
Аналіз та обґрунтування досліджень процесів деформації ґрунтів

Микола Корчак

Кафедра агроінженерії та точного землеробства ім. Михайла Самокиша, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», Україна

ORCID 0000-0002-8726-1881

Анотація: Обґрунтовано дослідження процесів деформації ґрунтів. Аналіз досліджень, спрямованих на вивчення процесів що протікають в ґрунті свідчить про те, що в більшості випадків розгляд даних процесів здійснювався на основі відповідних теорій міцності, а найбільш поширені моделі ґрунтів представлялися як тверде тіло, суцільне пружне середовище, суцільне сипуче середовище, що не стискається, суцільне середовище здатне деформуватися та суцільне пружно-пластичне середовище. Сили зчеплення між окремими елементами різними за механічним складом також відрізняються по величині, що свідчить про те, що ґрунт в початковому стані являє собою суцільне середовище здатне деформуватися, яке складається з окремих елементів в середині яких, між окремими частинками ґрунту діють сили зчеплення більші, ніж в граничних зонах між сусідніми елементами. При допущенні такої гіпотези стану ґрунту, як об'єкту механічного обробітку, контакт робочого органа з ґрунтом можна розглядати як стохастичний процес послідовних зіткнень поверхні робочого органа з суцільним середовищем здатним деформуватися, представленим окремими агрегатами, які характеризуються параметрами (щільність, лінійні і об'ємні розміри), зміна яких підлягає певному закону розподілу. Знання даних законів дозволить більш точно моделювати процес кришення ґрунту математичним шляхом. Одержані результати впроваджено в навчальний процес Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» та включено в навчально-методичний комплекс дисципліни «Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів». Отримано подальший розвиток досліджень процесів деформації ґрунтів, що є важливим для обґрунтування та вдосконалення робочих органів ґрунтообробних машин.

Ключові слова: процеси деформації ґрунту, ґрунтове середовище, аналіз досліджень.

1. Вступ

Процеси деформації ґрунтів – це зміна їхньої форми та об'ємів під впливом зовнішніх навантажень (будівельних, природних) чи внутрішніх сил, що поділяються на пружні (зворотні) та пластичні (незворотні), включаючи ущільнення (стиснення) через витіснення пор та зміну структури, розширення/розпушення та зсувні деформації, спричинені втратою міцності, зміною вологості та текстури, що призводить до осідання, просідання та зсувів.

2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт дослідження – деформація ґрунтів.

Предмет дослідження – аналіз досліджень процесів деформації ґрунтів.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – провести аналіз та обґрунтувати дослідження процесів деформації ґрунтів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **основні задачі**:

- порівняти наукові гіпотези з вивчення процесів деформації, що протікають в ґрунті;
- виділити найбільш вагомі результати, отримані науковцями;
- охарактеризувати перспективи більш точнішого математичного моделювання процесу кришення ґрунту.

4. Методи досліджень

Дослідженнями передбачено обґрунтування наукових гіпотез процесів деформації ґрунтів. Обґрунтування досліджень проводили з використанням основних положень ґрунтознавства, фізики та землеробської механіки.

5. Результати досліджень

Для розуміння процесів, що протікають при взаємодії окремих елементів ґрунту при дії на них сторонніх предметів, велике значення мають результати досліджень, які дозволили встановити подібність між процесами деформації ґрунтових середовищ та твердих тіл. Така подібність вперше була виявлена при досліді над стружкою, що оброблялася металообробним різцем. Іноземними вченими було виявлено, що лінії текучості при обробці сталі мають суттєву схожість з лініями текучості в піску, а проведені досліді дозволили отримати матеріал про розподіл тиску при вертикальному навантаженні в піщаних пластах [1]. При цьому було виявлено, що перед тілом, яке переміщується в ґрунті, періодично виникають тіла сколювання, які укладаються одне на інше безперервною стружкою. Сколювання таких тіл відбувається з певною періодичністю і при певному зусиллі.

Процеси впливу різних робочих органів на ґрунт шляхом різання досліджували відомі вчені [2-5]. У своїх роботах вони дослідили процеси деформації і сколювання шарів ґрунту при впливі на нього двограним клином. Вони розглядали взаємодію двогранного клина з ґрунтом подібно роботі металообробних різців і залежно від того, як відбувається відділення скиби ґрунту від загального масиву, класифікували дані скиби на наступні структури: суцільна, ступінчаста, елементна та відриву. Це дозволяє пов'язати їх утворення з фізико-механічними властивостями ґрунтів.

