МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання практичних робіт
з дисципліни «Меліоративні машини»

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньо-професійних програм «Агроінженерія» (спеціальність H7 Агроінженерія) та «Галузеве машинобудування» (спеціальність G11, спеціалізація G11.03 «Технологічні машини та обладнання») денної та заочної форм навчання

Ухвалено
на засіданні кафедри сільськогосподарського машинобудування.
Протокол № 1 від «27» серпня 2026 р.

Кропивницький – 2026

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Меліоративні машини» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОПП «Агроінженерія» (спеціальність H7 Агроінженерія) та «Галузеве машинобудування» (спеціальність G11, спеціалізація G11.03 «Технологічні машини та обладнання») денної та заочної форм навчання / уклад. Д. В. Богатирьов, В. М. Сало, О. В. Юрченко, В.В. Амосов. Кропивницький : ЦНТУ, 2026. 71 с.

Укладачі: Д. В. Богатирьов, канд. техн. наук, доцент
В. М. Сало, докт. техн. наук, професор
О. В. Юрченко, канд. екон. наук, доцент
В.В. Амосов, канд. техн. наук, доцент

Рецензент Скриннік Іван Олександрович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва ЦНТУ

Розглянуто та схвалено на засіданні кафедри сільськогосподарського машинобудування, протокол № 1 від «27» серпня 2026 р.

Методичні рекомендації містять вісім практичних робіт відповідно до робочої програми навчальної дисципліни «Меліоративні машини»: мету, короткі теоретичні відомості, розрахункові залежності, порядок виконання, приклад розрахунку, 15 варіантів вихідних даних, огляд сучасної техніки та контрольні запитання. У теоретичних відомостях використано матеріали електронного посібника В. Гочь «Основи меліорації і ландшафтознавства» [17], у розрахункових завданнях – методичні вказівки КНТУ 2006 р. [9] і матеріали «Інженерний аналіз та кінематика меліоративних технічних систем», формули яких перевірено на розмірність і уточнено. Кожна робота містить розрахункові та технологічні схеми, рисунки і фотографії машин, технічні характеристики вітчизняних машин за методичними рекомендаціями ЦНТУ 2020 р. [8] та сучасних машин за даними виробників.

© Богатирьов Д. В., Сало В. М., Юрченко О. В., Амосов В.В., 2026
© ЦНТУ, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП..... 4
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1. ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ МЕЛІОРОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ І РОЗРАХУНОК ПРОХІДНОСТІ МЕЛІОРАТИВНОЇ МАШИНИ..... 5
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2. РОЗРАХУНОК КУЩОРІЗА З ПАСИВНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТОРНОГО МУЛЬЧЕРА 13
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3. РОЗРАХУНОК ПРОДУКТИВНОСТІ БУЛЬДОЗЕРА І СКРЕПЕРА НА МЕЛІОРАТИВНИХ ЗЕМЛЯНИХ РОБОТАХ..... 23
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4. ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК ПЛУЖНОГО КАНАЛОКОПАЧА І РОЗРАХУНОК ФРЕЗЕРНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ... 31
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК І СТІЙКІСТЬ УКОСІВ ВІДКРИТОГО КАНАЛУ. ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК КАВАЛЬЄРОРОЗРІВНЮВАЧА..... 40
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6. РОЗРАХУНОК КАНАЛООЧИЩУВАЧА З РОТАЦІЙНИМ (КОВШОВИМ) РОБОЧИМ ОРГАНОМ..... 47
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7. РОЗРАХУНОК ВІДСТАНІ МІЖ ДРЕНАМИ ТА ПАРАМЕТРІВ ТРАНШЕЙНОГО ДРЕНОУКЛАДАЧА..... 53
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8. РОЗРАХУНОК РЕЖИМУ РОБОТИ ДОЩУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ТА ГІДРАВЛІКИ КРАПЕЛЬНОГО ЕМІТЕРА..... 60
РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ..... 69
ДОДАТОК А. ДОВІДКОВІ ДАНІ..... 71

