

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Навчально-науковий механічний інститут
Кафедра будівельних, дорожніх та меліоративних машин



02-01-612М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Наукові основи створення землерийно - ярусних машин»
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за
освітньо-професійною програмою «Інжиніринг машин та
обладнання» спеціальності G11 «Машинобудування»
денної та заочної форми навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості ННМІ
Протокол № 5 від 18.12.2025 р.

Рівне – 2026

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни **«Наукові основи створення землерийно - ярусних машин»** для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг машин та обладнання» спеціальності G11 «Машинобудування» денної та заочної форми навчання [Електронне видання] / Кравець С. В., Холоденко В. А. – Рівне : НУВГП, 2026. – 50 с.

Укладачі: Кравець С. В., д.т.н., професор, заслужений діяч науки і техніки України, професор кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин; Холоденко В. А., старший викладач кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин.

Відповідальний за випуск: Тхорук Є. І., к.т.н., професор, в.о. завідувача кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин.

Керівник групи забезпечення спеціальності: Нечидюк А. А., к.т.н., доцент, доцент кафедри будівельних, дорожніх та меліоративних машин.

Попередня версія МВ: 02-01-572М

© С. В. Кравець,
В. А. Холоденко, 2026
© НУВГП, 2026

Зміст

	ст.
Вступ.....	4
I.Опис обладнання, методики проведення та обробки експериментальних даних при виконанні лабораторних робіт:	
1.Будова і робота ґрунтового каналу та тензометричного візка.....	5
2. Будова та робота електронного динамометра	6
3.Схема вимірювань, методика проведення та обробки експериментальних даних	8
II. Лабораторні роботи:	
Лабораторна робота №1 «Вивчення фізичної суті руйнування ґрунту одноярусним (традиційним) ножом та визначення його енергоємності».....	11
Лабораторна робота №2 «Вивчення фізичної суті руйнування ґрунту ножом, що адаптований для процесу глибокого різання та визначення його енергоємності»	18
Лабораторна робота №3 «Вивчення фізичної суті руйнування ґрунту двоярусним ножом та визначення його енергоємності».....	24
Лабораторна робота №4 «Вивчення фізичної суті руйнування ґрунту багатоярусним ножом безвідвальної конструкції та визначення його енергоємності»	31
Лабораторна робота №5 «Вивчення фізичної суті руйнування ґрунту багатоярусним відвальним робочим органом та визначення його енергоємності»	39
Лабораторна робота №6 «Визначення і порівняння сили та енергоємності блокованого та комбінованого різання ґрунту ..	44
Список рекомендованої літератури	49

Вступ

Прокладка трубопроводів, кабелів і ліній зв'язку за останні роки перетворилася в одну з найважливіших областей будівництва, забезпечуючи зростаючі потреби промисловості, сільського господарства і в цілому народногосподарського комплексу.

Прокладання підземних розподільних трубопроводів на відкритій місцевості здійснюється на глибину до 1,0...1,2 м (газопроводів) або до 1,5...1,6 м (водопроводів) траншейним (вузькотраншейним) або безтраншейним способами. Аналіз цих технологічних процесів і практика їх використання показали, що найбільш перспективним для підземного прокладання пластмасових трубопроводів діаметром до 225 мм є безтраншейний спосіб.

Майбутньому фахівцеві в галузі машинобудування необхідні глибокі знання з проектування і випуску конкурентоспроможної продукції машинобудування: машин та обладнання для прокладання підземних інженерних комунікацій різного призначення (газо- і водопроводи низького тиску, оптико-волоконні та інші лінії зв'язку, термо- і гідромеліоративні системи, енергосилові лінії, протиерозійні системи та інші комунікації) із використанням сучасних поліетиленових матеріалів.

Метою даних методичних вказівок до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Наукові основи створення землерийно-ярусних машин» є закріплення знань, що отримані при вивченні теоретичного матеріалу; вироблення навичок аналізу інженерних ситуацій, що дасть можливість майбутнім фахівцям створювати і застосовувати машини та обладнання, які дозволяють найбільш ефективно прокладати підземні комунікації без проведення рекультиваційних робіт.

Методичні вказівки написані на основі методичних вказівок 02-01-354 [1] з урахуванням модернізації системи вимірювань зусиль на ґрунтовому каналі.

І.Опис обладнання, методики проведення та обробки експериментальних даних при виконанні лабораторних робіт:

1. Будова і робота ґрунтового каналу та тензометричного візка

Ґрунтовий канал призначений для експериментального дослідження робочих органів машин і обладнання: для визначення зусиль, що діють на окремі вузли і деталі машини; тягового опору, що виникає при переміщенні робочих органів машин; дослідження взаємодії моделей робочих органів з ґрунтом.

Ґрунтовий канал являє собою бетонний лоток з розмірами $10 \times 1,8 \times 1,5$ м, заповнений піщано-глинистою сумішшю, склад якої можна змінювати. Над каналом по рейках пересувається динамометрично-тензометричний візок 11, який являє собою зварну конструкцію, що спирається на чотири колеса 10 з ребордами (рис. 1). Для пересування динамометрично-тензометричного візка спроектований привід, який забезпечує необхідне тягове зусилля, широкий діапазон швидкостей пересування візка та плавність його ходу. В якості силового обладнання прийнято електродвигун трьох фазного струму 3, трансмісія 1, 2, 4 трактора ДТ-75Б і барабан будівельної лебідки 20.

Обертний момент від двигуна 3 за допомогою ланцюгової передачі 5 передається на вхідний вал ходозменшувача 4 і далі на коробку зміни передач 2. Для збільшення передаточного числа і полегшення керування переміщенням візка використаний задній міст 1 трактора ДТ-75Б, який складається з головної передачі, бортового фрикціону і бортового редуктора. На вихідному валу правого бортового редуктора встановлена ведуча зірочка ланцюгової передачі 21, що служить для передачі обертового моменту на вал барабана 20. Ходозменшувач разом із коробкою зміни передач дозволяє змінити швидкість пересування візка в широких межах від 0,01–3 м/хв. Механізм пересування візка канатноблочний. Канат 20 канатноблочного механізму одним кінцем закріплюється до

ручної лебідки 6, проходить через направляючі блоки візка 9 і 18, виходить на барабан 20 з якого на обертовий блок 16, до якого закріплено механічний динамометр другого класу точності (ДПУ-2-2) 15 і далі, знову на направляючі блоки візка 17, 12. Другим кінцем канат кріпиться до нерухомої опори 13. Візок зварної конструкції 11 опирається на чотири котки 10 з ребордами і рухається вздовж каналу 8. Така конструкція дозволяє уникнути перекосу візка при русі вздовж каналу.

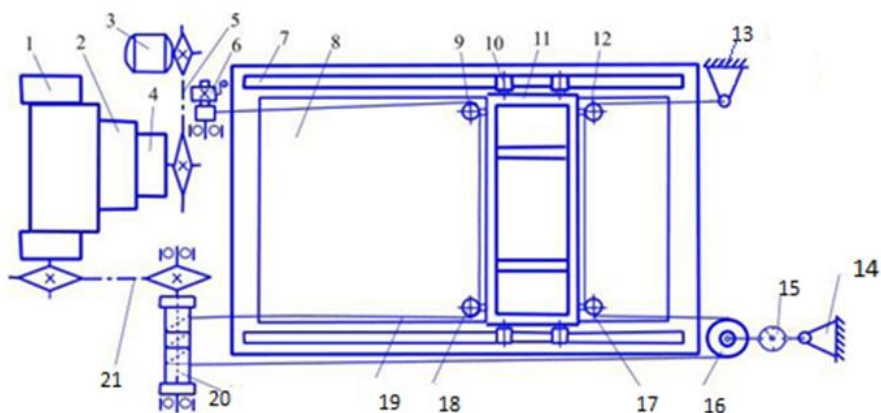


Рисунок 1 - Кінематична схема приводу динамометрично-тензометричного візка: 1 – задній міст трактора; 2 – КПП; 3 – електродвигун; 4 – ходозменшувач; 5, 21 – ланцюгові передачі; 6 – лебідка попереднього натягування канату; 7 – рейкова колія; 8 – ґрунтовий канал; 9, 12, 16, 17, 18 – направляючі блоки; 10 – ходові котки; 11 – візок; 15 – механічний динамометр; 13, 14 – нерухома опора; 19 – тяговий канат; 20 – барабан.

2. Будова та робота електронного динамометра

Принцип дії динамометра заснований на перетворенні сили натягування в електричний сигнал, який обробляється електронним блоком, з ціллю відображення на цифровому індикаторі сили тяги.

У силовому індикаторі (рис. 2) вимірюється сигнал з тензоперетворювачів і обчислюється сила тяги. Динамометр має цифрову індикацію сили (табло індикації) і світлодіодну

індикацію режимів роботи (додаткові індикатори «НУЛЯ» і «ТАРИ»). Керування відбувається через кнопочну клавіатуру. Всією роботою електронного динамометра керує мікропроцесор по програмі, яка записана в постійно запам'ятовуючому пристрої (ПЗП). Налаштування зберігаються в ПЗП, що перепрограмується. Живлення силового індикатора здійснюється через мережеву вилку. Границя допустимої похибки приладу $\pm 5 \dots 10$ Н.

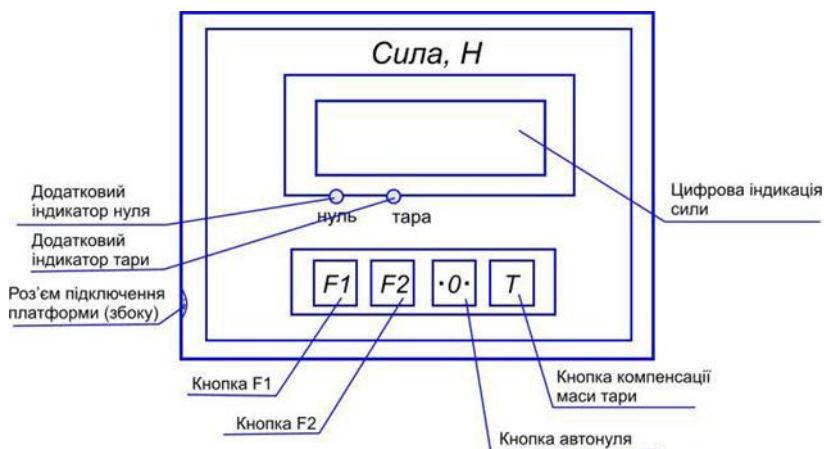


Рисунок 2 - Силовий індикатор (електронний динамометр)

Призначення кнопок силового індикатору:

- F1** - прямиий доступ до режиму додавання сили в пам'ять динамометра;
- F2** - прямиий доступ до штучного режиму роботи;
- .0.** - кнопка обнулення у випадку дрейфу при ненатягнутому тросі;
- T** - кнопка компенсації сили тяги.