Скиба ґрунту, що відривається клином, і характеризується як суцільна є формою суцільної смуги, гладкої з боку робочої поверхні клина і шорсткувата, майже без нерівностей на зовнішній поверхні ґрунту.

Скиба суцільного і ступінчастого характеру в більшості випадків утворюється при обробці ґрунтів з великим вмістом мулистих часток і при високій вологості, які характеризуються високою пластичністю.

Скиба ґрунту, яка утворюється відривом, має вигляд непов'язаних між собою грудок неправильної форми. Робочий орган відділяє такі грудки головним чином відривом, залишаючи після проходження нерівну грудкувату, а інколи і глибисту поверхню. Такий вигляд скиби характерний для обробки суглинистих і глинистих ґрунтів з малим вмістом вологи.

В умовах звичайних для роботи ґрунтообробних машин на супіщаних і суглинистих ґрунтах в більшості випадків утворюються скиби елементного типу. Елементні скиби також складаються із окремих грудок, але їх форма має закономірний характер.

Такий процес відділення і кришення елементів характерний для більшості типів ґрунтів, що підлягають обробці, але може мати певні особливості в досить широкому діапазоні, залежно від фізико-механічних та технологічних властивостей ґрунтів.

На підставі експериментальних та теоретичних досліджень Зеленін А.Н. зробив наступні висновки, а саме:

1. При проникненні металевих тіл у ґрунт в ньому виникають складні поля напружень з утворенням деформацій стиснення, зсуву, згину та розриву. Руйнування крихких матеріалів

відбувається від деформації розриву, що виникає в результаті стиснення. В основі процесів різання ґрунтів лежить їх ущільнення (практична деформація стиснення) з послідовним руйнуванням по площині ковзання.

2. Опір ґрунтів різанню знаходиться в лінійній залежності від величини сил зчеплення.

3. Опір ґрунтів різанню зменшується зі збільшенням їх вологості. Для піщаних ґрунтів зі збільшенням вологості в певних межах зусилля різання зростає через збільшення взаємного зчеплення піщаних частинок.

Для вивчення інтенсивності кришення ґрунту при впливі на нього різних типів робочих органів велике значення мають дослідження по вивченню напруження в ґрунті перед металевим листом [4]. Скориставшись комбінованим методом замірювання напружень в ґрунті досліджено розподіл напружень перед листом товщиною 8 см при глибині різання 20 см, а також отримано криву розподілу напружень в горизонтальній площині (рис.1). При цьому спостерігається експоненціальний закон розподілу напружень. Але з точки зору землеробської механіки і можливості прогнозування розподілу агрегатів в зруйнованій ґрунтовій скибі значний інтерес представляють розмірні характеристики агрегатів, від співвідношення яких залежать якісні показники обробітку ґрунту.

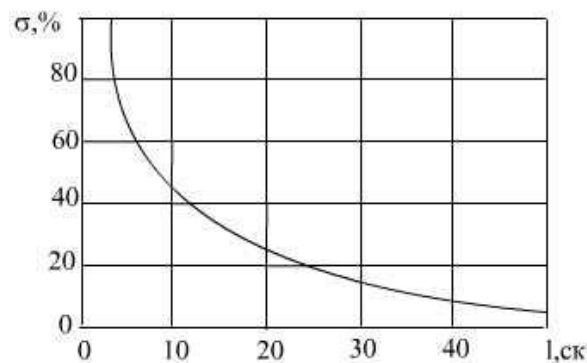


Рис.1. Крива розподілу напружень в горизонтальній площині.

Обґрунтовано спосіб аналітичного визначення довжини l поверхні сколотого елемента ґрунту [6]:

$$l^2 = \frac{2A_0 \cdot h \left(\frac{\rho \cdot h}{2} + c \cdot \operatorname{ctg} \varphi_2 \right) \cdot \cos \varphi_1}{g \cdot \cos \varphi_2 \cdot \sin \psi \cdot \cos \alpha_k \cdot \sin \alpha_k}, \quad (1)$$

де A_0 - розрахунковий коефіцієнт, який залежить від кутів внутрішнього тертя та кута сколювання;

h - глибина сколювання ґрунту;

ρ - об'ємна маса ґрунту;

c - коефіцієнт зчеплення ґрунту;

φ_2 - коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту;

φ_1 - коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту;

ψ - кут сколювання;

α_k - кут установки площини робочого органа до горизонту;

g - коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту.