ВСТУП

Мета практичних занять з дисципліни «Меліоративні машини» – закріпити теоретичні знання про будову і робочі процеси меліоративних машин та сформувати вміння виконувати їх інженерні розрахунки: тяговий, енергетичний, кінематичний розрахунок і розрахунок продуктивності, а також обґрунтовано вибирати машини для конкретних умов освоєння, осушення, зрошення та рекультивації земель. Практичні роботи відповідають темам робочої програми (по одній роботі на тему, 8 робіт × 2 год = 16 год для денної форми). Здобувачі заочної форми виконують в аудиторії роботи № 4 і № 8, а решту – самостійно як контрольні завдання.

Номер варіанта визначається двома останніми цифрами номера залікової книжки (студентського квитка): якщо число не перевищує 15, воно і є номером варіанта; якщо більше 15 – номером варіанта є остача від ділення цього числа на 15 (остача 0 відповідає варіанту 15). Наприклад, для числа 37 – варіант 7, для 45 – варіант 15.

Звіт оформлюють на аркушах формату А4 (рукописно або в текстовому редакторі) і подають у системі Moodle або на занятті. Звіт містить: назву і мету роботи; вихідні дані свого варіанта; розрахункові схеми; розрахунки з формулами в загальному вигляді, підставленими значеннями та одиницями вимірювання (система СІ); таблиці та графіки результатів; висновки. Розрахунки допускається виконувати в MS Excel / LibreOffice Calc, SMath Studio або Python із додаванням файлу розрахунку.

Кожну практичну роботу оцінюють за шкалою 0–5 балів відповідно до критеріїв робочої програми: 5 – розрахунок виконано повністю і правильно, наведено схеми, обґрунтовано висновки, здобувач вільно пояснює методику під час захисту; 4 – незначні неточності; 3 – окремі помилки, що не змінюють суті результату; 2 – розрахунок виконано частково або з суттєвими помилками; 1 – виконано окремі етапи; 0 – роботу не виконано або не захищено. Роботи, подані із запізненням без поважних причин, оцінюють зі зниженням на 1 бал.

Академічна доброчесність і безпека. Розрахунки виконують самостійно за своїм варіантом. Використання інструментів штучного інтелекту допускається лише для пошуку довідкової інформації з обов’язковим зазначенням цього у звіті. Під час роботи з макетами, робочими органами і натурними зразками машин у навчальній лабораторії дотримуються інструкцій з охорони праці.

Примітка щодо довідкових даних. Таблиці «Сучасна техніка» мають оглядовий характер; технічні характеристики конкретних моделей слід уточнювати за актуальними каталогами та сайтами виробників, оскільки модельні ряди регулярно оновлюються.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ МЕЛІОРОВАНИХ ЗЕМЕЛЬ І РОЗРАХУНОК ПРОХІДНОСТІ МЕЛІОРАТИВНОЇ МАШИНИ

(Тема 1. Меліорація земель і система меліоративних машин; тривалість – 2 год)

Мета роботи:

– засвоїти показники міцності (зсуву) і розпушення ґрунтів, які визначають опір копанню та роботу меліоративних машин;

– навчитися визначати середній і крайові питомі тиски гусеничної машини на ґрунт, координати центру тиску та оцінювати прохідність машини на торф’яних і перезволожених ґрунтах.

Обладнання та засоби: схеми гусеничних меліоративних машин (кротодренажна машина, корчувач, каналоочищувач), плакати, калькулятор або MS Excel / LibreOffice Calc.

1. Короткі теоретичні відомості

Меліорація – це комплекс організаційно-господарських і технічних заходів, спрямованих на докорінне поліпшення несприятливих природних умов (водного, повітряного, теплового й поживного режимів ґрунтів) з метою їх ефективного використання. Розрізняють гідротехнічні (осушувальні, зрошувальні), культуртехнічні, хімічні, агролісотехнічні, протиерозійні та інші меліорації [17].