3. Схема вимірювань, методика проведення та обробки експериментальних даних

Схема вимірювань показана на рис. 3.

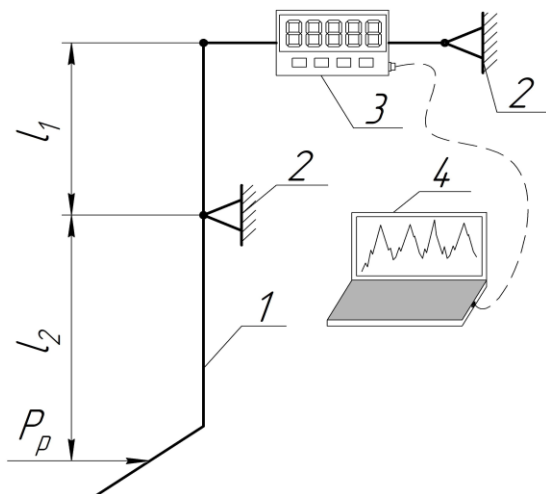


Рисунок 3 - Схема вимірювань зусиль : 1 – землерийний робочий орган (двоплечий важіль); 2 – рама тензометричного візка; 3 – електронний динамометр; 4– ноутбук; l_1 , l_2 – плечі двоплечого важеля

Для забезпечення заданої точності однофакторних експериментів повторність дослідів визначається за методикою [2]

$$n \geq \frac{Z^2 V^2}{\varepsilon^2}; \quad (1)$$

де: V – коефіцієнт варіації сили руйнування ґрунту землерийним робочим органом; ε – відносна помилка середньої арифметичної величини, що заміряється (задається в межах $\varepsilon = 0,05 \dots 0,1$ – для лабораторних досліджень); Z – функція, яка характеризує ймовірність попадання середньо максимального значення сили руйнування в заданий довірчий інтервал (коефіцієнт Стюдента) визначається по таблицях

значень інтеграла ймовірності відповідно із заданою надійністю [3] або (табл. 1).

Таблиця 1

Значення коефіцієнта Стюдента

Повторність дослідів у попередніх експериментах	Довірча ймовірність				
	0,50	0,90	0,95	0,98	0,99
2	1,00	6,31	12,71	81,82	63,66
3	0,82	2,92	4,3	6,96	9,92
4	0,77	2,35	3,18	4,54	5,84
5	0,74	2,13	2,78	3,75	4,60
6	0,73	2,01	2,57	3,65	4,03
7	0,72	1,94	2,45	3,14	3,71
8	0,71	1,90	2,36	2,97	3,50
9	0,71	1,86	2,31	2,90	3,36
10	0,70	1,84	2,26	2,76	3,25
15	0,69	1,76	2,14	2,60	2,98
20	0,69	1,73	2,09	2,53	2,86
30	0,68	1,70	2,04	2,46	2,76
60	0,68	1,67	2,00	2,39	2,66
120	0,68	1,66	1,98	2,36	2,62
∞	0,67	1,65	1,96	2,33	2,58

Для дослідів, як правило, приймається, що дійсні значення досліджень не виходять за межі довірчого інтервалу з ймовірністю не менше 0,95.

Тоді повторюваність дослідів при відомій (заданій) похибці вимірювального каналу визначається коефіцієнтом варіації V , який визначається у попередніх дослідях наступним чином:

- заміряється електронним динамометром значення сили P_e у вигляді комп'ютерної діаграми (рис.4);



Рисунок 4 - Силова комп'ютерна діаграма

- визначаються значення $P_{e max1}$, $P_{e max2}$, $P_{e max3}$ і т. д.;
- визначають реальне значення сили різання

$$P_{p max} = P_{e max} \frac{l_1}{l_2}; \quad (2)$$

- визначають середньо-максимальне значення зусилля руйнування ґрунту

$$P_{сер.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_c \frac{l_1}{l_2}; \quad (3)$$

де: n – число обрахованих точок максимальних зусиль на комп'ютерній діаграмі; P_c – числові значення цих зусиль; l_1, l_2 – плечі діючих зусиль (див. рис.3)

- визначають середньоквадратичну помилку(стандарт вимірювань)

$$\sigma \approx s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(P_e \frac{l_1}{l_2} - P_{сер} \right)^2}; \quad (4)$$

Середньоквадратичною помилкою σ називають границю до якої прямує величина S при збільшенні числа вимірювань до безкінечності, тобто при $n \rightarrow \infty$;

- визначають коефіцієнт варіації V як відношення стандарту до середньо максимального значення

$$V = \frac{S}{P_{сер.}}; \quad (5)$$

- визначають необхідну кількість точок максимальних зусиль, які необхідно опрацювати на діаграмі (повторність дослідів)

$$n \geq \frac{Z^2 V^2}{\varepsilon^2}; \quad (6)$$

Для переходу від повторюваності дослідів по визначенню сили різання ножами до довжини шляху різання необхідно використати формули [2]:

- для різання у верхньому ярусі

$$L_{p1} \geq 0,8nh_{p1}; \quad (7)$$

- для різання у нижньому (другому) ярусі

$$L_{p2} \geq 0,5nh_{p2}; \quad (8)$$

де: h_{p1} , h_{p2} – глибина різання відповідно у верхньому і нижньому ярусах.

Енергоємність руйнування ґрунту визначається як відношення роботи, виконаної на одиниці шляху, до об'єму зруйнованого ґрунту на цьому шляху.

$$E = \frac{P_{сер.} \cdot 1м.}{F_{np.} \cdot 1м.}, \frac{дж}{м^3}; \quad (9)$$

де: $F_{np.}$ – середня площа поперечного перерізу прорізи.

Лабораторна робота №1

Тема: Вивчення фізичної суті руйнування ґрунту одноярусним (традиційним) ножем та визначення його енергоємності

Мета роботи: Ознайомитися з фізичною суттю руйнування ґрунтового середовища одноярусним (традиційним) ножем та визначити енергоємність процесу відповідно до методики розрахунку, яка представлена залежностями (2...9).

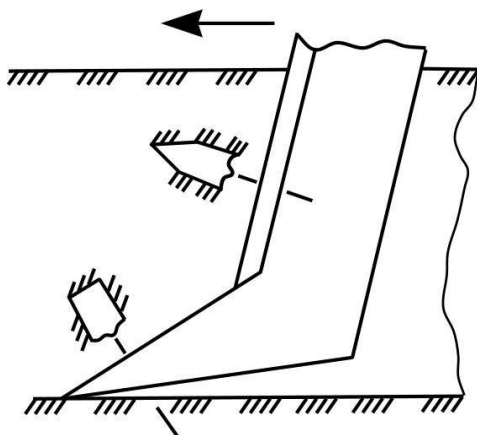
1.1. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є фізична модель пасивного землерийного робочого органу безтраншейного укладача традиційної конструкції. Схема фізичної моделі робочого органу безтраншейного укладача та його загальний вигляд показано на (рис.1.1.) Параметри фізичної моделі досліджуваного робочого органу наведені в технічній характеристиці (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Технічна характеристика фізичної моделі землерийного робочого органу безтраншейного укладача традиційної конструкції

№ з/п	Назва параметрів	Одиниці вимірювання	Значення
1	Кут різання	град	30
2	Ширина ножа	мм	20
3	Глибина різання	мм	150



а)



б)

Рисунок 1.1 - Схема фізичної моделі пасивного землерийного робочого органу безтраншейного укладача традиційної конструкції (а), його загальний вигляд (б).

1.2. Загальні відомості

Розглядаючи принцип дії пасивних землерийних робочих органів (ЗРО) безтраншейних укладачів традиційної конструкції (з суцільною різальною частиною по глибині і ширині захвату) можна відмітити, що всі вони здійснюють, так званий, *процес глибокої розробки ґрунтів, коли глибина в 2...3 і більше раз перевищує ширину різання*. Цей процес характеризується критичною глибиною різання, просторовою взаємодією робочого інструменту з середовищем, утворенням ядер ущільнення, законами розподілу нормального тиску середовища на робочий інструмент і перехідною зоною стружкоутворення. А тому одним із шляхів вдосконалення пасивних ЗРО безтраншейних укладачів є оптимізація їх форми і параметрів на основі вивчення і врахування фізичної суті процесу глибокої розробки ґрунтів. Розкриємо більш детально основні поняття цього процесу.

Вперше, ввів поняття і дослідив критичну глибину різання німецький вчений Е. Дінглінгер. Він встановив, що ґрунтове тіло, яке відокремлюється від піщаного масиву ножем збільшується тільки до деякої глибини різання, яка називається критичною. При подальшому заглибленні ножа об'єм тіла сколювання не змінюється. Нижче критичної глибини ґрунт внаслідок пористості і стисливості витісняється ножем у стінки і дно щілини.

Просторову взаємодію ножа з ґрунтом більш детально описав німецький вчений І. Рат'є. Дослідник встановив, що в піску перед лобовою гранню вертикального ножа утворюється ґрунтове тіло сколювання у вигляді центральної трикутної призми і двох симетричних по боках конічних секторів. Аналогічна форма стружки прийнята для ножа з позитивним кутом різання при розробці зв'язних ґрунтів. У подальшому ця форма елемента стружки конкретизована Ю.О. Ветровим для сталого режиму різання з урахуванням типу і вологості ґрунту. В інших працях запропонована більш проста модель елемента стружки у вигляді центральної трикутної призми і двох бічних частин зрізаного конуса. Така модель успішно застосовується для опису стружкоутворення в мерзлих і міцних ґрунтах. У

процесі руху в талому ґрунті деформаторів не оптимальної форми їх профілі доповнюються ядрами ущільнення до оптимальних [4].

ґрунтові ядра ущільнення найчастіше утворюються на лобових гранях і кромках. У залежності від того, в якій площині профільний чи горизонтальний відносно робочого органу розміщені ядра ущільнення, їх можна розділити на повздовжні і поперечні. Крім того, вони можуть бути періодичні і постійні. Останні приводять до збільшення опору переміщення ЗРО за рахунок заміни сил тертя ґрунту по сталі ґрунтом по ґрунту.