Отриманий аналітичний вираз довжини ділянки (елемента), що сколюється, встановлює залежність не тільки від параметрів різання, але й від фізико-механічних властивостей ґрунту. Як видно з формули, величина l прямопропорційна глибині h сколювання ґрунту, коефіцієнту внутрішнього тертя і коефіцієнту зчеплення та зворотно пропорційна коефіцієнту зовнішнього тертя і коефіцієнту об'ємного зминання ґрунту.

Таким способом можна прогнозувати максимальні розміри елементів, які можуть мати місце при руйнуванні ґрунту, але визначення їх відсоткового вмісту до інших утворених елементів також залишається неможливим.

Для полегшення процесів кришення ґрунту досить часто вчені застосовують теорію міцності Мора [7]. Одним з перших здійснив спробу застосування даної теорії для обґрунтування процесів руйнування ґрунтів при їх обробітку Гологурський Т.М. [8].

Академік Горячкін В.П. [9] також спробував застосувати дану теорію для визначення опору ґрунту руйнуванню під дією робочих органів ґрунтообробних знарядь:

$$P = \frac{k_{\phi} \cdot a \cdot b \cdot \sin(\alpha + \phi) \cdot \cos \rho}{\cos^2\left(\frac{\alpha + \phi + \rho}{2}\right)}, \quad (2)$$

де k_{ϕ} - граничне напруження зсуву.

На підставі даної теорії проведені дослідження напруженого стану ґрунту та встановлено, що в загальному вигляді руйнування відбувається по двох площинах ковзання [134]:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi_2 + C, \quad (3)$$

де τ - напруження зсуву;

σ - нормальне напруження;

$\operatorname{tg} \phi_2$ - тангенс кута внутрішнього тертя;

C - зчеплення.

Цимбал А.Г. підкреслює, що кут внутрішнього тертя характеризує механічні властивості матеріалу. При цьому основними видами деформації є деформації розтягу і стиснення, а зсув, кручення і зминання є похідними від основних. Шляхом побудови відповідних кутів напружень Мора виведені геометричні залежності між різними видами граничних напружень, що дає можливість за результатами досліджень матеріалу на зсув визначити показники, які характеризують його міцність.

Експериментальна перевірка придатності теорії Мора для розробки теорії руйнування ґрунтів при обробці також проводилася відомими вченими К. Терцагі [11] і Д. Тейлором [12]. Але спроби застосування теорії Мора для обґрунтування робочих органів ґрунтообробних машин, які здійснені Гологурським Т.М. [8], Зеленіним А.Н. [4] та іншими вченими не знайшли широкого застосування. У даному випадку великого значення набувають дані експериментальних досліджень технологічних процесів взаємодії робочих органів ґрунтообробних знарядь з ґрунтом.

Сінековим Г.Н. проведені дослідження взаємодії з ґрунтом дискових, лапових робочих органів та робочих органів плугів [13]. У вивченні закономірностей кришення ґрунту ним зроблені наступні висновки:

1. Форма елементів (глиб) пласта і процес їх утворення при роботі клина в ґрунті зберігаються незмінними при різній глибині обробітку. Таким чином, при роботі клина незмінної форми на різну глибину мають місце подібні деформації ґрунту.

2. Основним видом деформації при роботі клина в ґрунті, який характеризується певною зв'язністю є відрив, а не зсув. Деформації зсуву при роботі клина можуть мати місце при обробці легких піщаних ґрунтів.

Вагомий внесок у вивчення закономірностей опору ґрунту деформації та руйнуванню при впливі на нього плоскорізними робочими органами, підтверджується, що інтенсивність наростання тягового і питомого опору стрілочастих лап від кута кришення α_k не є лінійною залежністю, а збільшується зі збільшенням кута.

