

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**МАЦЮК ІГОР ВІКТОРОВИЧ**

**УДК 631.431.73:629.366**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**ЗНИЖЕННЯ НЕГАТИВНОЇ ДІЇ НА ҐРУНТ  
МОБІЛЬНИХ ЕНЕРГОЗАСОБІВ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ І.В. Мацюк

**Керівник роботи**  
Савченко В.М.  
к.т.н., доцент

**Житомир – 2022**

## АНОТАЦІЯ

**Мацюк Ігор Вікторович. Зниження негативної дії на ґрунт мобільних енергозасобів.** – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

В магістерській роботі, у результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що внесення післяжнивних залишків соломи веде до зменшення ущільнення ґрунту. Зниження внутрішньошинного тиску зі 120 до 80 кПа дозволить зменшити ущільнюваність ґрунтів на 6...8 %.

Для реалізації зниження ущільнення ґрунтів від діючих вібродинамічних навантажень запропоновано алгоритм вибору параметрів пневмоколісних рушіїв з допустимим впливом на ґрунт, які відповідають вимогам ДСТУ.

Розглядається моделювання систем машин з урахуванням екологічної безпеки агроландшафтів. Показано, що система машин характеризується циклами та періодами життя, які залежать від багатьох факторів, у тому числі і від фізичного стану середовища взаємодії. Подано вплив параметрів машин на поведінку агроєкосистем.

В основі створення системи машин необхідно враховувати їх взаємодію із середовищем. З одного боку, середовище та його стан впливають на роботу машини, з іншого – машини впливають на зміну фізичного стану середовища.

*Ключові слова: ущільнення, рушій, ґрунту, агроєкосистема.*

## ANNOTATION

**Matsyuk Igor Viktorovich. Reduction of negative impact on the soil of mobile energy sources.** – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2022.

In the master's thesis, as a result of experimental research, it was found that the introduction of post-harvest straw residues leads to a decrease in soil compaction. Reducing the intra-tire pressure from 120 to 80 kPa will reduce soil compaction by 6...8%.

To implement the reduction of soil compaction from the current vibrodynamic loads, an algorithm for selecting the parameters of pneumatic wheels with allowable impact on the soil, which meet the requirements of DSTU.

Modeling of machine systems taking into account ecological safety of agrolandscapes is considered. It is shown that the machine system is characterized by cycles and periods of life that depend on many factors, including the physical state of the interaction environment. The influence of machine parameters on the behavior of agroecosystems is given.

At the heart of creating a system of machines must take into account their interaction with the environment. On the one hand, the environment and its state affect the operation of the machine, on the other - machines affect the change in the physical state of the environment.

*Key words: compaction, propulsion, soil, agroecosystem*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ВПЛИВ СТАТИЧНИХ ТА ВІБРОДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ЗМІНУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ.....	11
РОЗДІЛ 2. ВИБІР КОНСТРУКЦІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ, ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ УЦІЛЬНЮЮЧОГО ВПЛИВУ РУШІВ НА ҐРУНТ.....	27
ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	35

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** У зв'язку з екологічною кризою планети, що загострилася, однією з головних проблем є охорона природи. Вона дуже багатогранна – тут і порушення стабільності процесів з допомогою інтенсивної антропогенної діяльності, і навіть перегляд соціально-етнічних цінностей. Особливу роль розвитку екологічної кризи грають агроекологічні системи, поведінка яких великою мірою залежить від агрофізичного стану ґрунту [1-4].

Ґрунт – складна відкрита система, що є компонентом біосфери, перебуває у постійному масо- та енергообміні з навколишнім середовищем, де безперервно йдуть хімічні та механічні процеси за рахунок прямих та зворотних зв'язків, які формують її властивості та є індикатором інформаційних повідомлень її стану. Зв'язок між її компонентами настільки міцний, що незначні зміни одних неминуче ведуть до зміни інших, а при інтенсивних змінах між ними змінюється склад ґрунту в цілому.

Обробка ґрунту є одним із найбільш енергоємних та дорогих процесів у рослинництві. Вона потребує 180-320 кВт-год/га, що відповідає 50-80 кг/га дизельного палива та становить 20-25 % від його загальної потреби у сільському господарстві. При застосовуваних у господарствах технологіях та машинах вартість обробки ґрунту становить 45-48 дол./га.

У рослинництві найбільша частка витрати палива посідає на оранку – до 50 % від витрати палива для проведення механізованих польових робіт. Однак останніми роками в Україні намічається тенденція переходу від щорічної оранки на всю глибину орного горизонту до чергування оранки з іншими, менш енергоємними прийомами основної обробки або навіть до повної відмови від оранки. Такий підхід до основної обробки економічно обґрунтований та широко практикується у багатьох зарубіжних країнах (країни ЄС, США, Канада, Австралія, Казахстан та ін.). При зниженні енерговитрат на основну обробку

збільшується частка енерговитрат на передпосівну обробку та посів, що є стимулом до зниження енергоємності цих технологічних операцій.

Економія палива є значним резервом підвищення ефективності господарювання. Резерв економії нафтопродуктів є резервом економії валютних коштів, а завдання підвищення паливної економічності народного господарства має значення.

Шкода, що завдається діяльністю людей навколишньому середовищу, не така очевидна. Це пов'язано з тим, що найчастіше негативні фактори впливають на кінцевий об'єкт навколишнього середовища опосередковано, через ланцюжок проміжних ланок, а результат проявляється через значний проміжок часу: утворення плужної підшви - кілька років; мінералізація ґрунту – від кількох років до кількох десятиліть. Руйнування структури ґрунту ходовими системами та робочими органами ґрунтообробних машинно-тракторних агрегатів веде до збільшення інтенсивності змиву ґрунту та добрив. Потрапляючи у водоймища, вони викликають рясне зростання водної рослинності. Масове заростання водойм може призвести до зміни мікроклімату регіону.

Основна обробка, передпосівна обробка та посів надають значний вплив на стан ґрунту. Це і позитивний вплив (створення умов для зростання культурних рослин та отримання високих урожаїв) та негативний (руйнування структури ґрунту, пригнічення ґрунтової фауни та ін.), що веде до деградації ґрунтів у довгостроковому періоді. Крім того, ходові системи енергетичних засобів, ущільнюючи ґрунт, викликають цілу низку негативних явищ. Негативний вплив машинно-тракторних агрегатів на ґрунт більш згубно навесні при проведенні передпосівної обробки та сівби ярих культур. Це відображено у ДСТУ, де зазначено, що у весняний період тиск ходових систем колісних та гусеничних тракторів на ґрунт має бути на 14-20% (залежно від вологості) меншим, ніж у літньо-осінній період. Норми впливу на ґрунт більшості сучасних енергонасичених тракторів у базовому виконанні перевищують встановлені в ДСТУ межі [3].

При виконанні різних сільськогосподарських операцій площа, що покривається колесами машинно-тракторних агрегатів (МТА), перевищує площу самого поля. Без урахування збирально-транспортних робіт при обробітку озимої пшениці площа, що покривається колесами МТА, на 1 га досягає в середньому 22-26 тис. м<sup>2</sup>, при вирощуванні кукурудзи – 18-30 тис. м<sup>2</sup>, цукрових буряків – 30-32 тис. м<sup>2</sup>. Однак кількість проходів по тому самому місцю поля неоднакова. При обробітку озимої пшениці понад 30 % площі поля піддається дворазовому впливу ходовими системами МТА, 20 % – шестикратному та 2 % – восьмиразовому. Не ущільнюється лише 10% площі поля. Поворотні смуги прикочуються колесами та гусеницями сільськогосподарської техніки до 20 разів протягом одного року [5].

Під впливом рушіїв МТА щільність ґрунту підвищується на 100...300 кг/м<sup>3</sup>, твердість – у 3...5 разів і більше, кількість агрономічно цінних агрегатів зменшується на 10...20 %. Особливо згубний вплив має переміщення по полях великовагових транспортних засобів, зокрема, комбайнів. Опір обробітку ґрунту при цьому зростає в 1,5...1,9 раза, а ступінь його кришення погіршується більш ніж у 1,5 раза.

Переущільнення ґрунту веде до погіршення умов життєдіяльності ґрунтової мікрофлори, зниження швидкості розкладання рослинних залишків і, як наслідок, до зниження її біологічної активності.

В даний час зберігається тенденція до підвищення питомої енергонасиченості машинно-тракторних агрегатів (МТА), відбувається ускладнення машин та їх функціональних можливостей, що призводить до збільшення кількості їх вузлів та маси, необхідної для розвитку необхідного тягового зусилля. За останні десятиліття відзначається збільшення маси тракторів і сільськогосподарських машин на 200 % і 60 %, відповідно.