Періодичні ядра ущільнення виникають, як правило, на лобових гранях ЗРО з кутом різання $\alpha_p < 90^\circ - \varphi$, де φ - кут зовнішнього тертя ґрунту, які розміщені на докритичних глибинах, направлені вершиною в напрямку руху і утворюються в проміжках часу між сколюванням чергового елемента стружки. Цим пояснюється, що поверхня руйнування утворюється не від різальної кромки, а вище неї, від вершини ґрунтового ядра. Після сколювання елемента стружки ядро ущільнення зміщується відносно лемеша. Якщо лобова грань нахилена до горизонту під кутом $\alpha_p \geq 90^\circ - \varphi$, то періодичне ядро ущільнення перетворюється в постійне і не рухається відносно неї, а виконує функцію лемеша.

Встановлено, що критична глибина різання залежить від типу і фізико-механічних властивостей ґрунтів, а також від геометричних параметрів ножа – ширини і кута різання. Чим менший кут різання і більша ширина ножа тим більша критична глибина різання [4]. Критична глибина є границею рівноваги сил зсуву ґрунту у всіх напрямках. Вище цієї границі ґрунт руйнується, відділяється від масиву і переміщається в сторону денної поверхні за рахунок деформацій відриву і зсуву (докритична зона). На робочій поверхні ножа, яка знаходиться на глибині більше критичної, створюється тиск (який визначається несучою спроможністю ґрунту) недостатній для зсуву елемента стружки на денну поверхню, але його достатньо для витіснення ґрунту в бокові стінки і дно щілини

без відділення стружки від ґрунтового середовища (закритична зона або зона пружно-пластичних деформацій). Тому кожний ніж у залежності від співвідношення ширини і глибини різання може здійснювати розрізання ґрунтового масиву без відділення елементів стружки і різання з відділенням ґрунтової стружки від масиву.

В докритичній зоні нормальний тиск ґрунту на лобову грань ножа значно менший ніж у закритичній зоні (рис. 1.2).

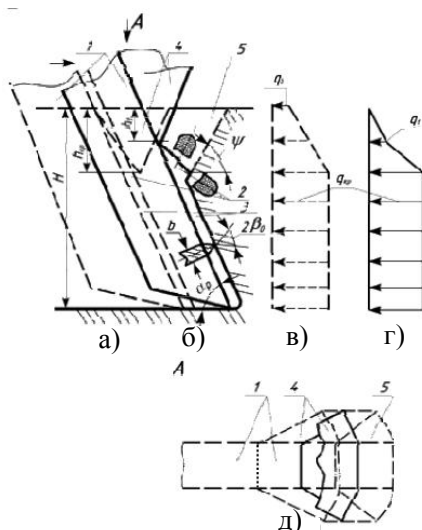


Рисунок 1.2 - Схема взаємодії розрізаючого ножа з ґрунтом і закони розподілу нормального тиску на лобовій грані: а, в - у момент заглиблення і утворення першого елемента стружки; б, г - для сталого режиму різання; д - вигляд у плані; 1 - ніж; 2, 3 - ядра уцілювання; 4, 5 - відповідно перший і наступні елементи стружки.

Він зростає із збільшенням глибини різання. В закритичній зоні нормальний тиск досягає гранично можливого значення $q_{кр}$, відповідно несучій спроможності ґрунту і постійний по глибині. На основі багаточисельних експериментальних досліджень по різанню і механіці ґрунтів, а також на основі теорії Ю.О. Вєтрова [5], у тому числі по глибокому різанню вузькими

ножами ($b/H < 0,5$), закон розподілення нормального тиску ґрунту на лобову площину ножа в докритичній зоні приймається лінійним по глибині. Епюра нормального тиску має вигляд трикутника або трапеції.

На денній поверхні на ніж діє мінімальний тиск q_0 , який визначається в залежності від кута різання α_p по методиці Соколовського В.В., а на критичній глибині $h_{кр}$ він досягає критичного значення $q_{кр}$ по несучій спроможності ґрунту. У зоні пружно-пластичних деформацій нормальний тиск ґрунту на лобову поверхню ножа не залежить від геометричних параметрів ножа і дорівнює критичному тиску, який визначається за формулою Г. Паукера [6]. Тому опір різанню ґрунту в закритичній зоні від 1,5...2,0 до 5...10 разів більший, ніж у докритичній зоні.

Тому з метою якісної обробки ґрунту в зоні механічного впливу і зниження енергоємності робочого процесу конструювання ґрунторозробних органів потрібно проводити з додержанням наступних вимог адаптації до умов розробки ґрунту:

1) при заданих розмірах нарізваної щілини (глибиною H і шириною B) повздовжній і поперечний профілі ґрунторозробного інструменту повинні забезпечити максимально можливу критичну глибину різання;

2) контакт ножа з ґрунтом у закритичній зоні повинен бути виключений або зведений до мінімуму;

3) повздовжній і поперечний профілі ЗРО повинні виключати можливість утворення постійних ядер ущільнення.

Ці вимоги дозволяють обґрунтовано аналізувати конструкції традиційних ЗРО на предмет їх адаптованості (приспосованості) до умов розробки ґрунту і впливу на навколишнє ґрунтове середовище, а також планово і цілеспрямовано конструювати принципово нові робочі органи залежно від їх цільового призначення.

1.3. Порядок проведення дослідів

1. Закріпити досліджувану модель робочого органу на тензометричний візок і заміряти розміри плеч двоплечого важеля.

2. Провести підготовку експериментальної ділянки. Для цього розпушити зволожений в ґрунтовому каналі ґрунт, спланувати його поверхню і ущільнити до потрібної міцності ($C_{уд.} = 5 - 8$ уд.).

3. Виконати планування поверхні забою.

4. Підготувати пряминок на ґрунтовому каналі та виставити необхідну глибину різання, користуючись механізмом підйому тензометричного ножа.

5. Масштабною лінійкою на поверхні забою відмітити необхідну довжину ділянки різання.

6. Увімкнути реєструючий прилад. Увімкнути хід тензометричного візка. В ході дослідів уважно спостерігати за процесом різання.

7. При досягненні ножа відмітки кінця ділянки різання зупинити тензометричний візок та припинити роботу реєструючого приладу. Обробити отримані дані використовуючи програму *Excel* та побудувати силові залежності.

8. Заміряти глибину різання h_p та ширину бокових розширень B .

9. Підготувати експериментальну ділянку до наступного дослідів, для чого повторити дії вказані в попередніх пунктах.

10. Отримані дані занести в (табл. 1.2.), провести відповідні розрахунки та зробити висновок.

Таблиця 1.2

Результати вимірювань

№	P_i , Н	B , мм
1		
...		
5		

11. При оформленні лабораторної роботи обов'язково законспектувати текст виділений курсивом.

1.4. Захист роботи

Оформлену лабораторну роботу необхідно представити ведучому викладачеві на підпис, попередньо відповівши на поставлені запитання.

Лабораторна робота №2

Тема: Вивчення фізичної суті руйнування ґрунту ножем, що адаптований для процесу глибокого різання та визначення його енергоємності.

Мета роботи: Ознайомитися з фізичною суттю руйнування ґрунтового середовища ножем, що адаптований для процесу глибокого різання та визначити енергоємність процесу відповідно до методики розрахунку, яка представлена залежностями (2...9).

2.1. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є фізична модель пасивного землерийного робочого органу, що адаптований для процесу глибокого різання. *Схема фізичної моделі робочого органу та його загальний вигляд показано на (рис. 2.1.) Параметри фізичної моделі досліджуваного робочого органу наведені в технічній характеристиці (табл. 2.1).*

Таблиця 2.1

Технічна характеристика фізичної моделі землерийного робочого органу, що адаптований для процесу глибокого різання

№ з/п	Назва параметрів	Одиниці вимірювання	Значення
1	Кут різання: в зоні зсуву ґрунту; в зоні пружно-платичних деформацій.	град	30
		град	90
2	Кут загострення розсікача	град	50

Продовження табл. 2.1

3	Ширина ножа	мм	20
4	Глибина різання	мм	150

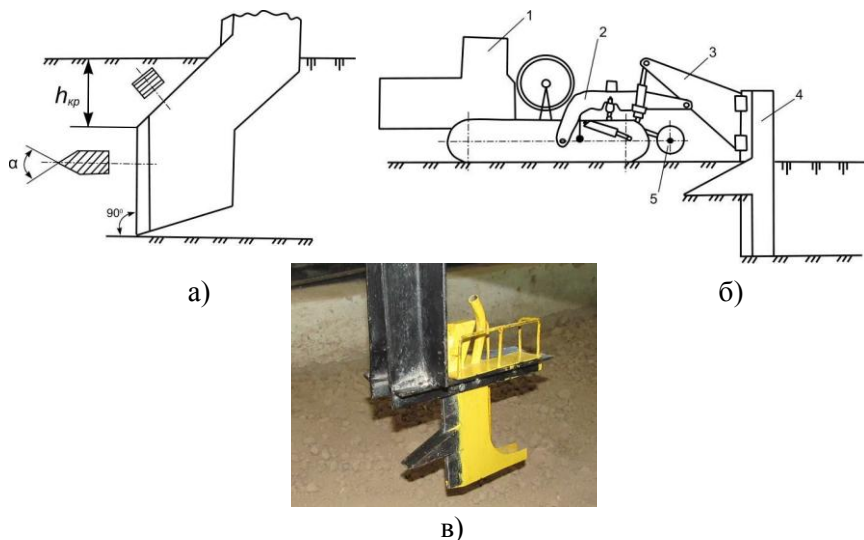


Рисунок 2.1 - Робочий орган безтраншейного дреноукладача адаптованого до процесу глибокого різання ґрунтів: а) схема взаємодії розрізаючого ножа з ґрунтом; б) зразок адаптованого ЗРО з тягачем: 1 - тягач; 2 – тягова рама; 3 – коромисло; 4 – робочий орган; 5 – дерноріз дисковий; в) фізична модель ножа, що адаптований для процесу глибокого різання

2.2. Загальні відомості

На основі описаних принципів конструювання (див. лаб. роб. №1) та аналізу форми пасивних землерийних робочих органів безтраншейних укладачів встановлено, що жоден з них не відповідає в повній мірі цим вимогам.

Наприклад, робочий орган дреноукладача МД-12 (див. рис.1.1) не задовольняє жодну вимогу. Так, в зоні зсуву ґрунту лобова поверхня робочого органа виконана клиноподібною, що призводить до розпирання ґрунту в стінки щілини, а не до зсуву

його на денну поверхню. В результаті критична глибина зменшується, а сумарний опір збільшується. Оптимальною зсувною лобовою поверхнею в цьому випадку буде плоска поверхня з позитивним кутом різання.

В пружно-пластичній зоні нижня частина робочого органа обладнана додатковим плоским ножом з кутом різання меншим ніж кут різання основного ножа. Такий профіль не є мінімальним подовжині і призводить до утворення стійкого постійного ядра ущільнення в зоні зміни кута різання. Оптимальним в даному випадку являється вертикально встановлений клиновидний ніж з кутом загострення, виключаючи можливість формування ядра ущільнення.