Досліджено залежність тягового опору стрілочастих робочих органів від їх основних конструктивних параметрів, виведені аналітичні залежності для розрахунку тягового опору безполицевих робочих органів і зроблено наступні висновки:

1. Опір при зминанні ґрунту робочим органом можна представити як суму опорів ґрунту на утворення зон пружної та пластичної деформації, опору тертя частинок ґрунту в зоні пластичної деформації і опору тертя ґрунту, що деформується об поверхню робочого органа.

2. Застосування ярусного обробітку ґрунту забезпечує зниження тягового опору грунтообробних знарядь в тому випадку, коли розпушувальні робочі органи мають порівняно невелику конструктивну ширину і розпушують ґрунт на значну глибину (рис. 2).

3. Двоярусне безполицеве розпушування ґрунту дозволяє без підвищення енергоємності процесів обробітку забезпечити краще збереження стерні, підвищити ступінь кришення ґрунту в 1,5 рази і знизити глибистість ґрунту в 2...3 рази.

4. Ярусне безполицеве розпушування ґрунту доцільне лише при відношенні ширини робочого органа до глибини обробітку, рівному одиниці, і при відношенні глибини розпушування ґрунту верхнім ярусом до загальної глибини розпушування, рівним половині одиниці.

Дані висновки і результати досліджень є важливим фактором при визначенні конструктивних шляхів підвищення якісних показників кришення ґрунту без суттєвого підвищення енергетичних затрат.

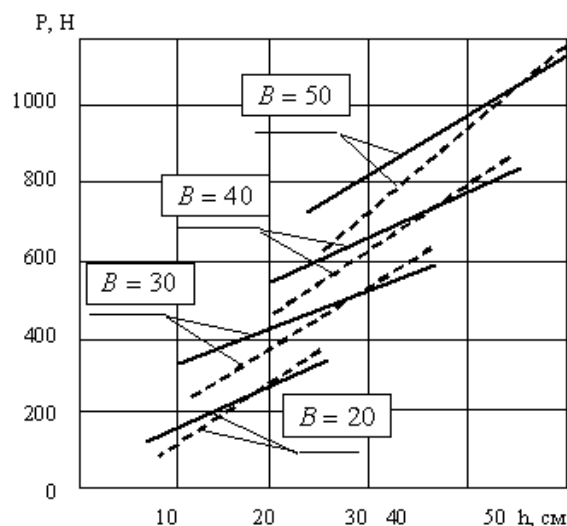


Рис. 2. Залежність тягового опору розпушувальної лапи від глибини обробітку при трьохсторонньому блокуванні лапи щільним ґрунтом і розпушуванні (пунктирна лінія – одноярусне розпушування, суцільна лінія – двоярусне розпушування), B – ширина захвату лап, см

Дослідженими є питання кінематики переміщення пласта по поверхні двогранного і тригранного клина [14]. Встановлено, що найбільш вагомими складовими опору на переміщення клина в ґрунті є:

- 1 - опір, обумовлений силою інерції пласта;
- 2 - опір, обумовлений вагою пласта;
- 3 - опір, обумовлений деформацією ґрунту робочою поверхнею робочого органа;
- 4 - опір, обумовлений деформацією ґрунту тильною стороною леза.

На підставі даного висновку розроблений математичний вираз для визначення сумарного опору, в якому враховані усі складові. Розглянуто також питання впливу окремих конструктивних параметрів робочих органів на окремі якісні показники виконання технологічного процесу, особлива увага приділена швидкості, яка надається частинкам ґрунту клином при його переміщенні як фактору, що є визначаючим як на якісні показники (гребенистість, перемішування) так і енергетичні.

При вивченні процесів взаємодії робочих органів з ґрунтом вченими застосовується теорія подібності. Так, В.І. Баловнєв [15] проводив дослідження землерийних машин з застосуванням механіки сипучого середовища. В.М. Мацепуро досліджував взаємодію ґрунтообробних робочих органів з ґрунтом з використанням гіпотези суцільного середовища і реології [16].

Вивчення закономірностей взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин з ґрунтом, удосконаленню їх параметрів і кінематичних режимів роботи з метою підвищення ефективності їх функціонування наведено в роботах [17-20] та інших, але в більшості робіт взаємодія робочих органів з ґрунтом розглядається з використанням теорій міцності матеріалів і завершується визначенням загального тягового опору робочих органів на їх переміщення в ґрунті, а також закономірностей розповсюдження напружень в ґрунті, від яких залежать основні закономірності його руйнування під дією напружень стиснення, розтягу, зсуву, кручення і згину.