Водний режим ґрунту – сукупність процесів надходження, переміщення, витрачання та зміни стану води в ґрунті. Його характеризують запасами вологи, найменшою (польовою) вологоємністю НВ, вологістю розриву капілярних зв’язків і вологістю в’янення; співвідношення прибуткових і видаткових статей водного балансу визначає тип водного режиму і потребу в осушенні або зрошенні [17].

Опір ґрунту руйнуванню робочими органами визначається його міцністю на зсув. Для зв’язних мінеральних ґрунтів використовують критерій Мора – Кулона: граничний опір зсуву зростає лінійно з нормальним напруженням. Насичені водою торф’яні ґрунти поводяться як в’язко-пластичне середовище, опір якого залежить також від швидкості деформації (модель Бінгама – Шведова). Після розробки ґрунт збільшується в об’ємі, що враховують коефіцієнтом розпушення $K_р$, – він необхідний для розрахунку продуктивності землерийних машин (практична робота № 3).

Прохідність – експлуатаційна властивість меліоративної машини, що характеризує її здатність працювати в умовах бездоріжжя, на болотах і

перезволожених землях. Вона забезпечується, якщо середній питомий тиск гусениць не перевищує 14…18 кПа на неосушених і 25…30 кПа на осушених торфовищах, а центр тиску (точка перетину рівнодійної вертикальних сил з опорною поверхнею) лежить у межах ядра перерізу – тоді по всій довжині гусениць тиск додатний, а машина не «кльовує» й не буксує [9]. Підвищують прохідність збільшенням ширини і довжини гусениць (болотохідні модифікації), раціональним розміщенням навісного обладнання й баластуванням.

Будова і робочий процес машин

Розрахункову схему гусеничної меліоративної машини з навісним робочим органом наведено на рис. 1.1. На машину діють вага базового трактора G, вага навісного обладнання G_o та вертикальна складова опору ґрунту на робочому органі P_z; їхня рівнодійна визначає положення центру тиску С. Якщо С лежить у межах ромбоподібного ядра перерізу опорної поверхні (рис. 1.1, б), тиск під гусеницями розподіляється за трапецією без ділянок відриву; у протилежному разі частина гусениці розвантажується, машина «клює» і втрачає прохідність.

