP, Glinushkin AP, Sharshak VK, Ladan EP, Minkina TM, Sushkova SN, Mandzhiyeva SS, Batukaev AA, Chernenko VV, Ilyina LP (2021) Intra-Soil Milling for Stable Evolution and High Productivity of Kastanozem Soil. Processes 9: 1302. DOI: 10.3390/pr9081302

Shevchenko IA, Kryzhachkivskiyi RM, Trachov VV (2001) Patent of Ukraine for the invention 41108 A, IPC (2006) A01B 33/00, A01B 49/00. Plow-drum soil separator. Applicant: Tavri State Agricultural Technical Academy, No. 2001020958. Application. 13.02.2001. Publ. 15.08.2001, Bull. No. 7

Shevchenko IA, Kovyazyn OS, Kryzhachkivskiyi RM (2006) Patent of Ukraine for the invention 64446 A, IPC (2006) A01B 33/00, A01B 49/06 (2006.01). Plow-drum soil separator. Applicant: Tavri State Agricultural Technical Academy, No. 2003065074. Application. 03.06.2003. Publ. 17.07.2006, Bull. No. 7

Shevchenko IA, Kovyazyn OS, Kryzhachkivskiyi RM (2006) Patent of Ukraine for an invention 64446, IPC (2006) A01B 33/00, A01B 49/06 (2006.01). Plow-drum soil separator. Applicant: Tavri State Agricultural Technical Academy, No. 2003065074. Application. 03.06.2003. Publ. 16.02.2004, Bull. No. 2

Kryzhachkivskiyi RM (2004) Justification of the structural-technological scheme and parameters of the working bodies of the machine for pre-sowing soil cultivation: Diss... candidate. technical Sciences: 05.05.11, Melitopol, 166

Kovyazyn OS (2006) Justification of the structural and technological parameters of the plow-drum soil separator: Diss... candidate. technical Sciences: 05.05.11, Melitopol, 187

Hutsol O P, Kovbasa V P (2016) Justification of the parameters and modes of movement of tillage machines with disc working bodies. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. 145

Aliiev E B (2019) Physico-mathematical models of the processes of precision separation of the raw material in the dormouse: monograph. Zaporozhye: STATUS. 196. ISBN 978-617-7759-32-3

Aliiev E, Pavlenko S, Golub G, Bielka O (2022) Research of mechanized process of organic waste composting. *Agraarteadus, Journal of Agricultural Science*, XXXIII (1): 21–32. DOI: 10.15159/jas.22.04

Aliiev E, Gavrilenko A, Tesliuk H, Tolstenko A, Koshul'ko V (2019) Improvement of the sunflower seed separation process efficiency on the vibrating surface. *Acta Periodica Technologica. APTEFF* 50: 12–22

NUMERICAL SIMULATION OF THE WORKING PROCESS OF THE SOIL TILLATION MODULE FOR PRE-TREATMENT OF THE SOIL

E. Aliiev^{1,2}, H. Tesliuk², O. Bielka¹, O. Patsula¹

¹ *Institute of Oilseed Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine,*

² *Dnipro State Agrarian and Economic University*

The Discrete Element Method in the Simcenter STAR-CCM+ software package was used to analyze the new designs of the tillage module and study their interaction with the soil. As a result of numerical simulation of the process of interaction of various designs of tillage modules (2 drums + ploughshare, 1 drum, 1 drum + plowshare, 1 drum + plowshare + casing, 1 drum + plowshare + casing + cleaner) for pre-sowing cultivation with the soil, a visualization of the scalar scene was obtained and histograms of the distribution of aggregates by their diameter and placement depth. As a basic (control) design, a two-drum-blade separator was chosen (design by I. A. Shevchenko, R. M. Kryzhachkivskiyi, O. S. Kovyazyn, and V. V. Trachova), numerical modeling of which made it possible to establish that after processing in the layer 0-4 cm, the content of the 10-20 mm fraction was $64.8 \pm 0.3\%$, and the 20-30 mm fraction was $24.5 \pm 0.3\%$ (total - $89.3 \pm 0.3\%$), in in the 4-8 cm layer, the content of the 0-10 mm fraction was $76.3 \pm 0.3\%$. The obtained data are confirmed by the experiment of I. A. Shevchenko, which testifies to the adequacy of the created numerical model in Simcenter STAR-CCM+ and the

correctness of accepting the physical and mechanical properties of the soil environment. According to the results of numerical modeling, it was established that the most effective design is the one that contains 1 drum, ploughshare, casing and cleaner, as it performs the operation of separation and redistribution of soil aggregates with almost the same efficiency as the basic (control) design. This is evidenced by the content of the 10-30 mm fraction in the 0-4 cm layer – $87.8 \pm 0.3\%$ and the content of the 0-10 mm fraction in the 4-8 cm layer – $83.5 \pm 0.3\%$.

Key words: soil, tillage, tillage module, modeling, structures, fractional composition of aggregates, interaction, efficiency.