Підвищення швидкості руху, переїзд тракторів поперек борозен поля, що періодично повторюються, які мають хвилеподібний профіль, призводить до збільшення амплітуд коливань, прискорень різних точок МТА і вертикальних

вібродинамічних навантажень, що діють на них з боку опорної поверхні, які передаються через рушії на ґрунт.

Низькочастотні випадкові коливання агрегату призводять до того, що вертикальне вібродинамічне навантаження на вісь колеса зростає в 2-2,7 рази в порівнянні з відповідним статичним. При цьому навантаження зростає з великими прискореннями, що досягають 0,1-0,4 g. Збільшені вертикальні вібродинамічні навантаження призводять до додаткового зсуву, перепакування частинок, що руйнують структуру ґрунту, збільшують його щільність і кількість пилоподібних фракцій, а, зрештою, все це веде до повітряно-водного голодування рослин та порушення екології агроландшафтів. Внаслідок впливу рушіїв МТА відбувається ущільнююча деформація ґрунту, глибина якого варіюється від 0,2-0,3 м до 1 м залежно від типу ґрунтів та навантажень, що прикладаються. При багаторазовому впливі на ґрунт відбувається накопичення ущільнення як і орному, і підорному горизонтах.

У зв'язку з цим завдання зниження ущільнюючого впливу пневмоколісних рушіїв від діючих вертикальних вібродинамічних навантажень є актуальним.

Методи дослідження, що застосовувалися досі фізико-механічних властивостей ґрунтів вже не можуть задовольняти новий рівень досліджень. Необхідно розробити такі методи, які враховуватимуть час і швидкість впливу на ґрунт рушіїв, моделювати явища та прогнозувати процеси ущільнення на різних ґрунтах з урахуванням їх реологічних властивостей, що в кінцевому підсумку дозволить враховувати швидкості протікання деформації та прогнозувати її величини залежно від діючих вертикальних вібродинамічних навантажень.

Для прогнозування показників впливу на ґрунт ходових систем проєктованих машин необхідні теоретичні та експериментальні дослідження, що враховують параметри коливальної системи трактора, реологічні властивості ґрунту та рельєф її поверхні.



На підставі проведених досліджень запропоновані оригінальні конструкції рушіїв, підвісок, гасників коливань мобільних енергозасобів, використання яких дозволить підвищити надійність, довговічність роботи, плавність ходу та прохідність машинно-тракторного агрегату, покращити умови роботи оператора, знизити величину вертикальних вібродинамічних навантажень на опорну поверхню, а, отже, зберегти екологію агроекотландшафтів.

**Мета та завдання дослідження.** Метою зниження негативної дії на ґрунт рушіїв сільськогосподарської техніки. Згідно поставленої мети необхідно виконаними наступні завдання:

1. Провести аналіз впливу статичних та вібродинамічних навантажень на зміну властивостей ґрунтів;
2. Вибрати конструкції та параметрів експериментальної установки, проведення досліджень;
3. Запропонувати шляхи зниження ущільнюючого впливу рушіїв на ґрунт.

**Об'єкт дослідження** – процес взаємодії рушіїв мобільної сільськогосподарської техніки з ґрунтом.

**Предмет дослідження** – закономірність зміни фізико-механічних властивостей ґрунтового середовища в результаті взаємодії з рушіями сільськогосподарської техніки.

**Методи дослідження.** Аналіз літературних джерел здійснювався аналітико-монографічним методом. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою методів математичної статистики з використанням прикладних програм.

#### **Перелік публікацій за темою роботи:**

1. Савченко В. М., **Мацюк І.В.** Заходи щодо зниження ущільнення ґрунтів від діючих навантажень сільськогосподарської техніки. Збірник тез доповідей ХХІІ Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки". 16–18 жовтня 2021 року. МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Відокремлений підрозділ

Національного університету біоресурсів і природокористування України «Ніжинський агротехнічний інститут». Київ. Ніжин. 2021. С. 211-213.

**2. Мацюк І.В.** Вплив статичних та вібродинамічних навантажень на зміну властивостей ґрунтів. Збірник тез *VI-ї* всеукраїнської науково-практичної конференції «*Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь*» 30-31 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 266-269.

**2. Мацюк І.В.** Шляхи зниження ущільнюючого впливу рушіїв на ґрунт. Збірник тез *VII-ї* всеукраїнської науково-практичної конференції «*Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь*» 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 219-221.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичний інтерес для сільськогосподарських підприємств представляють розроблені заходи для зменшення негативного впливу рушіїв сільськогосподарської техніки на середовище ґрунту.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 55 сторінок комп'ютерного тексту, містить 10 рисунків та 2 таблиці.

# РОЗДІЛ 1

## ВПЛИВ СТАТИЧНИХ ТА ВІБРОДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ЗМІНУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ

Різні принципи ущільнення ґрунтів можна спрощено представити як статичний тиск, удар та вібрацію, представлені на рис. 1.1.

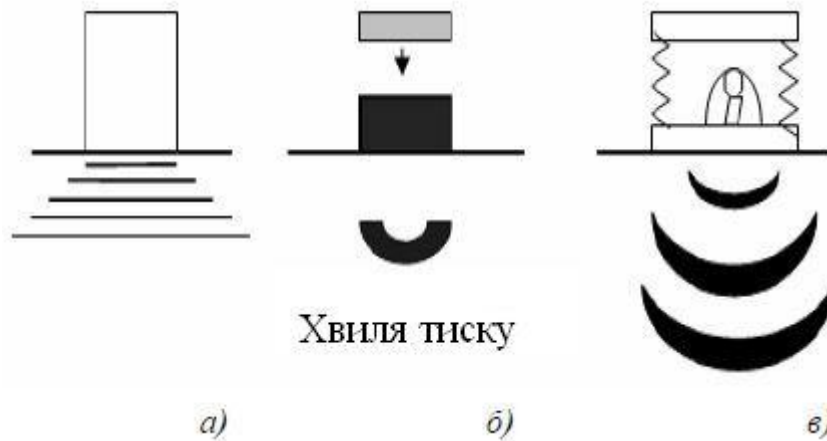


Рис. 1.1. Види ущільнення ґрунту: а) – статичний тиск; б) – удар; в) – вібрація [6].

Експериментальне вивчення деформованості ґрунтів від статичних навантажень проводилося багатьма відомими вченими. Залежність осідання ґрунту  $h_n$  від нормального вертикального навантаження  $\sigma$  (рис. 1.2) носить нелінійний характер.

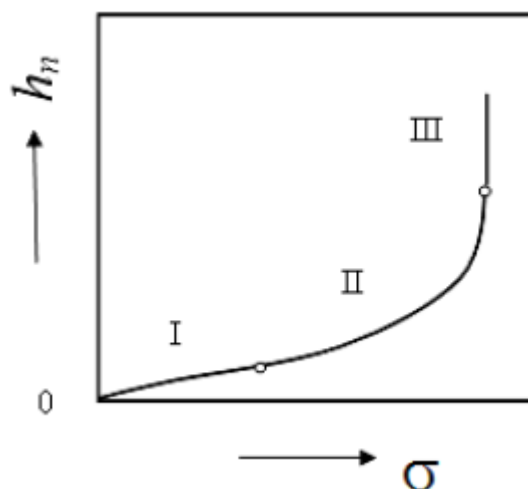


Рис. 1.2. Крива осадження ґрунту під штампом [7-9]

На кривій можна виділити три характерні ділянки, що відображають особливості взаємодії між зовнішніми вертикальними навантаженнями  $\sigma$  і внутрішніми силами опору ґрунту. На ділянці I крива близька до похилого прямого – тут відбувається ущільнення ґрунту. На ділянці II осадження ґрунту зростає швидше, ніж зовнішнє навантаження – ґрунт не тільки ущільнюється, але в ньому виникають осередки місцевих зрушень; у міру зростання зовнішнього навантаження напруження зсуву стають у ряді місць більше внутрішнього тертя та зчеплення між частинками ґрунту, внаслідок чого ріст осадження поступово стає дедалі інтенсивнішим. На ділянці III починається пластичний перебіг ґрунту: весь масив, залучений до деформації, охоплений зсувами; ущільнення ґрунту припиняється, і вся вона з-під коліс та гусениць видавлюється убік. Ділянка III кривої представлена на рис. 1.2 вертикальної прямої; на цій ділянці умовно прийнято, що осадження прогресує без підвищення зовнішнього навантаження. Співвідношення ділянок визначається станом ґрунту та розмірами штампю.

Для встановлення залежності розподілу тиску, що діє в межах контактної поверхні колеса та ґрунту, необхідно встановити зв'язок між тисками та деформаціями опорної основи.