В результаті проведеного аналізу пасивних робочих органів методом синтезування отримано *найбільш адаптований до процесу глибокого різання ґрунту одноножовий розрізаючий ЗРО, який являє собою висунутий вперед плоский носок з позитивним кутом різання 300° в зоні зсуву ґрунту і вертикально встановлений клиноподібний розсікач з кутом загострення 500° (див. рис. 2.1), що виключає можливість формування ґрунтових ядер ущільнення*

Таким чином, даний робочий орган в зоні зсуву має плоску лобову поверхню та позитивний кут різання. В зоні пружно-пластичних деформацій довжина профілю мінімальна і кут різання постійний, а робоча поверхня виконана клиноподібною, що при певному куті загострення клина виключає можливість формування ядра ущільнення.

З метою перевірки достовірності гіпотези фізичної сутності глибокого різання ґрунтів і витікаючих із неї вимог конструювання пасивних робочих органів укладачів в НУВГП було виготовлено 2 варіанта експериментальних робочих органів, що відповідають цим вимогам.

Перший являє собою висунутий вперед плоский носок з позитивним кутом різання 30° в зоні зсуву ґрунту на глибину 0,6 м і вертикально встановлений клиноподібний розсікач з кутом загострення 50° в зоні пружно-пластичної деформації (на глибині від 0,6 до 1,6 м), ширина ножа – 0,2 м (див. рис. 2.1.б).

Другий варіант експериментального робочого органу (рис. 2.2) представляв собою традиційний ніж дренажувача МД-12 (шириною 200 мм), перед яким на місці дискового дернорізу (на відстані 0,9 м) був встановлений додатковий автономний ніж. Він виконаний у вигляді плоского леміша шириною 220 мм, що закріплений в нижній частині клиноподібної стійки з кутом загострення 300, кут леміша 300, глибина щілини, яка нарізується додатковим ножем – 0,8 м, основним ножем – 1,6 м.

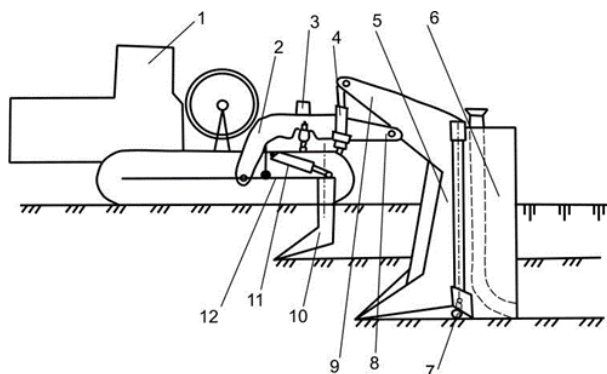


Рисунок 2.2 - Дослідний зразок робочого органу дренажувача (другий варіант): 1 – базова машина; 2 – тягова рама; 3, 4, 11 – гідроциліндри; 5 – основний ніж; 6 – трубоукладач; 7 – шарнір з'єднання основного ножа з трубоукладачем; 8 – шарнір з'єднання коромисла з тяговою рамою; 9 – коромисло; 10 – додатковий ніж; 12 – тягова рама додаткового ножа

Двоножевий робочий орган працює наступним чином. При поступальному русі машини додатковий ніж сколює ґрунт на глибину 0,8 м, утворюючи щілину шириною більшою за ширину основного ножа, який сколює після нього ґрунт на необхідну глибину (на 1,6 м максимально). При наявності в зоні різання ґрунту основним ножем твердих включень вони переміщувались в простір між додатковим і основним ножем.

В жовтні 1985 р. було проведено порівняльні випробування дренажувача МД-12 з традиційним і експериментальними робочими органами.

Результати порівняльних випробувань першого варіанту робочого органа приведені на (рис. 2.3).

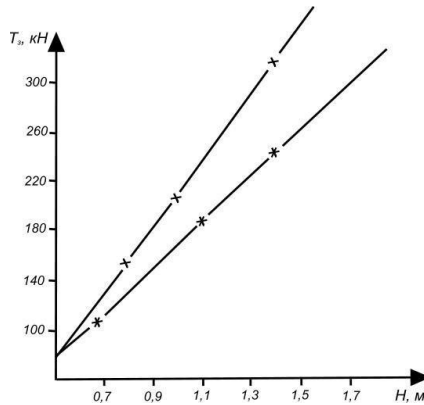


Рисунок 2.3. - Залежність тягового зусилля на ведучій зірочці дренуукладача (з першим варіантом робочого органа) від глибини різання: (**) – для експериментального ножа; (x) – для традиційного ножа

З графічних залежностей видно, що для переміщення експериментального зразка ножа знадобилося менше тягове зусилля ніж для ножа традиційної конструкції. При глибині різання 0,5...0,55 м відбувалося вирівнювання тягових опорів ножів.

На думку авторів, результати досліджень дозволили стверджувати, що при глибині різання до 0,55 м носок традиційного робочого органа МД-12 (при ширині ножа 0,2 м) проводить зсув ґрунту на денну поверхню без утворення зони пружно-пластичних деформацій по глибині нарізаємої щілини, тобто критична глибина різання традиційного робочого органа МД-12 (див. рис. 1.1) складає 0,5...0,55 м. При заглибленні традиційного ножа на глибину більшу 0,55 м відбувається утворення закритичної зони пружно-пластичної деформації і стійкого ґрунтового ядра ущільнення в зоні зміни кута різання. Крім того, площа контакту цього робочого органа з ґрунтом в закритичній зоні в порівнянні з ножем експериментальної

конструкції більша. Все це призводить до того, що в ідентичних умовах *тяговий опір на традиційному робочому органі на 11,6...23,6% більший ніж на експериментальному.*

Аналіз експериментальних досліджень дреноукладача МД-12 з традиційним і двохножовим робочим органом показав, що із збільшенням глибини різання тяговий опір зростає по лінійній залежності для одного і двох ножів. Однак, в другому випадку тяговий опір значно менший. Так, при нарізанні щілини двохножовим робочим органом збільшення глибини різання від 1,2 до 1,8 м призвело до зростання тягового опору з 131,6 до 301,9 кН, а без додаткового ножа зусилля збільшилось з 244,4 до 300,5 кН при заглибленні ножа від 1,2 до 1,4 м. Зменшення тягового опору склало 31,4...42,1%.

Зниження тягового опору пояснюється не тільки розробкою ґрунту додатковим ножем на критичну глибину і утворенням вільного простору для основного ножа, а й неодноразовістю процесів сколу ґрунту ножами.

2.3. Порядок проведення дослідів

1. Закріпити досліджувану модель робочого органу на тензометричний візок і заміряти розміри плеч в двоплечевого важеля.

2. Провести підготовку експериментальної ділянки. Для цього розпушити зволожений в ґрунтовому каналі ґрунт, спланувати його поверхню і ущільнити до потрібної міцності ($C_{уд} = 5 - 8$ уд.).

3. Виконати планування поверхні забою.

4. Підготувати пряминок на ґрунтовому каналі та виставити необхідну глибину різання, користуючись механізмом підйому тензометричного ножа.

5. Масштабною лінійкою на поверхні забою відмітити необхідну довжину ділянки різання.

6. Увімкнути реєструючий прилад. Увімкнути хід тензометричного візка. В ході дослідів уважно спостерігати за процесом різання.

7. При досягненні ножа відмітки кінця ділянки різання зупинити тензOMETричний візок та припинити роботу реєструючого приладу. Обробити отримані дані використовуючи програму *Excel* та побудувати силові залежності.

8. Заміряти глибину різання h_p та ширину бокових розширень B .

9. Підготувати експериментальну ділянку до наступного досліду, для чого повторити дії вказані в попередніх пунктах.

10. Отримані дані занести в (табл. 2.2.), провести відповідні розрахунки та зробити висновок.

Таблиця 2.2

Результати вимірювань

№	P_i , Н	B , мм
1		
...		
5		

11. При оформленні лабораторної роботи обов'язково законспектувати текст виділений курсивом.

2.4. Захист роботи

Оформлену лабораторну роботу необхідно представити ведучому викладачеві на підпис, попередньо відповівши на поставлені запитання.

Лабораторна робота №3

Тема: Вивчення фізичної суті руйнування ґрунту двоярусним ножом та визначення його енергоємності.

Мета роботи: Ознайомитися з фізичною суттю руйнування ґрунтового середовища двоярусним ножом та визначити енергоємність процесу відповідно до методики розрахунку, яка представлена залежностями (2...9).

3.1. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є фізична модель пасивного землерийного двоярусного робочого органу. Загальний вигляд фізичної моделі двоярусного робочого органу показано на (рис. 3.1.) Параметри фізичної моделі досліджуваного робочого органу наведені в технічній характеристиці (табл. 3.1).

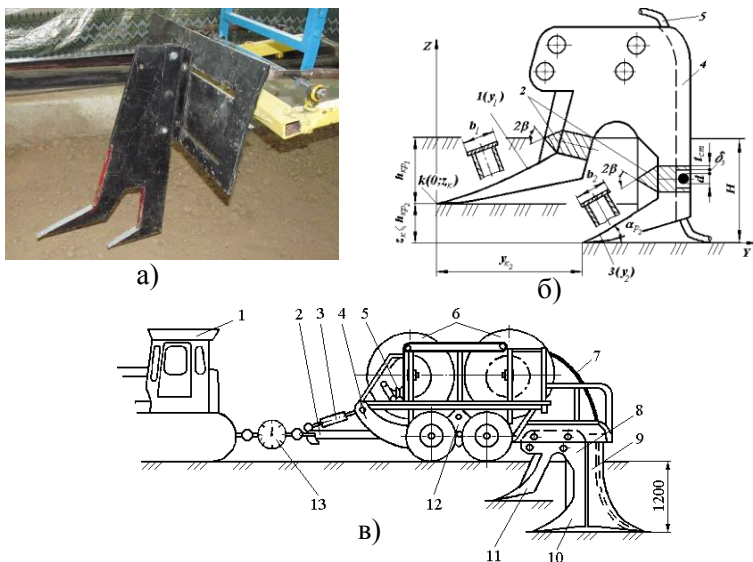


Рисунок 3.1 - Двоярусний робочий орган: а) загальний вигляд фізичної моделі двоярусного робочого органу; б) схема двоярусного ножа: 1 – верхня ріжуча частина (y_1 – її поздовжній профіль); 2 – стояки ріжучих частин; 3 – нижня ріжуча частина (y_2 – її поздовжній профіль); 4 – трубонапрямний тракт; 5 – труба, що укладається; в) схема двоярусного безтраншейного укладача підземних комунікацій: 1 – тягач; 2 – дишло; 3 – гвинтова стяжка; 4 – корпус понтонного типу; 5 – лебідка; 6 – кабельні барабани; 7 – кабель; 8 – ніж двоярусної конструкції; 9 – касета; 10, 11 – відповідно задня і передня різальні частини; 12 – пневмоколісні балансирні візки; 13 – динамометр.