На процеси взаємодії робочих органів з ґрунтом, крім їх конструктивних параметрів, до обґрунтування яких зводиться більшість робіт, дуже суттєво впливають і ряд фізико-механічних властивостей самого об'єкту обробітку – ґрунту. Аналіз попередніх робіт дає змогу визначити ряд основних властивостей і характеристик ґрунту, від яких в значній мірі залежить можливість його подрібнення тими чи іншими робочими органами до стану який би відповідав агротехнічним вимогам. До даних показників відносять вологість, щільність, механічний склад ґрунтів, кути внутрішнього та зовнішнього тертя та інші. В сукупності їх вплив на протікання процесів обробітку ґрунтів є визначаючим як на енергетичні, так і на якісні показники обробітку ґрунту і знання взаємних зв'язків між ними є обов'язковими при бажанні більш точно відтворити процеси руйнування ґрунту теоретичним шляхом, тому даному питанню значну увагу приділяли багато вчених-дослідників. Так, Щучкін Н.В. вивчав вплив фізико-механічних властивостей ґрунтів на технологію та тяговий опір робочих органів ґрунтообробних знарядь [21]. Особливе місце в його роботах приділене вивченню коефіцієнтів тертя ґрунту об сталь та опору ґрунту розколюванню. Одним із висновків зроблених Щучкіним Н.В. є те, що коефіцієнт тертя ґрунту залежить від механічного складу і збільшується зі збільшенням фракції $<0,01$ мм. При цьому коефіцієнт тертя структурного ґрунту менший ніж безструктурного при всіх інших рівних умовах як і розсипчастого ґрунту в порівнянні зі щільними. Висновки Щучкіна Н.В. підтверджувалися і в роботах інших відомих вчених, які займалися питанням вивчення тертя різних типів ґрунтів об сталь в різний час.

Так, Качинський Н.А. [22], Пігулевський М.Х. [23] і Вільямс В.Р. [24] в своїх роботах відзначають, що для вологих ґрунтів коефіцієнт тертя більший ніж для сухих, що особливо помітно на піщаних ґрунтах.

Бахтін П.І. [25] дослідив, що зі збільшенням вологості чорноземних ґрунтів коефіцієнт тертя ґрунту об сталь збільшується до певного значення, характерного для кожного ґрунту, а потім, з подальшим збільшенням вологості, зменшується.

Залежність коефіцієнту тертя ґрунту по сталі від механічного складу ґрунту наведено на рис. 3.

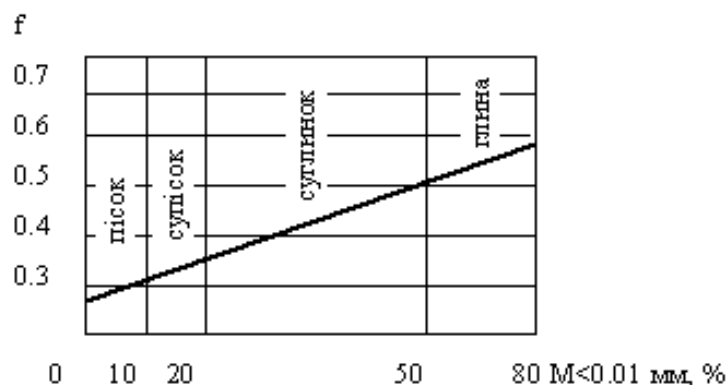


Рис. 3. Вплив вмісту у ґрунті “фізичної глини” на коефіцієнт тертя ґрунту по сталі.

Як видно з рис. 3, дана залежність має лінійний характер. Цимбал А.Г. [10] прийшов до висновку, що головним комплексним показником, який визначає механічні властивості ґрунтів, є кут внутрішнього тертя (тертя ґрунту по ґрунту). Залежність кута внутрішнього тертя від вологості ґрунту має характер, подібний з кутом зовнішнього тертя, але кут зовнішнього тертя має більше абсолютне значення.