Для знаходження деформації ґрунту ( $h_n$ , м) в залежності від чинного вертикального нормального навантаження ( $\sigma$ , Па) (тиску  $p$ ) В. П. Горячкін і М. Н. Летошнєв запропонували наступну залежність [10-12]:

$$\sigma = p = ch_n^{\mu_n}, 0 \leq \mu_n \leq 1, \quad (1.1)$$

де  $c$  – коефіцієнт, що враховує властивості ґрунту, Н/м<sup>3</sup>;

$\mu_n$  – показник деформованості ґрунту.

Обмеження застосування цієї формули у тому, що параметри  $c$  та  $\mu_n$  залежать від розмірів штампю.

М. Г. Беккер запропонував формулу, що дозволяє повніше відобразити фізичну сутність процесу деформації ґрунту штампю [13]:

$$\sigma = p = (k_\varphi + \frac{k_c}{b}) h_n^{\mu_n}, \quad (1.2)$$

де  $k_\phi$ ,  $k_c$  – коефіцієнти, що враховують зв'язність та тертя у ґрунті;

$b$  – ширина штампу, м.

В. В. Кацигін для вираження закону деформації ґрунту запропонував гіперболічну залежність [13]:

$$\sigma = p = p_0 \cdot th \frac{k}{p_0} h_n, \quad (1.3)$$

де  $p_0$  – межа несучої здатності ґрунту, Па:  $p_0 = A_0 + B_0 \frac{\Pi}{F}$ ;

$k$  – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, Н/м<sup>3</sup>;

$A_0$ ,  $B_0$  – константи, що визначають опір зрізу та стиску ґрунту;

$\Pi$ ,  $F$  – периметр (м) та площа (м<sup>2</sup>) плями контакту, відповідно.

С. С. Корчунов пропонує наступну залежність [14] :

$$\sigma = p = p_0 (1 - e^{h_n/k}). \quad (1.4)$$

Проте формулу (1.4) можна одержати із перетворень формули (1.3).

Наведені формули емпіричні, в них відсутній час, і тому деформації ґрунту є або пружними, або пружно-пластичними, зі зростанням яких до певних меж ґрунт ущільнюється.

Дослідження щодо впливу вертикальних вібродинамічних навантажень на ущільнення ґрунту практично не проводилися. Всі досліди були проведені на вібростендах і за допомогою штампів, що моделюють систему «фундамент-ґрунт».

Багатьма дослідниками (Л. С. Амарян, Д. Д. Баркан, Н. Д. Красніков, Г. М. Ляхов, О. А. Савінов, Н. Я. Хархута та ін.) доведено, що механічні властивості ґрунтів залежать від параметрів вертикального вібродинамічного навантаження, тобто інтенсивності тисків амплітудного та частотного діапазонів [5, 7, 9, 10].

Д. Д. Барканом та О. А. Савіновим, а пізніше та іншими вченими, були проведені досліди з вивчення ущільнення піщаного ґрунту під дією вібрації та одночасного впливу статичного та вібродинамічного навантаження. Досліджувався вплив різних факторів на процес віброущільнення ґрунтів та проведено досліди на пісках різної вологості.

В роботі Д. Д. Баркана говориться, що «...при дії вібрації в ґрунті виникає фізичне явище, яке викликає зміну сил тертя та зчеплення в ньому, а останнє призводить до руйнування структури ґрунту та подальшого його ущільнення». Дослідження вібраційної дії на сухі піски показали, що за певних значень вібрації сили частоти опору зсуву падають на 30–50 % завдяки зниженню сил, які утримують частки у рівновазі. Все це призводить до руйнування структури та переміщення частинок, які приймають більш стійке положення, тому що при збільшенні прискорення коливань до якоїсь межі значення коефіцієнта внутрішнього тертя ( $f_T$ ) різко зменшується і досягає деякого значення, що залежить від властивостей ґрунту (рис. 1.3) [11].

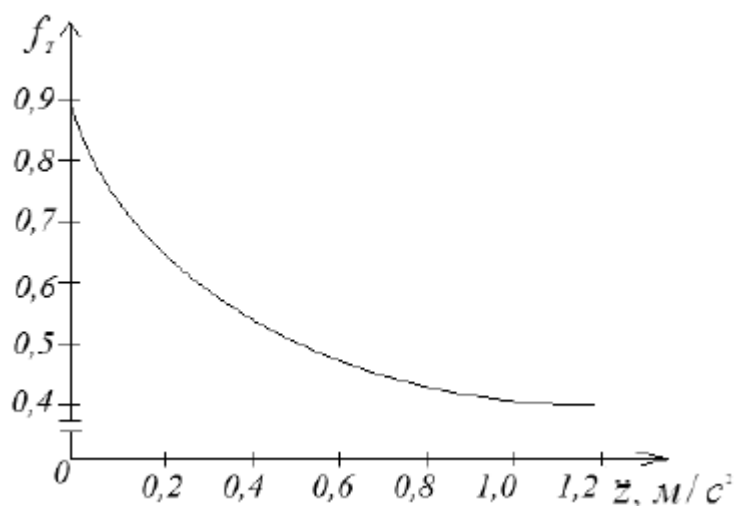


Рис. 1.3. Залежність коефіцієнта внутрішнього тертя ( $f_T$ ) від значення прискорення ( $\ddot{z}$ ).

При вібруванні з деяким прискоренням ґрунт постійно ущільнюється і досягає певного значення за щільністю, яка залежить від значення прискорення коливань і не завжди дорівнює максимальному значенню. Пористість ґрунту знижується зі збільшенням прискорення коливання і кожному вібродинамічному впливу відповідає своя гранична щільність, названа Д. Д. Барканом «порогом вібраційного ущільнення». «Найбільший вплив на міцність ґрунтів надають динамічні та статичні напруження, які визначаються для даного ґрунту амплітудою коливань та вагою привантаження. Зі збільшенням частоти вібрацій за інших рівних умов ґрунт може втратити стійкість при менших значеннях

вертикального динамічного та статичного тисків. Зі збільшенням амплітуди коливань залишкові деформації зростають: спочатку повільно, а потім дедалі швидше. При наближенні амплітуди коливань до деякого критичного значення опади різко зростають і міцність ґрунту порушується» [3].

Досліджуючи вплив вібрації на ущільнення ґрунтів різної вологості, Н. Я. Хархута зробив висновок, що сухі та повністю насичені водою піски ущільнюються більш інтенсивно, внаслідок меншої зв'язності та міцності структури [5].

Істотний вплив на зміну ґрунту при вібродинамічних впливах надає статичне навантаження. О. А. Савінов зазначає, що за відсутності статичного навантаження, ущільнення незв'язаного ґрунту починається при малих вібраціях. Поступове збільшення коливань призводить майже до повного ущільнення.

Ущільнення ґрунтів вібрацією відбувається лише тоді, коли ступінь їх щільності не більший за максимальний для даного стану, що є критерієм для оцінки його ущільнення:

$$D < D_0, \quad (1.5)$$

де  $D_0 = \frac{e_{max} - e_0}{e_{max} - e_{min}}$  – максимальна структурна щільність;

$e_{max}, e_{min}, e_0$  – коефіцієнти пористості, що відповідають максимальному ущільненню ґрунту, найбільш пухкому стану його та досліджуваного зразка до вібрації, відповідно.

Дослідження щодо впливу вібрації на зміну властивостей ґрунту проводилися з пісками у сухому, вологому та насиченому стані.

Л. С. Амарян проводив дослідження щодо визначення впливу вібрації на ущільнення торфу, результати показали, що ущільнення торфу залежить від часу вібрування, частоти, амплітуди коливань, навантаження (рис. 1.4), досліді проводилися за наступних параметрів коливань:  $p = 25$  кПа,  $A = 0,82$  мм,  $\omega = 125$  с<sup>-1</sup>.