Таблиця 3.1

Технічна характеристика фізичної моделі двоярусного
землерийного робочого органу

№ з/п	Назва параметрів	Одиниці вимірювання	Значення
1	К-сть ярусів	шт	2
2	Кут різання	град	35
3	Кут загострення розсікача	Град	50
4	Ширина ножа	мм	20
5	Глибина різання	мм	150

3.2. Загальні відомості

Якщо необхідна глибина прокладання підземних комунікацій більша за критичну глибину різання, для усунення закритичної зони ущільнення ґрунту і зниження енергоємності робочого процесу формування щілини необхідно здійснювати багатоярусними ЗРО. У частковому випадку, якщо загальна глибина розробки ґрунту не перевищує двох критичних глибин $H \leq h_{кр1} + h_{кр2}$ ($h_{кр1}, h_{кр2}$ – критичні глибини різання відповідно у верхньому і наступних нижніх ярусах), для усунення закритичної зони ущільнення робочий процес достатньо здійснювати по двоярусній схемі (див. рис. 3.1.б).

Процес різання мерзлих, міцних ґрунтів за двоярусною схемою ґрунтовно досліджений Л.А. Хмарою, С.В. Шатовим; талих ґрунтів – С.В. Кравцем, Л.Б. Кравець. Встановлено, що при різанні ґрунту у верхньому ярусі на докритичних глибинах вузьким, плоским ножом ($b/h < 0,5$, де b , H – відповідно ширина і глибина захвату) під деяким кутом до горизонту α_p , із швидкістю до 1...2 м/с у початковий період руху проходить зминання і ущільнення ґрунту робочою гранню ножа. Утворюється ґрунтове ядро ущільнення з кутом при вершині $2\beta_0$, яке доповнює ніж до оптимальної форми. Подальше

деформування ґрунту здійснюється цим ущільненим ядром. У залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту, геометричних параметрів ножа, ґрунтове ядро ущільнення сходить з ножа разом з елементом сколювання або зберігається на ножі. До відокремлення першого елемента стружки (див. рис. 1.2), нормальний тиск на ножі і відповідно опір різанню ґрунту зростають, досягаючи максимального значення. Від масиву ґрунту відокремлюється перший елемент стружки під кутом зсуву ψ до горизонту, ковзає по лобовій грані ножа і витискається наверх. Він має вигляд трикутної призми в центрі з двома розташованими симетрично по боках конічними секторами. При відокремленні елемента стружки від масиву сила різання спадає до мінімуму.

Далі при русі ножа, формується нове ядро ущільнення, форма якого відрізняється від початкового ядра. Сформованим ядром ніж стискає ґрунт у перехідній зоні, накопичує потенціальну енергію для сколювання наступного елемента стружки. Перехідна зона – це зона контакту ножа з ґрунтом до його відокремлення від масиву у процесі сталого режиму різання. Розміри перехідної зони непостійні у часі і змінюються від 0, після сколювання елемента стружки, до $h_{кр} - h_1$ (h_1 – найменша глибина сколювання) у момент сколювання. Нормальний тиск на ніж у перехідній зоні зростає по глибині від $q_1 = (0,4...0,6) h_{кр}$ до $q_{кр}$. Сила різання зростає як і при першому сколюванні, але у меншій мірі, а при відокремленні елемента стружки різко спадає. Форма наступних тіл сколювання – крилоподібна і відмінна від першого елемента стружки (рис. 3.2). Подальший цикл стружкоутворення подібний другому сколюванню.

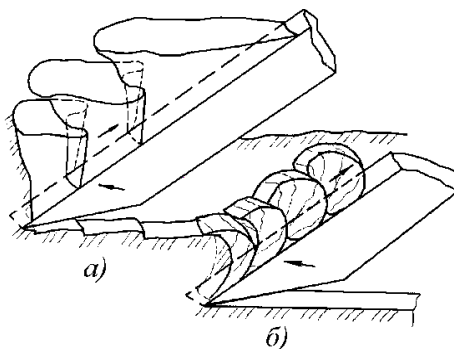


Рисунок 3.2 - Схема двох'ярусної розробки ґрунту:
а – у верхньому ярусі; б – у нижньому ярусі

При різанні у верхньому ярусі на глибину більшу критичної (критична глибина є границею рівноваги сил зсуву ґрунту у всіх напрямках) ґрунт ущільнюється в стінки і дно щілини за рахунок пружно-пластичних деформацій. Питомий опір різанню ґрунту у цій зоні в 1,5...10 разів більший, ніж у зоні сколювання ґрунту.

У нижньому ярусі процес руйнування ґрунту, відбувається за блокованим різанням у верхньому ярусі. Якщо ширина ножів, що розробляють ґрунт за двоярусною схемою, однакова, у нижньому ярусі утворюється проріз з вертикальними стінками по всій висоті (рис. 3.3.а). Біля дна прорізу утворюється зріз у вигляді практично неперервної смуги незначної висоти. Вище цієї смуги, руйнування проходить зсувом. Елементи сколів не мають бокових розвалів і майже не відрізняються один від одного по формі, представляють собою серповидні призматичні тіла. Сколювання елементів у нижньому ярусі проходить з більшою частотою, ніж у верхньому ярусі. Якщо ширина ножа b_1 , що розробляє ґрунт у верхньому ярусі, більша ширини ножа b_2 у нижньому ярусі, то поперечний переріз прорізу нижнього ярусу має вигляд трапеції, основи якої дорівнюють b_2 і b_1 (див. рис. 3.3.б). Після проходження ножа у нижньому ярусі збільшення бічних розвалів у верхньому ярусі не спостерігається.

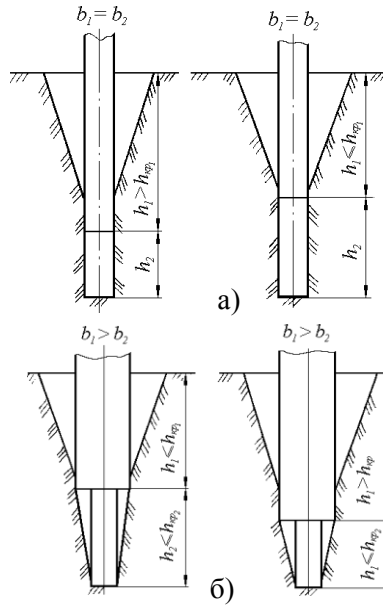


Рисунок 3.3 - Форма поперечного перерізу щілини, утвореної ножами:

а) - однакової ширини $b_1 = b_2$; б) - $b_1 > b_2$

Отже, зниження енергоємності робочого процесу при двоярусній схемі розробки можливе, якщо: робочий орган у кожному ярусі здійснює розробку ґрунту тільки в докритичній зоні, а енергоємна закритична зона ущільнення відсутня; поздовжній і поперечний профілі робочого органа виключають утворення постійних ядер ущільнення.

При цьому умови роботи ріжучих частин різні. Верхня ріжуча частина розробляє ґрунт в умовах звичайного блокованого різання на критичну глибину, а нижня ріжуча частина розробляє ґрунт в умовах закритичного блокованого різання. Тому, критична глибина різання, висота і форма ріжучих частин, а також їх розміщення повинні бути різними.

Ефективність двоярусної схеми для розробки талих ґрунтів доведена дослідженнями Центрального науково-

дослідного інституту механізації і електрифікації сільського господарства (ЦНДІМЕСГ) [2]. При розробці суглинистого ґрунту на глибину 1,8 м двоярусним ЗРО, ширина якого у верхньому ярусі складала 200 мм, а у нижньому – 130 мм, енергоємність робочого процесу знижується, а якість обробки ґрунту покращується, порівняно з робочими органами традиційної конструкції.

3.3. Порядок проведення дослідів

1. Закріпити досліджувану модель двоярусного робочого органу на тензометричний візок і заміряти розміри плеч двоплечевого важеля.

2. Провести підготовку експериментальної ділянки. Для цього розпушити зволожений в ґрунтовому каналі ґрунт, спланувати його поверхню і ущільнити до потрібної міцності ($C_{уд} = 5 - 8$ уд.).

3. Виконати планування поверхні забою.

4. Підготувати прямокутник на ґрунтовому каналі та виставити необхідну глибину різання, користуючись механізмом підйому тензометричного ножа.

5. Масштабною лінійкою на поверхні забою відмітити необхідну довжину ділянки різання.

6. Увімкнути реєструючий прилад. Увімкнути хід тензометричного візка. В ході дослідів уважно спостерігати за процесом різання.

7. При досягненні ножем відмітки кінця ділянки різання зупинити тензометричний візок та припинити роботу реєструючого приладу. Обробити отримані дані використовуючи програму *Excel* та побудувати силові залежності.

8. Заміряти глибину різання h_p та ширину бокових розширень B .

9. Підготувати експериментальну ділянку до наступного дослідів, для чого повторити дії вказані в попередніх пунктах.

10. Отримані дані занести в табл. 3.2., провести відповідні розрахунки та зробити висновок.

Таблиця 3.2

Результати вимірювань		
№	$P_i, \text{Н}$	$B, \text{мм}$
1		
...		
5		

11. При оформленні лабораторної роботи обов'язково законспектувати текст виділений курсивом.

3.4. Захист роботи

Оформлену лабораторну роботу необхідно представити ведучому викладачеві на підпис, попередньо відповівши на поставлені запитання.

Лабораторна робота №4

Тема: Вивчення фізичної суті руйнування ґрунту багатоярусним ножем безвідвальної конструкції, що працює на принципі рівної об'ємних витрат у суміжних ярусах, та визначення його енергоємності.

Мета роботи: Ознайомитися з фізичною суттю руйнування ґрунтового середовища багатоярусним ножем безвідвальної конструкції та визначити енергоємність процесу відповідно до методики розрахунку, яка представлена залежностями (2...9).