В роботах Качинського Н.А. [22], Бахтіна П.І. [25], Жука Я.М. [26] і Цимбала А.Г. [10] особлива увага приділена питанням деформації і руйнування ґрунтів залежно від їх вологості та об'ємної маси, а також впливу даних властивостей на опір робочих органів ґрунтообробних знарядь. Їхніми дослідженнями підтверджено зниження механічної міцності ґрунту зі збільшенням їх вологості. Винятком є піщані ґрунти, границя несучої здатності (межа опору зминанню) яких зі збільшенням вологості спочатку зростає, а потім зменшується. В дрібнозернистих глинистих ґрунтах підвищення зв'язності завжди пов'язане із зменшенням вологості ґрунту. Зміна зв'язності і твердості структурних ґрунтів зі збільшенням їх вологості протікає по іншому. Максимальний опір їх руйнуванню спотерігається при відносній вологості ґрунту 50-60 %. При підсушуванні таких ґрунтів, в силу падіння капілярного тиску, їх твердість зменшується і вони починають розпадатися на агрегати.

На сьогоднішній день залишаються недостатньо вивченими ряд інших властивостей і характеристик ґрунтів, які є не менш важливими при вивченні процесів, що протікають при їх обробі. Це твердість ґрунту, його пластичність та інші, які поєднують в собі характеристики, що визначаються цілим рядом властивостей, мають високу інформаційність і можуть бути прийняті за базові при вивченні процесів, які відбуваються в ґрунті під дією робочих органів [27].

Серед гіпотез і тверджень проаналізованих робіт, заслуговують на увагу ряд висновків, які можуть розглядатися, як стартові умови для подальшого вивчення і удосконалення процесів кришення ґрунтів:

- напруження, які виникають в ґрунті під дією робочих органів розподіляються за експоненціальним законом, а характер розподілу в значній мірі обумовлюється властивостями ґрунтів;
- умови та показники кришення ґрунтів залежать від їх технологічних властивостей, які в свою чергу мають залежність лінійного характеру від механічного складу ґрунтів;
- ряд показників технологічних властивостей ґрунтів, в кращому випадку, представлені окремими наборами дискретних числових значень і не мають математичного опису залежності від фізико-механічних властивостей в широкому діапазоні їх змін, що ускладнює задачу визначення перших при заданих, в певній ситуації, значеннях других;
- одним із конструктивних шляхів підвищення якісних показників кришення ґрунту без суттєвого підвищення енергетичних затрат може бути застосування знарядь для пошарового обробітку.

6. Висновки

Аналіз досліджень, спрямованих на вивчення процесів що протікають в ґрунті свідчить про те, що в більшості випадків розгляд даних процесів здійснювався на основі відповідних теорій міцності, а найбільш поширені моделі ґрунтів представлялися як тверде тіло, суцільне пружне середовище, суцільне сипуче середовище, що не стискається, суцільне середовище здатне деформуватися та суцільне пружно-пластичне середовище. Сили зчеплення між окремими елементами різними за механічним складом також відрізняються по величині, що свідчить про те, що ґрунт в початковому стані являє собою суцільне середовище здатне деформуватися, яке складається з окремих елементів в середині яких, між окремими частинками ґрунту діють сили зчеплення більші, ніж в граничних зонах між сусідніми елементами. При допущенні такої гіпотези стану ґрунту, як об'єкту механічного обробітку, контакт робочого органа з ґрунтом можна розглядати як стохастичний процес послідовних зіткнень поверхні робочого органа з суцільним середовищем здатним деформуватися, представленим окремими агрегатами, які

характеризуються параметрами (щільність, лінійні і об'ємні розміри), зміна яких підлягає певному закону розподілу. Знання даних законів дозволить більш точно моделювати процес кришення ґрунту математичним шляхом [28-35].

Список літератури:

- 1) Kogler F., Scheidig A. (1927). Druckverteilung im Bangrunde. Bautechn. Bd. 5, №29, 31.
- 2) Sineokov P. N. (1955). Soprotivlenie pochvi, vznikayushchee pri yeyo obrabotke: Dis... d-ra tekhn. nauk. Moskva. T. 1-2. 305.
- 3) Storchkus D. A. (1956). Issledovanie raboti nozha drenazhno-krotovikh orudii v mineralnikh gruntakh Litovskoi SSR: Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk. Moskva. 15.
- 4) Zelenin A. N. (1968). Osnovi razrusheniya gruntov mekhanicheskimi sposobami. Moskva: Mashinostroenie. 375.
- 5) Kovrikov I. T. (1982). Osnovi proektirovaniya shirokozakhvatnikh mashin pochvozashchitnogo kompleksa s uchyotom mikrorel'efa polei: Avtoref. dis... d-ra tekhn. nauk. Novosibirsk, 15.
- 6) Solov'ev S. P. (1968). Razrushenie pochvi ploskim klinom // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sotsialisticheskogo selskogo khozyaistva. №3. 16–19.
- 7) Mohr O. (1914). Abhandlungen aus dem Gebiete der technischen mechanik.
- 8) Gologurskii T. M. (1917). Tekhnologicheskie protsessy v pochve pri yeyo obrabotke. Petrograd.
- 9) Goryachkin V. P. (1965). Sbranie sochinenii. V 3-kh tomakh. T. 1. Moskva: Kolos. 780.
- 10) Tsimbal A. G. (1967). Issledovanie mekhanicheskoi prochnosti pochvi // Issledovanie i iziskanie novikh rabochikh organov selskokhozyaistvennikh mashin: Sovmestnie trudy UkrNIISKhOMa i VISKhOMa. Vip 4. Moskva.
- 11) Tertsagi K. (1961). Teoriya mekhaniki gruntov. Moskva.
- 12) Teilor D. (1960). Osnovi mekhaniki gruntov. Moskva.
- 13) Sineokov G. N. (1965). Proektirovanie pochvoobrabativayushchikh mashin. Moskva: Mashinostroenie. 311.
- 14) Demyd'ko M. O. (1998). Teoretychnyi analiz oporu gruntu pry peremishchenni dvohrannoho plyna // Nauk. visnyk Nats. ahr. un-tu / Redkol.: D. O. Melnychuk (vidp. red.) ta in. Vyp. 9. Kyiv. 370.
- 15) Balovnev V. I. (1969). Fizicheskoe modelirovanie protsessov rezaniya gruntov. MASHGIZ.
- 16) Matsepuro V. M. (1968). Issledovaniya zakonomernostei soprotivleniya pochv i gruntov: Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk. Moskva.
- 17) Grishin A. N. (1987). Obosnovanie parametrov universalnogo protivooerozionnogo orudiya dlya osnovnoi obrabotki pochvi. // Dis... kand. tekhn. nauk. Chelyabinsk. 166.
- 18) Baranaev A. S. (1969). Issledovanie dinamiki tyagovikh soprotivlenii pakhotnikh i posevnikh mashin: Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk. Gorki.
- 19) Belotkach M. P. (1985). Obosnovanie tekhnologii i razrabotka konstruktivnoi skhemi kombinirovaniy mashini dlya podgotovki pochvi pod ozimie kulturi: Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk. Glevakha.
- 20) Buranov A. S. (1973). Issledovanie tekhnologicheskogo protsessa i obosnovanie nekotorykh parametrov rabochikh organov orudii ploskoreznoi obrabotki pochvi: Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk. Tselinograd.
- 21) Fiziko-mekhanicheskie svoystva rastenii, pochv i udobrenii. (1970). Moskva: Kolos. 417 s.
- 22) Kachinskii N. A. (1947). O strukture pochvi, nekotorykh vodnikh yeyo svoystvakh i differentsialnoi poroznosti. // Pochvovedenie. №6. 336–348.
- 23) Pigulevskii M. Kh. (1936). Osnovi i metody eksperimental'nogo izucheniya pochvennikh deformatsii // Teoriya konstruktsiya i proizvodstvo selskokhozyaistvennikh mashin. M. – L.: Selkhozgiz. T.2. 421–528.
- 24) Vilyams V. R. (1949). Sbranie sochinenii. M. – L.: Selkhozgiz. 468.