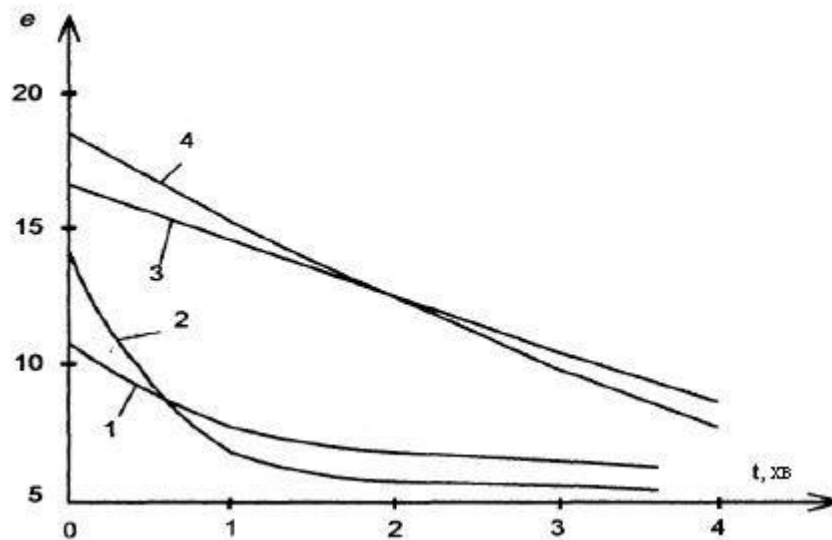


Рис. 1.4. Графік залежності коефіцієнта пористості ( $e$ ) від часу деформування ( $t$ ) за різної вологості торфу: 1 –  $W = 20\%$ ; 2 –  $W = 52\%$ ; 3 –  $W = 122\%$ ; 4 –  $W = 630\%$  [7]

З рис. 1.4 видно, що при малому вмісті води торфу ( $W = 20\%$ , крива 1) ущільнення протікає швидко і після 40 с практично припиняється, при  $W = 52\%$  (крива 2) час віброущільнення до граничної щільності зростає в 2 рази. Якщо в торфі є рухома вода, віброущільнення супроводжується відтисканням води з пор, що призводить до уповільнення процесу консолідації в часі (криві 3 і 4). При вологості  $W = 100-150\%$  процес віброущільнення припиняється протягом 30-60 с, а для вологонасиченого має тривалий характер - 5 хв і більше.

На рис. 1.5 представлена залежність коефіцієнта пористості від зовнішнього навантаження за різної вологості торфу. Вплив вібрації на процес ущільнення торфу проявляється інтенсивніше при малих тисках та високій вологості. Зі зростанням зовнішнього тиску ефект вібрування поступово знижується, вказуючи на появу в контактах частинках значних сил тертя, які перешкоджають вільному ковзанню фракцій, що вібруються [9].



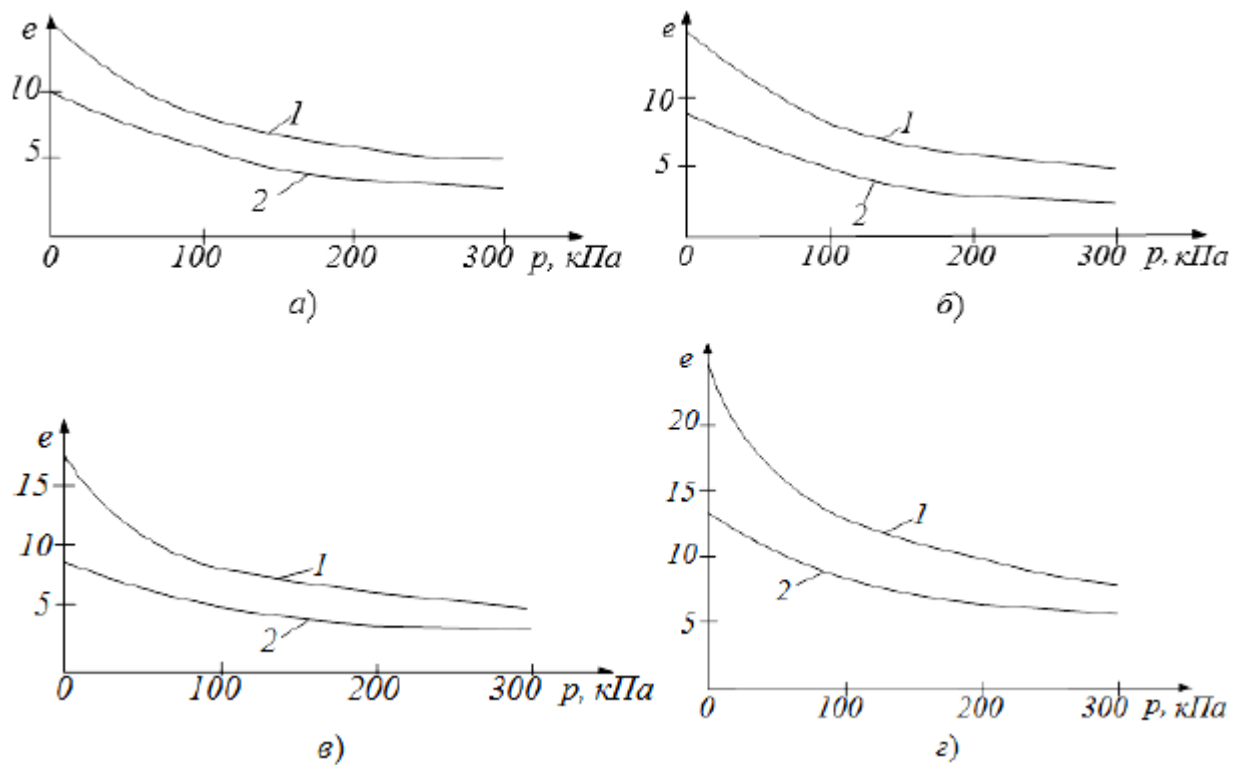


Рис. 1.5. Залежність коефіцієнта пористості ( $e$ ) від зовнішнього навантаження ( $p$ ) за різної вологості торфу  $W$ : а) –  $W = 20\%$ ; б) –  $W = 52\%$ ; в) –  $W = 122\%$ ; з) –  $W = 630\%$ ; 1 – без вібрації; 2 – з вібрацією [12].

При вивченні впливу амплітуди та частоти коливань на процес віброуцільнення торфу було встановлено, що зі збільшенням амплітуди від 0,16 до 10 мм щільність зростає дуже інтенсивно і досягає величини  $745 \text{ кг/м}^3$ , тобто найбільше ущільнення спостерігається при тиску 40-60 кПа, частоті 50-60 Гц та амплітуді коливань 10 мм.

Дослідження, проведені Д. Д. Баркан для фундаментів, показали, що власні частоти коливань системи маса-грунт розташовуються в діапазоні 5-25 Гц.

При впливі на ґрунт сільськогосподарських рушіїв також виникають власні коливання ґрунтів із частотою 1,4-1,6 Гц до глибини 0,8 м, у яких можливе різке їх ущільнення.

Для аналізу ущільнення ґрунтів від діючих вертикальних навантажень рушіїв було створено низку моделей ґрунтів: упруголінійні; моделі, що враховують демпфуючі властивості ґрунтів; нелінійнопружні та пружнопластичні. Упруголінійними моделями займалися Д. Д. Баркан, Н.

Lorentz, O. A. Савінов та ін. недеформований, ґрунт – невагомий, зв'язок між напруженням та деформацією ґрунту – лінійна, сили непружного опору ґрунту, які визначають згасання коливань, приймаються пропорційними першому ступені швидкості переміщень. Все поставлене завдання зводиться до завдання коливання твердого масивного тіла, яке спирається на невагомі пружини. Рівняння вертикальних коливань ( $z$ ) маси ( $m$ , кг) на ґрунті має вираз [6]:

$$\ddot{z} + 2n\dot{z} + \lambda_z^2 z = P_z(t) / m, \quad (1.6)$$

де  $D < D_0$ ,  $n$  – коефіцієнт загасання коливальної системи,  $c^{-1}$ ;

$\lambda_z$  – ґрутова частота власних вертикальних коливань,  $c^{-1}$ ;

$P_z(t)$  – обурювальна сила, Н.

При розгляді демпфуючих (в'язких) властивостей ґрунтів враховують, що в реальних умовах при коливаннях спостерігаються незворотні втрати енергії на подолання внутрішніх сил непружного опору, поширення пружних хвиль від джерела коливань і на пластичні деформації ґрунту і його зсув.

Для опису цих законів часто використовуються моделі Максвелла та Фойгта.

Д. І. Золоторевська у своїх працях зв'язок між напруженням ( $\sigma$ ) та відносною деформацією ( $\varepsilon$ ) ґрунту знаходить залежно від:

$$\sigma = qT \frac{d\varepsilon}{dt} - T \frac{d\sigma}{dt}, \quad (1.7)$$

де  $T$ ,  $q$  – механічні характеристики ґрунту, що залежать від щільності  $\rho$  та частоти обертання колеса  $\omega_k$ :

$$1/T = 3,14 + 0,9\omega_k - 1,6\rho; \quad q = 23,8\rho - 15,6;$$

$t$  – час, с.

А. Ю. Ішлінський також використовує рівняння Максвелла:

$$\sigma = \frac{1}{\nu} \frac{d\sigma}{dt} - \frac{K_{упр}}{\nu} \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (1.8)$$

де  $\nu$ ,  $K_{упр}$  – в'язкість ґрунту та коефіцієнт його пружності.