4.1. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є фізична модель пасивного безтраншейного багатоярусного землерийного робочого органа безвідвальної конструкції. *Загальний вигляд фізичної моделі багатоярусного ножа безвідвальної конструкції показано на (рис. 4.1) Параметри фізичної моделі досліджуваного робочого органу наведені в технічній характеристиці (табл. 4.1).*

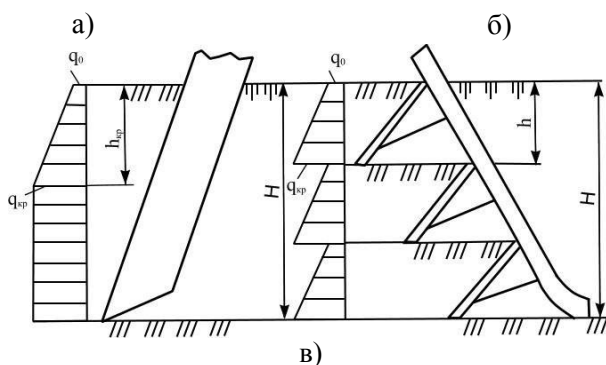


Рисунок 4.1 - Багатоярусний ЗРО: а) фізична модель багатоярусного ножа безвідвальної конструкції; б) багатоярусний робочий орган безтраншейного укладача підземних трубопроводів на базі трактора Т-170; в) епюри розподілу нормального тиску на лобову поверхню робочого органу по глибині для традиційної конструкції (зліва) та багатоярусної (справа)

Таблиця 4.1

Технічна характеристика фізичної моделі пасивного безтраншейного багатоярусного землерийного робочого органу безвідвальної конструкції

№ з/п	Назва параметрів	Одиниці вимірювання	Значення
1	К-сть ярусів	шт	3
2	Кут різання	град	30
3	Кут нахилу несучої рами	град	30

Продовження табл. 4.1

4	Кут загострення розсікача	град	50
5	Ширина ножа в нижньому ярусі	мм	20
6	Висота ярусів (рівномірна)	мм	40
7	Глибина різання	мм	150

4.2. Загальні відомості

Під багатоярусним різанням розуміється такий процес розробки ґрунтового середовища, який здійснюється одночасно декількома різальними частинами (ґрунторозробними органами) по глибині захвату і певним чином розміщеними в профільній і фронтальній площинах. Багатоярусне різання дозволяє замінити традиційний процес глибокої розробки середовища (глибина різання в 3 і більше разів перевищує ширину різання) на якісно іншу пошарову розробку, яка дає змогу при певних умовах усунути із робочого процесу закритичну зону руйнування середовища, покращити його структурні показники і зменшити енергоємність робочого процесу.

Робочі процеси при поярусній розробці середовища (в подальшому багатоярусні робочі процеси) і конструкції ЗРО відрізняються в залежності від складових частин процесу: руйнування, формування щілини, транспортування ґрунту і зворотної засипки щілини. *Визначальною операцією при поярусній розробці є транспортування ґрунту, яке здійснюється із зони різання кожного ярусу в напрямку простору з найменшим опором переміщенню. Таким простором може бути денна поверхня або штучно підготовлена робочим органом порожнина. Від місця утворення цієї порожнини (напрямку транспортування) залежить вид різання в кожному ярусі (пряме, косе, симетричне, асиметричне) і черговість засипки щілини зрізаними шарами.*

Основними параметрами багатоярусних ЗРО є: критична глибина різання, кути сколювання ґрунту і величина зміщення різальних частин у повздовжній площині, кути різання і ширина ґрунторозробних органів у кожному ярусі, а також опір переміщенню.

Визначальними умовами для створення ґрунтозахисних та енергозберігаючих багатоярусних робочих органів є їх взаємодія з ґрунтом як середовищем експлуатації безтраншейних укладачів. Інформація про ґрунти і параметри ЛПО, що вкладаються, це - вихідні дані для проектування і оптимізації параметрів багатоярусних ЗРО.

У сільському господарстві підземні комунікації укладають у нескальні талі ґрунти, які підстилають гумусний горизонт або орний шар ґрунту. Глибина прокладання в ґрантових умовах СНД, як правило, не перевищує 1,5...1,6 м. Швидкість прокладання обмежена тяговим класом базових машин і швидкістю спрацювання автоматичних систем керування робочим обладнанням і, як правило, не перевищує 1,0 м/с. Реальні ґрунти представляють собою неоднорідне середовище як по механічному складу, зчепленню, вологості, так і по інших факторах, які змінюються в залежності від довжини траси і глибини залягання. Такі ґрунти можуть містити в собі сторонні включення (камені, пеньки, корені та інші залишки). Все це впливає на зміну структури і міцнісних властивостей реальних ґрунтів. Але характер цих змін у переважній більшості невідомий, є випадковим і хаотичним, а тому не може бути врахований при створенні робочих процесів землерийних машин. Тому перш за все потрібно орієнтуватися на найбільш ймовірну модель ґрунту, яка визначається умовами експлуатації машин.

Таким чином, модель ґрунту і схему його поярусного руйнування можна прийняти з наступними припущеннями: *ґрунт розглядається як суцільне однорідне ізотропне середовище, яке характеризується механічним складом, пластичністю, зчепленням, внутрішнім і зовнішнім тертям і щільністю; руйнування ґрунту проходить, як правило, за рахунок деформацій зрізу і зсуву після порушення рівноваги сил*

діючих на елемент стружки, який розглядається як тверде тіло, опір відокремлення якого від ґрунтового середовища не залежить від швидкості робочого інструменту.

Багатоярусне руйнування дозволяє зменшити енергоємність і динаміку робочого процесу порівняно з традиційним процесом глибокої розробки ґрунту. Зниження енергоємності руйнування ґрунтується на тому положенні, що кожний ярус робочого органу здійснює розробку ґрунту тільки в докритичній зоні, а найбільш енергоємна закритична зона ущільнення відсутня. Тому нормальний тиск ґрунту (площа епюри тиску) на робочу поверхню багатоярусного робочого органу, а отже і енергоємність процесу при оптимальній кількості ярусів менші, ніж для традиційних ЗРО (див. рис. 4.1.в).

До того ж робочий процес одночасно здійснюється на різних рівнях заглиблення і в різних умовах, а тому частота і амплітуда коливань динамічних навантажень на ґрунторозробних органах будуть різні, що приводить до вирівнювання опору переміщенню, а це, в свою чергу, забезпечує плавність ходу і підвищує якість ложа під ЛПО.

Основними операціями багатоярусного робочого процесу, які мають суттєвий техногенний вплив на ґрунтове середовище, є формування щілини і транспортування ґрунту. Ці операції в значній мірі залежать від створення умов виходу зрізаного шару ґрунту із будь-якого підземного горизонту в напрямку штучно підготовленого простору. З метою мінімального ущільнення розроблюваного ґрунту запропоновані нові принципи і умови здійснення операцій формування щілини і транспортування ґрунту, суть яких розкрита в праці [7] і ґрунтується на таких положеннях:

1. Подрібнення різального інструмента на ґрунторозробні органи і розміщення їх у просторі повинно проводитися таким чином, щоб кожний попередній ґрунторозробний орган створював найбільш сприятливі умови розробки ґрунту для кожного наступного органу (принцип незалежності роботи попередніх ґрунторозробних органів від наступних).

2. Транспортування ґрунту в напрямку звільненого простору повинно здійснюватися: а) для безвідвальних ЗРО при умові, що витрата ґрунту, який поступає на ґрунторозробний орган в нижньому ярусі, не перевищує витрати ґрунту, який проходить через вікна у суміжному верхньому ярусі (принцип рівності витрат ґрунту); б) для відвальних ЗРО при умові, що площа поперечного перерізу зрізаного шару ґрунту не більша площі прохідних вікон у кожному ярусі (принцип рівності площ).

Приклад реалізації принципів показаний на (рис. 4.2.) Процес формування щілини здійснюється ґрунторозробними органами, які рознесені по вертикалі та горизонталі на визначену величину.

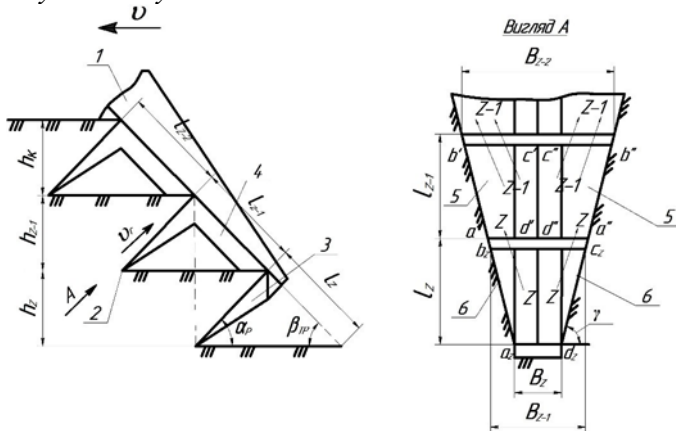


Рисунок 4.2 - Схеми щодо реалізації принципів незалежності роботи ґрунторозробних органів і рівності об'ємних витрат ґрунту у суміжних ярусах: а) вигляд збоку; б) вигляд по стрілці А; 1 – похилий (у напрямку руху) стояк; 2 – різальні кромки; 3 – ґрутонаправляючі елементи; 4 – клиноподібний ґрунторозсікач; 5 – прохідні вікна; 6 – бічні стінки щілини

Така розстановка ґрунторозробних органів на нахиленому у напрямку руху стояку (рамі) виключає можливість перекриття їх проєкцій на горизонтальну і фронтальну

площини, а тим самим забезпечує принцип незалежності роботи попередніх органів від наступних і виключає додаткові сили тертя шарів ґрунту при їх русі у між'ярусному просторі.

Ширина ярусів B_z , B_{z-1} , B_{z-2} і т. д. змінна, збільшується від нижнього ярусу до верхнього закономірно. Вибір ширини базується на принципі рівності витрат ґрунту, який подається із нижнього у суміжний верхній ярус. Об'єм ґрунту, який поступає на ґрунторозробний орган за одиницю часу у нижньому ярусі, дорівнює добутку площі фронтальної проекції трапеції a_z , b_z , c_z , d_z (див. рис. 4.2.б), яка утворюється різальними кромками 2 двох суміжних ґрунторозробних органів і бічними стінками щілини 6 (площа поперечного перерізу зрізаного шару ґрунту) на переносну швидкість робочого органу. Об'єм ґрунту, який проходить за той же час через прохідні вікна 5 у суміжному верхньому ярусі між різальними кромками 2, похилим стояком 1 і бічними стінками 6 щілини дорівнює добутку площі швидкості ґрунту v_p . $a'b'c'd' + a''b''c''d''$ на відносну швидкість ґрунту v .