- 25) Bakhtin P. U. (1969). *Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh i tekhnologicheskikh svoistv osnovnykh tipov pochv SSSR*. Moskva: Kolos.
- 26) Zhuk N. M., Rubin V. F. (1940). *O soprotivlenii pochvi razlichnim deformatsiyam*: Sb. VISKhOMa. Vip. 3. Moskva.
- 27) *Mekhaniko-tekhnologichni vlastyivosti silskohospodarskykh materialiv*: Pidruchnyk / Tsarenko O. M., Voitiuk D. H., Shvaiko V. M. ta in. Za red. S. S. Yatsuna. Kyiv: Meta, 2003. 448.
- 28) Korchak, M. (2022). Substantiation of agrotechnical requirements for soil preparation for sowing grain crops. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. National Centre for Poland, Poland. Vol. 1 (3), 52-61. (ISSN: 2720-6319). <https://isg-journal.com/isjea/article/view/15>.
- 29) Korchak, M. M., Yermakov, S. V. (2007). *Doslidzhennia kharakteru zasmichenosti polia lystostebelnymy ta korenevymy zalyshkamy pislia zbyrannia kukurudzy*. Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnoho aharno-tekhnichnoho universytetu. Kamianets-Podilskyi, Vyp. 15, 498-504.
- 30) Korchak, M. M. (2009). Rozrobka kombinovanoho sposobu ta podribniuvacha dlia gruntu, zasmichenoho roslynnymy zalyshkamy. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho aharnoho universytetu: Ahroinzhenerni doslidzhennia*. Lvivskyi natsionalnyi ahrouniversytet, Vyp. 13, 155–163.
- 31) Korchak, M., Yermakov, S., Maisus, V., Oleksiyko, S., Pukas, V., Zavadskaya, I. (2020). Problems of field contamination when growing energy corn as monoculture. *E3S Web of Conferences*. Krynica, Poland. 6th International Conference – Renewable Energy Sources. Volume 154. ISSN: 2267-1242, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015401009>.
- 32) Sheichenko, V., Marynchenko, I., Dudnikov, I., Korchak, M. (2019). Development of technology for the hemp stalks preparation. *Independent Journal of Management and Production*. State agrarian and engineering university in Podilia. Vyp. 10, № 7, 687 –701. (ISSN: 2236-269X).
- 33) Korchak, M., Yermakov, S., Hutsol, T., Burko, L., Tulej, W. (2021). Features of weediness of the field by root residues of corn. *Environment. Technology. Resources*. Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference. Rezekne, Latvia, Volume 1, 122 – 126.
- 34) Bliznjuk, O., Masalitina, N., Mezentseva, I., Novozhylova, T., Korchak, M. (2022). Development of safe technology of obtaining fatty acid monoglycerides using a new catalyst. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Volume 2, № 6 (116), 13 – 18. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253655>
- 35) Korchak, M., Bliznjuk, O., Nekrasov, S., Gavrish, T., Petrova, O., Shevchuk, N., Strikha, L., Kostyrkin, O., Semenov, E., Saveliyev, D. (2022). Development of rational technology for sodium glyceroxide obtaining. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Volume 5, № 6 (119), 15 – 21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265087>

Analysis and justification of research into soil deformation processes

Mykola Korchak

Department of Agricultural Engineering and Precision Agriculture Names Mykhaila Samokisha, Higher Educational Institution «Podillia State University»
ORCID 0000-0002-8726-1881

Abstract: The study of soil deformation processes is substantiated. The analysis of studies aimed at studying the processes occurring in the soil indicates that in most cases the consideration of these processes was carried out on the basis of the relevant strength theories, and the most common soil models were represented as a solid body, a continuous elastic medium, a continuous incompressible bulk medium, a continuous medium capable of deformation and a continuous elastic-plastic medium. The adhesion forces between individual elements of different mechanical composition also differ in magnitude, which indicates that the soil in the initial state is a continuous medium capable of deformation, which consists of individual elements in the middle of which, between individual soil particles, adhesion forces are greater than in the boundary zones between neighboring elements. Assuming such a hypothesis of the state of the soil as an object of mechanical cultivation, the contact

of the working body with the soil can be considered as a stochastic process of successive collisions of the surface of the working body with a continuous medium capable of deformation, represented by separate aggregates, which are characterized by parameters (density, linear and volumetric dimensions), the change of which is subject to a certain distribution law. Knowledge of these laws will allow more accurately modeling the process of soil crumbling mathematically. The results obtained were implemented in the educational process of the Higher Education Institution «Podillia State University» and included in the educational and methodological complex of the discipline "Mechanical and technological properties of agricultural materials". Further development of research into soil deformation processes was obtained, which is important for substantiation and improvement of the working bodies of soil tillage machines.

Keywords: soil deformation processes, soil environment, research analysis.