Н. Я. Хархута пропонує застосовувати модель Фойгта:

$$\sigma = \frac{\varepsilon}{[1/\nu + 1/\Pi_n + 1/(\eta_0 \chi) \ln(1 + 0,5 \chi t_1)]}, \quad (1.9)$$

де  $U$ ,  $P_n$  – модулі пружної та незворотної (незалежною від  $t$ ) деформацій,  
Па;

$\eta_0$  – коефіцієнт в'язкого опору на початку процесу, Па·с;

$t$  – час, с.

$\eta$  – коефіцієнт в'язкості, що залежить від часу, Па·с;

$\chi = (\eta - \eta_0) / (\eta_0 t)$ , с<sup>-1</sup>.

### **Висновки по розділу**

Аналізуючи залежності, необхідно зазначити, що дане рівняння відповідає моделі Максвелла з коефіцієнтами  $q$  і  $T$ , які залежать від щільності ґрунту та кутової швидкості кочення колеса та приймаються постійними при одному проході по ґрунті колеса з постійною швидкістю.

## РОЗДІЛ 2

### ВИБІР КОНСТРУКЦІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ, ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Параметри та конструкція експериментального лабораторного стенда з дослідження ущільнення ґрунту від діючих вертикальних вібродинамічних навантажень повинна вибиратися виходячи з вимог, що пред'являються методикою експерименту та критеріями подібності до процесів деформації ґрунту.

Критичний розмір  $l_0$  повинен перебувати в межах 20-100 мм залежно від типу ґрунту та величини навантаження, що прикладається.

Ю. А. Брянський та Є. Д. Каран вказують на можливість випробування натурального (оригінального) колеса і моделі на однакових ґрунтових поверхнях за умови  $K_1 < 4 \div 5$  тому що результати випробування моделі при дотриманні геометричної подібності шин дають в цих умовах хорошу кількісну збіжність з результатами випробування натурної машини. З цих міркувань, приймаємо колесо 4.50-9 [1].

Оскільки, на ущільнення ґрунту впливає не тільки зовнішній діаметр  $D$ , але й ширина профілю шини  $B_{ш}$ , як параметр лінійного розміру слід приймати вираз:

$$L_0 = \sqrt{D \cdot B_{ш}}, \quad (2.1)$$

Для дослідження ущільнення ґрунтів від вертикальних вібродинамічних навантажень пневмоколісних рушіїв, що діють, пропонується оригінальний лабораторний стенд (рис. 2.1).

Стенд містить: контейнер для ґрунту 5, що має можливість горизонтального переміщення, що складається з нерухомих бічних стінок, частина однієї з яких виконана з оргскла зі шкалою для визначення вертикального ущільнення ґрунту 4; вісь 3 з колесом 2. На осі 3 встановлено майданчик з вібратором 1.

При переміщенні контейнера 5, ґрунт, що знаходиться в ньому, впливає на колесо 2, перетворюючи поступальний рух ґрунту в обертальний рух колеса 2.

Привід контейнера 5 здійснюється від електродвигуна через черв'ячний редуктор 8 і зубчасто-рейкове зачеплення 7. Швидкість пересування контейнера 5 регулюється за рахунок зміни передавального відношення ланцюгової передачі 9.

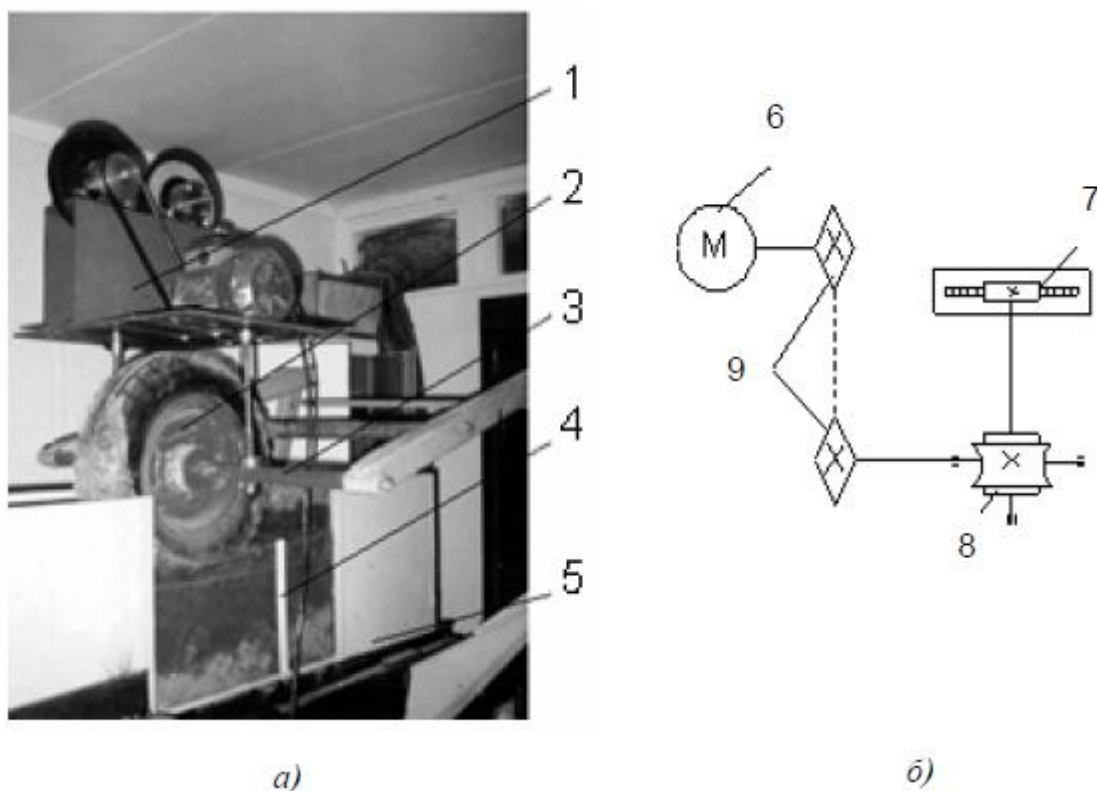


Рис. 2.1. Стенд для дослідження ущільнення ґрунтів від діючих вертикальних вібродинамічних навантажень пневмоколісних рушіїв: а) – загальний вигляд; б) – пр.ивід колеса: 1 – вібратор; 2 – колесо; 3 – вісь колеса; 4 – шкала визначення вертикального ущільнення ґрунту; 5 – контейнер для ґрунту; 6 – електродвигун; 7 – зубчасто-рейкове зачеплення; 8 – черв'ячний редуктор; 9 – ланцюгова передача.

Вертикальні вібродинамічні навантаження створюються за допомогою вібратора спрямованої дії (рис. 2.2), який встановлюється на майданчик 1. Два вали 2 з однаковими ексцентриками 5 обертаються в протилежних напрямках синхронно і синфазно, що забезпечується двома дисками 4, що являють собою

фрикційну передачу. Горизонтальні складові відцентрових сил кожного з ексцентриків у будь-якому положенні взаємно врівноважуються, а вертикальні складаються, даючи сумарну вертикальну спрямовану періодичну обурювальну силу.

Привід вібратора здійснюється від електродвигуна 7 через ремінну передачу 6, що має змінні шківів 3. Частота коливань залежить від кількості оборотів валу вібратора. Зміна оборотів валу вібратора здійснюється за допомогою змінних шківів 3 різного діаметра.

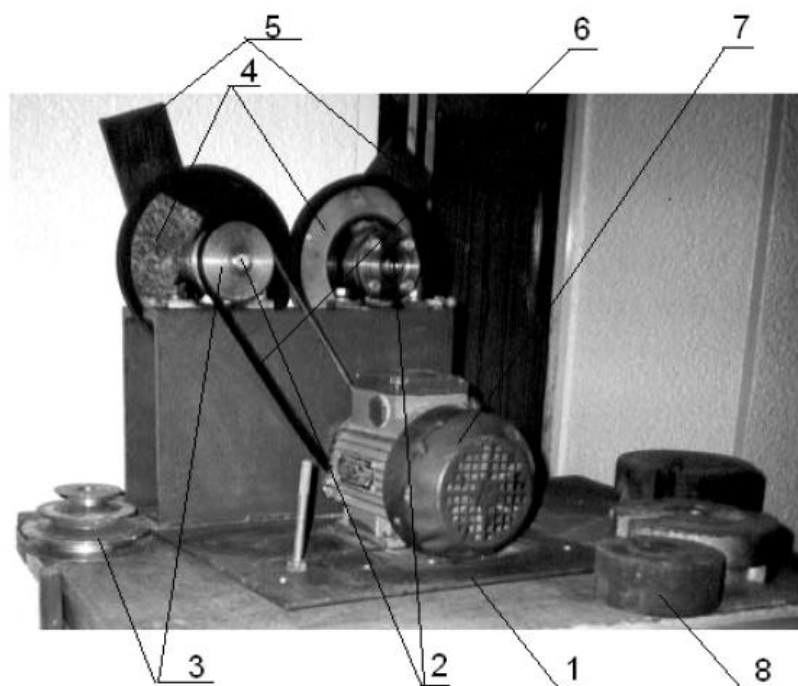


Рис. 2.2. Вібробудник спрямованих дій: 1 – майданчик; 2 – вали; 3 – змінні шківів; 4 – диски; 5 – ексцентрики; 6 – ремінна передача; 7 – електродвигун; 8 – змінні вантажі.