Площа прохідних вікон регулюється кутом до горизонту у напрямку руху $\beta_{тр}$ нахилу стояка

Зруйнований ґрунт ковзає по направляючій 3 нижнього ярусу, обгинає клиновидний розсікач 4 і через два прохідні вікна 5 транспортується з мінімальним ущільненням (до природної щільності) у верхній суміжний ярус, який звільнений від ґрунту попереднім ґрунторозробним органом. Розробка і транспортування ґрунту у наступних верхніх ярусах здійснюється аналогічно як у нижньому ярусі.

4.3. Порядок проведення дослідів

1. Закріпити досліджувану модель багатоярусного робочого органу на тензометричний візок і заміряти розміри плеч двоплечого важеля.

2. Провести підготовку експериментальної ділянки. Для цього розпушити зволожений в ґрунтовому каналі ґрунт,

спланувати його поверхню і ущільнити до потрібної міцності ($C_{y0} = 5 - 8$ уд.).

3. Виконати планування поверхні забою.

4. Підготувати пряминок на ґрунтовому каналі та виставити необхідну глибину різання, користуючись механізмом підйому тензометричного ножа.

5. Масштабною лінійкою на поверхні забою відмітити необхідну довжину ділянки різання.

6. Увімкнути реєструючий прилад. Увімкнути хід тензометричного візка. В ході дослідів уважно спостерігати за процесом різання.

7. При досягненні ножа відмітки кінця ділянки різання зупинити тензометричний візок та припинити роботу реєструючого приладу. Обробити отримані дані використовуючи програму *Excel* та побудувати силові залежності.

8. Заміряти глибину різання h_p та ширину бокових розширень B .

9. Підготувати експериментальну ділянку до наступного дослідів, для чого повторити дії вказані в попередніх пунктах.

10. Отримані дані занести в таблицю 4.2., провести відповідні розрахунки та зробити висновок.

Таблиця 4.2

Результати вимірювань		
№	P_i , Н	B , мм
1		
...		
5		

11. При оформленні лабораторної роботи обов'язково законспектувати текст виділений курсивом.

4.4. Захист роботи

Оформлену лабораторну роботу необхідно представити ведучому викладачеві на підпис, попередньо відповівши на поставлені запитання.

Лабораторна робота №5

Тема: Вивчення фізичної суті руйнування ґрунту багатоярусним відвальним робочим органом та визначення його енергоємності.

Мета роботи: Ознайомитися з фізичною суттю руйнування ґрунтового середовища багатоярусним відвальним робочим органом та визначити енергоємність процесу відповідно до методики розрахунку, яка представлена залежностями (2...9).

5.1. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є фізична модель багатоярусного відвального робочого органу. *Схема фізичної моделі багатоярусного відвального робочого органу та його загальний вигляд показано на (рис. 5.1.) Параметри фізичної моделі досліджуваного робочого органу наведені в технічній характеристиці (табл. 5.1).*



Рисунок 5.1 - Схема фізичної моделі пасивного багатоярусного землерийного робочого органу відвальної конструкції

Таблиця 5.1

Технічна характеристика фізичної моделі пасивного багатоярусного ЗРО відвальної конструкції

№ з/п	Назва параметрів	Одиниці вимірювання	Значення
1	К-сть ярусів	шт	6
2	Кут різання	град	30

Продовження табл. 5.1

3	Кут нахилу несучої рами	град	30
4	Кут загострення розсікача	град	50
5	Ширина ножа в нижньому ярусі	мм	60
6	Глибина різання	мм	150

5.2. Загальні відомості

Для важких меліоративних ґрунтів вирішальне значення має максимальне розпушення і оструктурування підземних горизонтів у щілині, а також встановлення надійного гідравлічного зв'язку між гумусним горизонтом і дренажним влаштуванням. Для таких ґрунтових умов в НУВГП вперше розроблені багатоярусні робочі процеси з поярусним керованим транспортуванням ґрунту в порожнину нарізаної щілини криволінійними поверхнями (відвалами) [7]. Відвали деформують зрізані пласти не тільки в профільній, але і в фронтальній площинах, причому із зворотним їх обертанням, що позитивно впливає на якість пошарової обробки. Робочі процеси можуть супроводжуватись руйнуванням ґрунту з однієї (асиметричні) і двох (симетричні) сторін від несучої рами ЗРО.

Принципово вирішена проблема керованої поярусної подачі ґрунту із зони різання будь-якого ярусу в порожнину нарізаної щілини без потрапляння ґрунту на денну поверхню. Ефект забезпечується утворенням у кожному ярусі прохідних вікон між суміжними ґрунторозробними органами, несучою рамою і боковими стінками формуємої щілини для направлення ґрунту із зони різання в порожнину щілини. При цьому довжина вікон не менша ширини ґрунтового пласта, а ширина - не менша його висоти з врахуванням збільшення лінійних розмірів при розробці. Більш детально реалізація принципів показана на (рис. 5.2.)

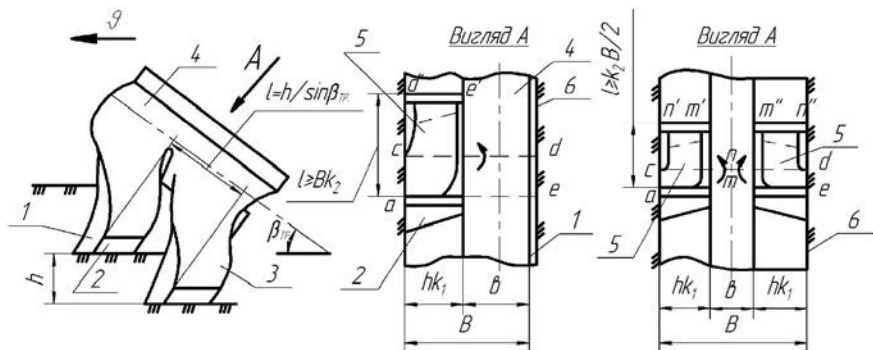


Рисунок 5.2 - Схеми щодо реалізації принципу рівності площ поперечного перерізу зрізаного шару ґрунту і прохідних вікон у кожному ярусі: а – вигляд збоку; б, в – вигляд по стрілці А, відповідно для асиметричного і симетричного руйнування ґрунту; 1, 2 – відповідно вертикальний і горизонтальний ножі; 3 – відвали; 4 – похилий стояк (трубонапрямний тракт); 5 – прохідні вікна; 6 – бічні стінки щілини.

Формування щілини ґрунтується на принципі багатоярусного різання з постійною шириною захвату (симетричного або асиметричного). Кероване транспортування зрізаних шарів ґрунту через прохідні вікна 5 здійснюється за рахунок встановлення криволінійних відвалів. Останні піднімають і повертають шар ґрунту на кут $\pi/2$ – у фронтальній площині, який зрізаний ножами 1, 2 і направляють у прохідні вікна 5, які утворені між суміжними ґрунторозробними органами шириною B , несучою рамою 4 шириною b і бічними стінками 6 щілини, що нарізається. Прохідні вікна мають ширину $B-b \geq hk_1$ на (див. рис. 5.2.б) і $(B-b)/2 \geq hk_1$ на (див. рис. 5.2.в) і відповідно довжину $l = h / \sin(\beta_{tr.}) \geq Bk_2$, де h – висота ярусу (відстань, на яку рознесені ґрунторозробні органи попертикалі); $\beta_{tr.}$ – кут нахилу несучої рами до горизонту; $k_{1,2}$ – коефіцієнти збільшення лінійних розмірів ґрунтового пласта при розробці.

При цьому площа одного прохідного вікна 5 на (див. рис. 5.2.б) або двох прохідних вікон 5 на (див. рис. 5.2.в) у кожному ярусі $F_6 = (B-b)(h/\sin(\beta_{тв.}))$ дорівнює або більша площі поперечного перерізу шару ґрунту, який зрізується ножами 1, 2. Внаслідок того, що товщина (висота) шару ґрунту дорівнює h , то площа поперечного перерізу цього шару складає $F_1 = Bhk_1k_2$. Беручи до уваги те, що розрізаючий ніж 1 на (див. рис. 5.2.в) розміщений на осі симетрії підрізних ножів 2 і розділяє шар ґрунту, що знімається, на дві рівні частини або смуги, то площа поперечного перерізу кожного шару, який направляється у вікна 5 на (див. рис. 5.2.в) дорівнює $F_{1,2} = (B/2)hk_1k_2$. Далі шар ґрунту обтікає несучу раму 4, повертається в фронтальній площині на кут $\pi/2$. у зворотному напрямку і укладається в порожнину щілини максимально розпушеним. Робочий процес на (див. рис. 5.2.в), крім іншого, характеризується симетричністю навантаження по фронту розробки ґрунту і, як наслідок, зниженням енергоємності із-за усунення сил тертя на польовій дощці внаслідок зрівноваження сил по фронту.

Такі принципи створення робочого процесу дозволяють проводити якісну поярусну відвальну розробку ґрунту по глибині і ширині захвату без винесення неродючих шарів на денну поверхню. Це має особливе значення для покращення структури глинистих ґрунтів пластичної консистенції, які не піддаються якісній розробці безвідвальними робочими органами. Крім того, постійна ширина смуги захвату по глибині збільшує об'єм розроблюваного ґрунту, водозахватну і водоакумулюючу властивість щілини. Нахил несучої рами в плузі дозволяє регулювати площу прохідних вікон за рахунок зміни кута $\beta_{тп}$, сприяє перемішуванню і оструктуренню ґрунту на різних ярусах тому, що розробка середовища у верхньому ярусі проходить попередньо всіх наступних.

5.3. Порядок проведення дослідів

1. Закріпити досліджувану модель багатоярусного відвального землерийного робочого органу на тензометричний візок і розміряти розміри плеч двоплечого важеля.

2. Провести підготовку експериментальної ділянки. Для цього розпушити зволожений в ґрунтовому каналі ґрунт, спланувати його поверхню і ущільнити до потрібної міцності ($C_{уд} = 5 - 8$ уд.).

3. Виконати планування поверхні забою.

4. Підготувати пряминок на ґрунтовому каналі та виставити необхідну глибину різання, користуючись механізмом підйому тензометричного ножа.

5. Масштабною лінійкою на поверхні забою відмітити необхідну довжину ділянки різання.

6. Увімкнути реєструючий прилад. Увімкнути хід тензометричного візка. В ході дослідів уважно спостерігати за процесом різання.

7. При досягненні ножа відмітки кінця ділянки різання зупинити тензометричний візок та припинити роботу реєструючого приладу. Обробити отримані дані використовуючи програму *Excel* та побудувати силові залежності.

8. Заміряти глибину різання h_p та ширину бокових розширень B .

9. Підготувати експериментальну ділянку до наступного дослідів, для чого повторити дії вказані в попередніх пунктах.

10. Отримані дані занести в (табл. 5.2.), провести відповідні розрахунки та зробити висновок.

Таблиця 5.2

Результати вимірювань

№	P_i , Н	B , мм
1		
...		
5		

11. При оформленні лабораторної роботи обов'язково законспектувати текст виділений курсивом.

5.4. Захист роботи

Оформлену лабораторну роботу необхідно представити ведучому викладачеві на підпис, попередньо відповівши на поставлені запитання.

Лабораторна робота №6

Тема: Визначення та порівняння сили та енергоємності блокованого та комбінованого різання ґрунту.

Мета роботи: Ознайомитися з фізичною суттю процесу комбінованого та блокованого різання ґрунту та визначити сили різання.

6.1. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є фізична модель пасивного ґрунторозробного органу розпушувача. *Схема фізичної моделі прямокутного плоского ножа (зуба розпушувача) та навіски його на робочу панель тензометричного візка показана на (рис. 6.1).*

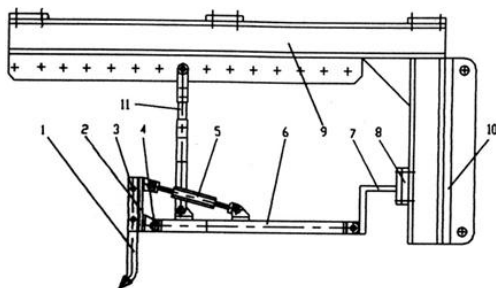


Рисунок 6.1 - Схема кріплення робочого обладнання: 1 – зуб; 2 – універсальна панель; 3 – палець зуба; 4 – універсальний шарнір; 5 – регулюючий підкос; 6 – штовхаюча рама; 7 – тензометри; 8 – балка тензометрів; 9 – Г-подібний кронштейн; 10 – робоча панель; 11 – передня підвіска

Робочий орган розпушувача 1 за допомогою двох пальців 3 закріплено на універсальній панелі 2, яка приєднана за

допомогою шарнірів 4 і регульованих підкосів 5 до універсальної штовхаючої рами 6 фізичної моделі відвала бульдозера.

Універсальна штовхаюча рама за допомогою шарнірів приєднана до Г – подібного кронштейна 9 тензометричного візка через тензометри 7 і передню підвіску 11. Конструкція універсальної панелі 2, при необхідності, дозволяє встановлювати два і більше розпушувальних органів.

6.2. Загальні відомості

На сьогоднішній день однією з основних вимог до проектування, та вдосконалення конструкцій широкозахватних розпушувачів ґрунту є зменшення енергоємності їх роботи, тобто встановлення таких конструкційних параметрів розпушувача, при якому сила різання ґрунту, та енергоємність набувають найменших значень.

Найменша енергоємність процесу розпушування ґрунту забезпечується при його розробці на критичну глибину. Тому, постає мета дослідження сили та енергоємності різання ґрунту на критичній глибині.

Ґрунторозробні органи широкозахватних розпушувачів в залежності від їх розміщення на основній рамі можуть працювати при блокованому, напівблокованому, вільному і комбінованому різанні ґрунту.

На даному етапі процеси блокованого, напівблокованого і вільного різання ґрунту досить детально дослідженні. В літературі відсутні дослідження по комбінованому різанні ґрунту, суть якого полягає у поєднанні зони вільного різання у верхньому ярусі (II) і зони блокованого різання у нижньому ярусі (III), що руйнується одним ґрунторозробним органом (рис. 6.2). Зона вільного різання (II) утворюється за рахунок проходження двох ґрунторозробних органів у верхньому ярусі які працюють при блокованому різанні ґрунту (I) і розміщуються у горизонтальній площині за залежністю:

$$s = b_{\text{бл.1}} + b_{\text{к.}} + (h_{\text{кр.к.}} - h_{\text{бл.}}) \operatorname{ctg}(\gamma_{\text{к.}})$$

При умові, що $\gamma = \gamma_{\text{к.}}$.

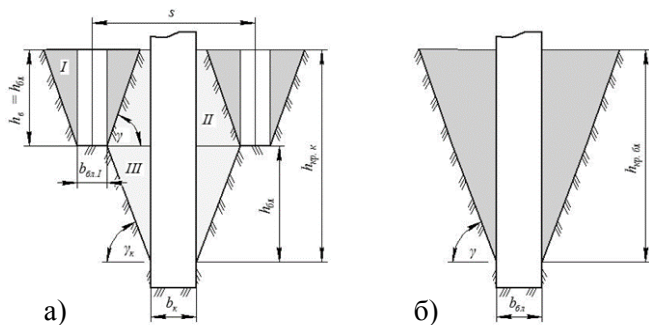


Рисунок 6.2 - Поперечний переріз розпушеного шару ґрунту на критичній глибині при $h_{кр.к} = h_{кр.бл}$: а) при комбінованому різанні ґрунту; б) при блокованому різанні ґрунту.

де: $b_{бл.1}$, b_k – відповідно ширина ґрунторозробних органів першого і другого ярусів при комбінованому різанні ґрунту; $b_{бл.}$ – ширина ґрунторозробного органу при блокованому різанні; $h_{кр.к.}$, $h_{бл.1}$ – відповідно критична глибина ґрунторозробних органів у другому і першому ярусах при комбінованому різанні ґрунту; $h_{бл.}$ – критична глибина при блокованому різанні ґрунту; γ_k – кут бокового зміщення ґрунторозробних органів другого ярусу відносно першого; γ – кут нахилу бічних стінок прорізу до горизонту.

Даний процес є найменш енергоємний оскільки дозволяє зменшити вплив найбільш енергоємної зони блокованого різання ґрунту, дозволяє краще розпушити ґрунт.

Порівняємо силу різання та енергоємність розпушування ґрунту, що виконується трьома ґрунторозробними органами за двоярусною схемою (див. рис.6.2.а), та одним ґрунторозробним органом за однярусною схемою розпушування ґрунту (див. рис. 6.2.б).

Параметри розпушування ґрунту наведені в (табл. 6.1, 6.2.)

Таблиця. 6.1

Параметри розпушування ґрунту за схемою (рис. 6.2 а)

Назва параметрів	Одиниці виміру	Значення
1. Кут розпушення	град	30
2. Ширина наконечника	мм	20
4. Глибина розпушення у верхньому ярусі	мм	100
5. Глибина розпушення у нижньому ярусі	мм	200
6. Відстань між ґрунторозробними органами у верхньому ярусі	мм	180

Таблиця 6.2

Параметри розпушування ґрунту за схемою (рис. 6.2 б)

Назва параметрів	Одиниці виміру	Значення
1. Кут розпушення	град	30
2. Ширина наконечника	мм	20
3. Глибина розпушення у верхньому ярусі	мм	200

6.3. Порядок проведення дослідів

1. Провести підготовку експериментального поля. Для цього потрібно розпушити зволожений в каналі ґрунт, спланувати його поверхню і ущільнити до потрібної міцності.

2. Відібрати із експериментального поля зразки ґрунту для визначення його вологості та щільності по стандартній методиці.

3. Підготувати пряминок та встановити модель зуба розпушувача в вихідне положення за 150...200 мм до ребра прямоку.

4. Виставити необхідну глибину різання h_p , користуючись механізмом підйому робочої панелі навіски тензометричного ножа.

5. Встановити необхідну відстань між ґрунторозробними органами у верхньому ярусі.

6. Лінійкою або рулеткою відміряти необхідну довжину шляху реалізації розпушення. Довжину шляху пропонується прийняти в межах 500...700 мм.

7. Провести запланований дослід, ввімкнувши попередньо вимірювальну систему.

8. При досягненні ґрунторозробними органами відміченої довжини експериментального поля зупинити рух тензометричного візка і вимкнути тензометричну систему.

9. Перемістити тензометричний візок у вихідне положення.

10. Підготувати виступ експериментального поля та встановити ґрунторозробний органи розпушувача в вихідне положення на глибину 200 мм між слідами розпушування ґрунторозробних органів у верхньому ярусі.

11. При досягненні ґрунторозробним органом відміченої довжини експериментального поля зупинити рух тензометричного візка і вимкнути тензометричну систему, та визначити площу поперечного перерізу розпушеного шару ґрунту.

12. Перемістити тензометричний візок в вихідне положення і підготувати експериментальне поле до дослідження блокованого різання.

13. Підготувати приямок та встановити ґрунторозробний органи розпушувача в вихідне положення на глибину 200 мм.

14. При досягненні зубом відміченої довжини експериментального поля зупинити рух тензометричного візка і вимкнути тензометричну систему, та заміряти площу поперечного перерізу розпушеного шару ґрунту.

15. Після проведення дослідів розшифрувати отримані осцилограми.

16. Занести результати в (табл. 6.3.)

17. Порівняти сумарну силу і енергоємність розпушування ґрунту двоярусною та одноярусною схемою розробки ґрунту.

18. Енергоємність розпушування ґрунту визначається відношенням сили різання до площі поперечного перерізу розпушеного шару ґрунту.

19. Оформити висновки.

Таблиця 6.3

Результати вимірювань		
№	P_i , Н	F , мм
1		
...		
5		

20. При оформленні лабораторної роботи обов'язково законспектувати текст виділений курсивом.

Список рекомендованої літератури

1. Кравець С. В., Косяк О. В. 02-01-354 Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Машини для прокладання підземних комунікацій». Рівне : НУВГП, 2017. 47 с.

URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/5557/1/02-01-354.pdf>

2. Кравець С. В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій. Рівне : РДТУ. 1999. 277 с.

3. Експериментальні методи дослідження деформацій та напруг: Довідковий посібник / Б. З. Касаткін, А. Б. Кудрін, Лобанов Л. М. та ін. Київ : Наукова думка. 1981. 584 с.

4. Кравець С. В., Кованько В. В., Лук'янчук О. П. Наукові основи створення землерийно – ярусних машин та підземнорухомих пристроїв : монографія. Рівне : НУВГП, 2015. 322 с.

URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/3203/>

5. Критичноглибинні двоярусні ґрунторозпушувачі : монографія / Кравець С. В., Скоблюк М. П., Стіньо О. В., Зоря Р. В.; за заг. ред. С. В. Кравця. Рівне : НУВГП, 2018. 235 с.

URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/10061>

6. Кравець С. В. Теорія руйнування робочих середовищ : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2008. 124 с.

URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/2113>

7. Машины для прокладання підземних комунікацій (наукові основи створення) : підручник / Кравець С. В., Нечидюк А. А., Косяк О. В.; за заг. ред. С .В Кравця. Рівне : НУВГП, 2018. 270 с.

URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/12061>