Навантаження на вісь колеса створюється за допомогою змінних вантажів 8, що встановлюються на майданчик 1 або вісь колеса.

На підставі планування повного центрального композиційного ротатабельного експерименту проведено дослідження на лабораторному стенді на дерново підзолистому супіщаному ґрунті при щільності  $\rho_n = 1126 \text{ кг/м}^3$  та вологості  $W = 12 \%$  ( $E_c = 700 \text{ кПа}$ ,  $\eta = 8,5 \text{ кПа}\cdot\text{с}$ ); у другому випадку до ґрунту

вносилася солома при дозі 2000 кг/га ( $\rho_n = 1090 \text{ кг/м}^3$ ,  $W = 10,8 \%$ ,  $E_c = 800 \text{ кПа}$ ,  $\eta = 7,5 \text{ кПа}\cdot\text{с}$ ).

Отримано нелінійні критеріальні рівняння, що пов'язують щільність ґрунту, навантаження на колесо, тиск повітря в шині, швидкість руху, частоту коливань та реологічні властивості ґрунту:

– для першого випадку:

$$\begin{aligned} \frac{\rho_k}{\rho_n} = & 3.0960 - 29,2267 \left(\frac{G}{E_c l^2}\right) - 9,4376 \left(\frac{p\omega}{E_c}\right) - \\ & -13,5640 \left(\frac{\eta V_k}{l E_c}\right) - 18,4907 \left(\frac{f\eta}{E_c}\right) + 423,5759 \left(\frac{G}{E_c l^2}\right)^2 + \\ & + 38,1194 \left(\frac{p\omega}{E_c}\right)^2 + 124,4404 \left(\frac{\eta V_k}{l E_c}\right)^2 + 190,2330 \left(\frac{f\eta}{E_c}\right)^2; \end{aligned} \quad (2.2)$$

– для другого випадку:

$$\begin{aligned} \frac{\rho_k}{\rho_n} = & 3.1188 - 32,9675 \left(\frac{G}{E_c l^2}\right) - 10,9273 \left(\frac{p\omega}{E_c}\right) - \\ & -18,6537 \left(\frac{\eta V_k}{l E_c}\right) - 23,8208 \left(\frac{f\eta}{E_c}\right) + 545,8198 \left(\frac{G}{E_c l^2}\right)^2 + \\ & + 49,3125 \left(\frac{p\omega}{E_c}\right)^2 + 207,0060 \left(\frac{\eta V_k}{l E_c}\right)^2 + 317,6103 \left(\frac{f\eta}{E_c}\right)^2; \end{aligned} \quad (2.3)$$

Адекватність рівнянь регресії результатам експерименту перевірялася за критерієм Фішера. Найменше ущільнення ґрунту в першому та у другому експериментах спостерігається тоді, коли всі критерії подібності знаходяться на основному (нульовому) рівні. Внесення післяжнивних залишків соломи веде до зменшення ущільнення ґрунту. Зниження внутрішньошинного тиску з 120 до 80 кПа дозволить зменшити ущільнюваність ґрунтів на 6-8 %.

У таблиці 2.1 наведено результати дослідів щодо визначення зміни основних властивостей ґрунту від статичного та ударного навантажень, проведені на приладі, що є лабораторним деформатором, що складається зі станини, штока, вантажу, підйомника вантажу, бойка та гільзи.

Статичний тиск, створюваний вантажем масою 10 кг на ґрунтовий зразок, склав 46,5 кПа, при ударному навантаженні цей же вантаж падав з висоти 100 мм. Статичний модуль пружності ґрунту склав  $E_c = 7 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , коефіцієнт в'язкості  $\eta = 8,5 \text{ кПа}\cdot\text{с}$ .

Таблиця 2.1 – Вплив кількості ущільнюючих впливів деформатора на властивості ґрунту.

Кількість впливів	Навантаження на зразок							
	Статична			Ударна				
	експ е- риме нт. щіль ність , кг/м <sup>3</sup>	повітропроникні сть	пористість (e), %	щільність, кг/м <sup>3</sup>		похиб ка, %	B	e, %
				експеримент	розрахунок			
$W_1 = 12 \%$								
0	1135	2461	62,3	1137	1137	-	2461	62,3
1	1383	1062	53,8	1438	1455	1,27	368	52,1
2	1419	656	52,6	1497	1497	0,77	229	50,1
3	1427	459	52,4	1528	1518	0,82	166	48,9
$W_2 = 17 \%$								
0	1143	1631	63,8	1143	1143	-	1631	63,8
1	1446	183	53,8	1577	1519	3,93	115	49,5
2	1532	129	51,0	1655	1624	2,11	66	47,0
3	1613	57	48,3	1693	1700	0,98	47	45,6
4	1691	45	45,8	1714	1793	3,97	37	44,7

У таблиці 2.2 показано зміну щільності ґрунту ( $\rho_n = 1126 \text{ кг/м}^3$ , вологість  $W = 12 \%$ , статичний модуль пружності  $E_c = 7 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , коефіцієнт в'язкості  $\eta = 8,5 \text{ кПа} \cdot \text{с}$ ) при деформуванні її колесом 4.5-9 (зовнішній діаметр  $D = 0,462 \text{ м}$ , ширина профілю шини  $B_{\text{ш}} = 0,130 \text{ м}$ ) в залежності від діючих вертикальних вібродинамічних навантажень, знайдене в процесі експерименту і розраховане за допомогою програми «Розрахунок щільності ґрунту від діючих вертикальних вібродинамічних навантажень пневмоколісних рушіїв».



Таблиця 2.2 – Зміна властивостей ґрунту від вертикальних вібродинамічних навантажень.

Навантаження на вісь колеса, [G], <i>H</i>	Тиск повітря в шині, [ $p_w$ ], кПа	Швидкість руху колеса, [ $V_k$ ], м/с	Частота коливань вібратора, [ $f$ ], Гц	Щільність ґрунту, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>			Щільність скелета ґрунту, $\rho_d$	Пористість ґрунту, $e$ , %	Повітропроникність ґрунту, [ $B$ ]
				експеримент	розрахун ок	похибка, %			
1200	80	0,8	4	1320	1312	0,7	1180	54,2	1080
1900	80	0,8	4	1332	1326	0,6	1190	53,3	358
1200	120	0,8	4	1410	1399	0,2	1260	51,1	240
1900	120	0,8	4	1416	1423	0,3	1274	50,4	219
1200	80	1,6	4	1299	1311	0,5	1167	54,6	1320
1900	80	1,6	4	1320	1325	0,5	1180	54,1	980
1200	120	1,6	4	1390	1399	1,3	1242	51,7	350
1900	120	1,6	4	1410	1422	0,9	1260	51,0	240
1200	80	0,8	6	1332	1371	3,1	1190	53,7	313
1900	80	0,8	6	1346	1392	3,5	1194	53,2	219
1200	120	0,8	6	1426	1499	5,6	1274	50,4	156
1900	120	0,8	6	1440	1526	6,1	1287	49,9	105
1200	80	1,3	6	1320	1370	3,9	1180	54,1	358
1900	80	1,3	6	1332	1392	4,6	1190	53,7	163
1200	120	1,3	6	1412	1499	6,7	1262	50,9	102
1900	120	1,3	6	1426	1525	7,1	1274	50,4	82
850	100	1,3	5	1352	1399	3,8	1198	53,0	358
2250	100	1,3	5	1384	1440	4,2	1237	51,9	198
1550	60	1,3	5	1280	1308	2,3	1144	55,5	1620
1550	140	1,3	5	1474	1555	5,5	1317	48,7	36
1550	100	0,9	5	1368	1420	3,9	1223	52,4	219
1550	100	1,9	5	1354	1418	4,9	1210	52,9	313
1550	100	1,3	3	1344	1292	4,2	1195	53,3	456
1550	100	1,3	7	1380	1433	4,0	1233	52,0	63
1550	100	1,3	5	1365	1420	4,2	1230	52,5	219

## **Висновки по розділу**

Аналіз таблиць 2.1 та 2.2 показує, що щільність ґрунту, визначена за допомогою формул та знайдена в процесі експерименту, відрізняється не більш ніж на 7 %.

Порівняно зі статичними вертикальні вібродинамічні навантаження більше ущільнюють ґрунт і порушують його структуру. Повітропроникність ґрунту, який є одним з головних факторів його біологічної активності, після одного ущільнюючого впливу при статичному навантаженні зменшилася більш ніж удвічі та у сім разів при ударному навантаженні (таблиця 2.1). Збільшення частоти коливань також веде до гострішого повітряного голодування ґрунту (таблиця 2.2).

## РОЗДІЛ 3

### ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ УЩІЛЬНЮЮЧОГО ВПЛИВУ РУШІЇВ НА ҐРУНТ

#### 3.1 Вибір параметрів пневмоколісних рушіїв з допустимим впливом на ґрунт

На рис. 3.1 показано послідовний вплив переущільнення ґрунту на його ерозію, параметри агроecosистеми та біосферу.



Рис. 3.1. Структурна схема впливу рушіїв на ґрунт та його наслідки

Тому при виборі параметрів пневмоколісних рушіїв з допустимим впливом на ґрунт необхідно, щоб їх максимальний тиск на ґрунт не перевищував допустимого, згідно з ГОСТ 26955–86 ( $q_{\max} \leq q_{\text{доп}}$ ), і щільність ґрунту після проходу рушіїв не перевищувала оптимальної ( $\rho_k \leq \rho_{\text{опт}}$ ).

Для цих цілей складено програму «Розрахунок щільності ґрунту від діючих вертикальних вібродинамічних навантажень пневмоколісних рушіїв», алгоритм (блок-схема) якої представлений на рис. 3.2.

Розглянемо, як відбувається процес вибору параметрів пневмоколісних рушіїв. Після введення фізичних, фізико-механічних та реологічних властивостей ґрунту, а також параметрів коливальної системи пневмоколісних рушіїв спочатку розраховується прискорення коливань осі колеса ( $\xi$ ) пневмоколісного рушія. Знаючи значення  $\xi$  знаходимо величину вертикального вібродинамічного навантаження на вісь колеса та максимальний тиск рушія на ґрунт  $q_{\max}$ . Якщо розрахунковий тиск  $q_{\max}$  перевищує  $q_{\text{доп}}$  заданий ГОСТ 26955-86, то спочатку зменшується швидкість руху трактора  $V_k$ , потім тиск повітря в шинах  $p_w$ . На введенні коригуються параметри коливальної системи трактора (жорсткісні та демпфуючі характеристики шин і підвіски за її наявності) доти, доки не будуть дотримуватися умови  $q_{\max} \leq q_{\text{доп}}$  і  $\rho_k \leq \rho_{\text{опт}}$ .

### **3.2 Заходи щодо зниження ущільнення ґрунтів від діючих навантажень сільськогосподарської техніки**

Заходи щодо зниження ущільнення ґрунтів можна розділити на [15]:

- Організаційно-технологічні заходи;
- Агротехнічні прийоми;
- Конструктивні.

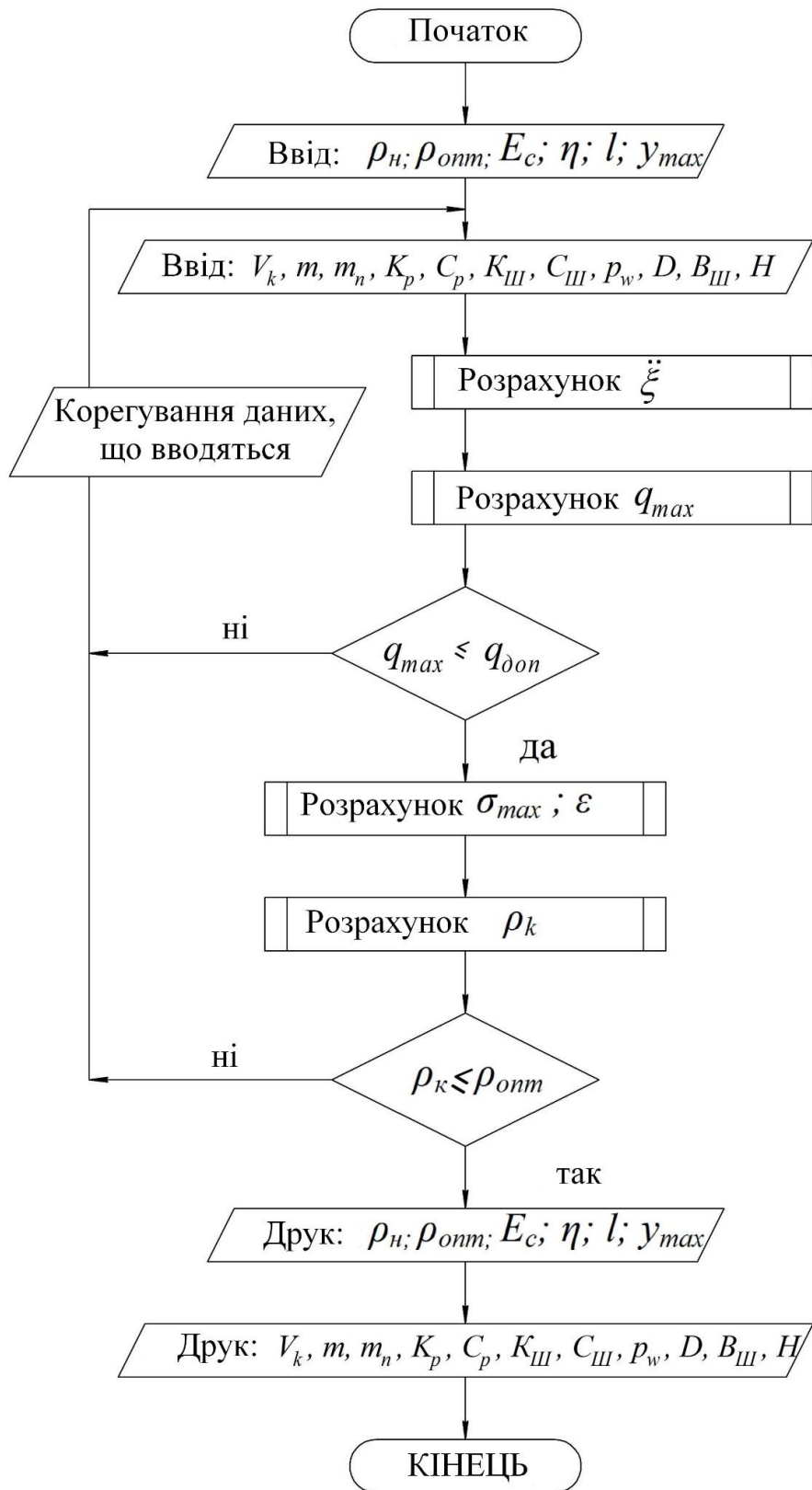


Рис. 3.2. Алгоритм вибору параметрів пневмоколісних рушіїв з допустимим впливом на ґрунт [15].

Організаційно-технологічні заходи передбачають розробку та впровадження технологій обробітку сільськогосподарських культур з

мінімальними проходами по полях важкої техніки (застосування широкозахватних агрегатів, використання агрегатів з робочими органами-рушіями, вибір способів руху з мінімальною площею ущільнення, впровадження мостового землеробства) [15].

Агротехнічні прийоми щодо підвищення стійкості ґрунтів до ущільнення та їх розущільнення сприяють підвищенню врожайності культур, зменшенню енергетичних та трудових витрат завдяки суміщенню операцій в одній машині та застосуванню пестицидів. Така система називається мінімальною обробкою ґрунту та розвивається у трьох напрямках [15]:

- заміна традиційного глибокого обробітку ґрунту поверхневим;
- часткова або повна заміна деяких видів механічної обробки внесенням гербіцидів для знищення бур'янів;
- поєднання кількох технологічних операцій в один процес (застосування комбінованих ґрунтообробних та посівних агрегатів або машин з комбінованими робочими органами).

Метою конструктивних заходів є вдосконалення комбінованих ґрунтообробних агрегатів та ходових систем, тиск на ґрунт яких має відповідати ГОСТ 26955–86. Для зменшення контактних тисків можна застосовувати колеса зі здвоєними шинами, широкопрофільні, абочні та флотаційні шини, а також використовувати колеса низького тиску та підвищеного демпфування [15].

На рис. 3.3 представлений комбінований агрегат для протиерозійної обробки ґрунту, використання якого дозволить знизити знос плоскорізальних вузькозахоплювальних лап, зменшити витрату палива, покращити агрофізичний стан ґрунту, зберегти його родючість, внаслідок зміни глибини ходу вузькозахоплювальних лап залежно від питомого опору ґрунту [15].

Агрегат для протиерозійної обробки ґрунту включає навіску 1, опорні колеса 10 з регульовальними гвинтами 2, несучу систему 3, на якій за схемою послідовного розташування встановлені змінні робочі органи: дискові батареї 9, плоскорізальні вузькозахватні лапи 8, закріплені за допомогою шарнірів 4

регульовані на певну глибину обробки ґрунту жорсткістю пружин 5, штангово-зубчастий каток 7, барабан-вирівнювач 6 [15].

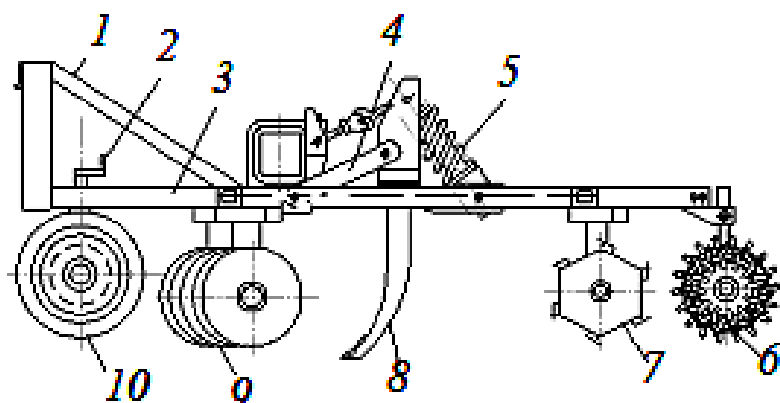


Рис. 3.3. Комбінований агрегат для протиерозійної обробки ґрунту: 1 – навіска; 2 – регулювальний гвинт; 3 – несуча система; 4 – паралелограмний механізм; 5 – пружина; 6 – барабан-вирівнювач; 7 – штангово-зубчастий каток; 8 – плоскорізальні вузькозахватні лапи; 9 – дискові батареї; 10 – опорні колеса.

Пристрій працює в такий спосіб.

Агрегат навішується на трактор за допомогою навіски 1. Глибина обробки ґрунту змінюється висотою розташування опорних коліс 10 щодо несучої системи 3 за допомогою регулювальних гвинтів 2. Плоскоріжучі вузькозахватні лапи 8 закріплені на несучій системі 3 не жорстко, а через шарнірно з'єднані ланки, утворюючи при цьому паралелограмний механізм 4, таким чином вони можуть переміщатися у вертикальній площині. Геометричні особливості форм лап 8 виконані таким чином, що вони прагнуть максимально заглибитись у ґрунт. Обмежує заглиблення сила, що створюється жорсткістю пружин 5.

Від щільності ґрунту залежить питомий опір його обробці. При зменшенні щільності ґрунту питомий опір обробки зменшується і за рахунок того, що сила, що діє на плоскорізальну вузькозахватну лапу 8, не може стиснути пружину 5 обробка ведеться на меншій глибині. Зі збільшенням щільності ґрунту питомий опір обробки збільшується, пружини 5 стискаються і плоскорізальні вузькозахватні лапи 8 обробляють її на велику глибину [15].

## **Висновки по розділу**

В результаті глибоке розпушування ведеться лише на ділянках ґрунту із підвищеною щільністю [15]. Це веде до зменшення зносу плоскорізальних вузькозахоплювальних лап, зниження витрати палива, поліпшення агрофізичного стану ґрунту та збереження його родючості внаслідок зміни глибини ходу вузькозахоплювальних лап залежно від питомого опору ґрунту.



## ВИСНОВКИ

В даний час зберігається тенденція до підвищення питомої енергонасиченості машинно-тракторних агрегатів (МТА), відбувається ускладнення машин та їх функціональних можливостей, що призводить до збільшення кількості їх вузлів та маси, необхідної для розвитку необхідного тягового зусилля. За останні десятиліття відзначається збільшення маси тракторів та сільськогосподарських машин на 200% та 60% відповідно.

Підвищення швидкості руху, переїзд енергозасобів поперек борозен поля, що періодично повторюються, які мають хвилеподібний профіль, призводить до збільшення амплітуд коливань, прискорень різних точок МТА і вертикальних вібродинамічних навантажень, що діють на них з боку опорної поверхні, які передаються через рушії на ґрунт.

Низькочастотні випадкові коливання агрегату призводять до того, що вертикальне вібродинамічне навантаження на вісь колеса зростає в 2-2,7 рази в порівнянні з відповідним статичним. При цьому навантаження зростає з великими прискореннями, що досягають 0,1-0,4 g. Збільшені вертикальні вібродинамічні навантаження призводять до додаткового зсуву, перепакування частинок, руйнують структуру ґрунту, збільшують його щільність і кількість пилоподібних фракцій, а, зрештою, все це веде до повітряно-водного голодування рослин. Внаслідок впливу рушіїв МТА відбувається ущільнююча деформація ґрунту, глибина якого варіюється від 0,2-0,3 до 1 м залежно від типу ґрунтів та навантажень, що прикладаються. При багаторазовому впливі на ґрунт іде накопичення ущільнення як і в орному, і в підорному горизонтах.

В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що внесення післяжнивних залишків соломи веде до зменшення ущільнення ґрунту. Зниження внутрішньошинного тиску зі 120 до 80 кПа дозволить зменшити ущільнюваність ґрунтів на 6-8 %.

Для реалізації зниження ущільнення ґрунтів від діючих вібродинамічних навантажень запропоновано алгоритм вибору параметрів пневмоколісних рушіїв з допустимим впливом на ґрунт, які відповідають вимогам ДСТУ.

Розглядається моделювання систем машин з урахуванням екологічної безпеки агроландшафтів. Показано, що система машин характеризується циклами та періодами життя, які залежать від багатьох факторів, у тому числі і від фізичного стану середовища взаємодії. Подано вплив параметрів машин на поведінку агроєкосистем.

В основі створення системи машин необхідно враховувати їх взаємодію із середовищем. З одного боку, середовище та його стан впливають на роботу машини, з іншого – машини впливають на зміну фізичного стану середовища.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрійчук В. Г. Економіка аграрних підприємств. Київ: КНЕУ, 2002.
2. Балаєв А. Д., Тонха О. Л. Збереження і відновлення родючості чорноземів України у сучасному землеробстві. Охорона ґрунтів. 2014. № 1.
3. Богданович Р. П., Олійник В. С. Вплив використання нетоварної продукції рослинництва на коефіцієнти та характер біологізації землеробства в умовах Правобережного Лісостепу України. Sworld. 17–28 June 2014.
4. Балюк С. А., Демидов О. А. Застосування соломи і пожнивних решток як органічних добрив для поліпшення гумусового стану ґрунтів. Харків: КП «Міська друкарня», 2012.
5. Бегей С. В. Екологічне землеробство : підручник / С. В. Бегей, І. А. Шувар. Львів : Новий Світ-2000, 2007.
6. Биоглобин – новейшее достижение в технологии выращивания сельскохозяйственных культур. Аграрник, НИФ «Медбиоком». 2012. № 5.
7. Біодеструктори стерні – запорука родючості ґрунтів. Рекомендації «БТУ Центр», 2014.
8. Біологізація землеробства в Україні: реалії та перспективи : монографія / В. В. Іванишин, М. В. Роїк, І. А. Шувар, Л. В. Центилю, В. М. Сендецький, О. М. Бунчак, Н. М. Колісник та ін. Івано-Франківськ : Симфонія форте, 2016.
9. Вітвіцький С. В. Гуміфікація рослинних решток і гною в чорноземах Лісостепу та Степу України. Київ : Урожай, 2016.
10. Волкогон В. В. Біологічний стан і родючість ґрунтів України. Посібник українського хлібороба, 2010.
11. Господаренко Г. М., Трус О. М., Прокопчук І. В. Умови збереження вмісту гумусу в ґрунті польової сівозміни. Біологічні системи. 2012.
12. Городній М. М., Бикін А. В., Нечаєвська П. М. Агрохімія : підручник. Київ : ТОВ «Альфа», 2003.

13. Греков В. О., Дацько Л. В. Охорона і відтворення родючості ґрунтів у зональних агроекосистемах. Агроекологічний журнал. 2009. № 1.

14. Дегодюк Е. Г. Сучасний стан земельних ресурсів України і шляхи відновлення земле- і природокористування. Стан земельних ресурсів України: проблеми, шляхи вирішення. Київ, 2001.

15. Савченко В. М., Мацюк І.В. Заходи щодо зниження ущільнення ґрунтів від діючих навантажень сільськогосподарської техніки. Збірник тез доповідей XXII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки". 16–18 жовтня 2021 року. МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Ніжинський агротехнічний інститут». Київ. Ніжин. 2021. С. 211-213.