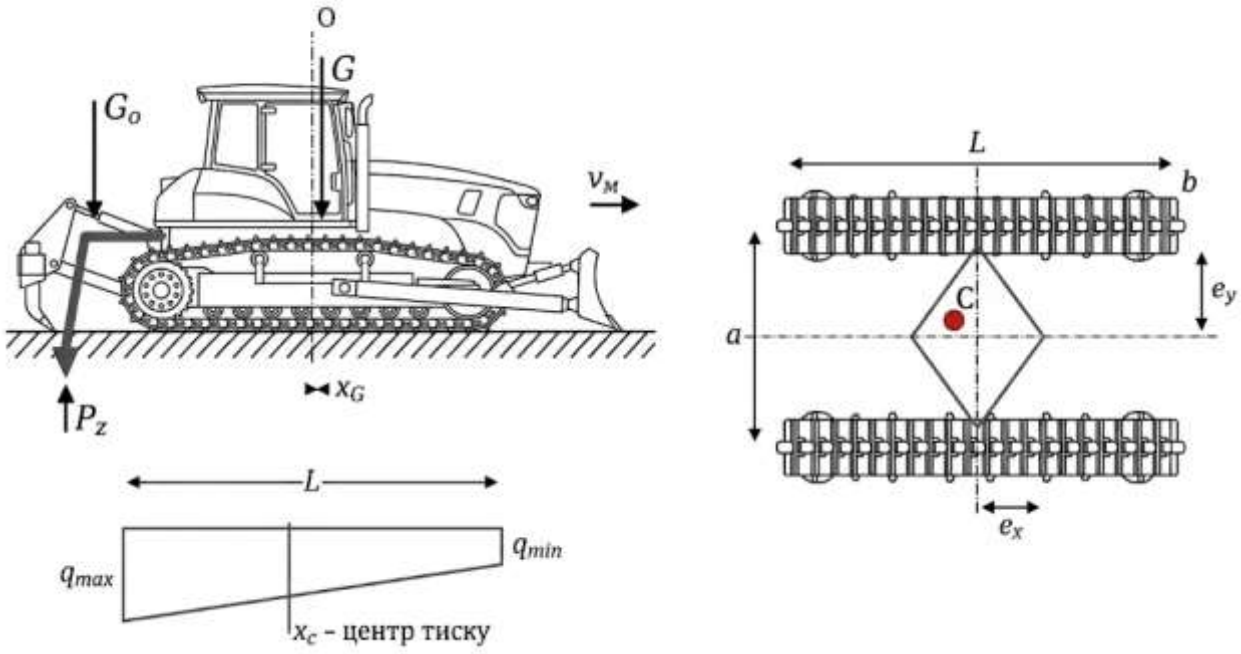


Рисунок 1.1 – Розрахункова схема гусеничної меліоративної машини: а – діючі сили та епюра тиску; б – опорна поверхня гусениць, ядро перерізу і центр тиску С

Базовими машинами вітчизняних меліоративних агрегатів були гусеничні трактори тягового класу 6 (Т-130, Т-170) та їх болотохідні модифікації з розширеними гусеницями (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Гусеничний трактор класу 6 (Т-130) з бульдозерним обладнанням – базова машина меліоративних агрегатів

Сучасні бульдозери-болотоходи виконують у виконанні LGP (Low Ground Pressure) з черевиками шириною 760…915 мм, що забезпечує питомий тиск 34…45 кПа (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики сучасних болотохідних бульдозерів (Caterpillar D6, виконання LGP)

Показник	**D6 LGP, черевик 760 мм**	**D6 LGP, черевик 915 мм**
Експлуатаційна маса, кг	22 870	23 911
Питомий тиск на ґрунт, кПа	45	36
Ширина черевика гусениці, мм	760	915
Тип відвала	напівсферичний (SU)	прямий
Місткість відвала, м³	5,8	3,8

Джерело: специфікації виробника (cat.com, 2026). Допустимий питомий тиск: 14…18 кПа – неосушені, 25…30 кПа – осушені торфовища [9].

2. Розрахункові залежності

Граничний опір ґрунту зсуву (критерій Мора – Кулона), кПа:

$$\tau_f = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \qquad (1.1)$$

де c – питоме зчеплення, кПа;

σ – нормальне напруження на площині зсуву, кПа;

φ – кут внутрішнього тертя, град.

Дотичне напруження у в’язко-пластичному (торф’яному) ґрунті (модель Бінгама – Шведова), Па:

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \dot{\gamma} \tag{1.2}$$

де τ_0 – граничне напруження зсуву, Па (у табл. 1.2 задано в кПа, при підстановці помножити на 10^3);

η_p – пластична в’язкість, Па·с;

$\dot{\gamma}$ – швидкість деформації зсуву, $с^{-1}$.

Коефіцієнт розпушення ґрунту:

$$K_p = \frac{V_{після}}{V_{до}} \tag{1.3}$$

де $V_{до}$, $V_{після}$ – об’єм ґрунту в щільному тілі та після розроблення, м³.

Сума вертикальних сил, кН, і середній питомий тиск гусениць на ґрунт, кПа:

$$\sum G = G + G_o + P_z,$$
$$q_{сер} = \frac{\sum G}{2\, b\, L} \tag{1.4}$$

де G – вага базової машини, кН;

G_o – вага робочого обладнання, кН;

P_z – вертикальна складова опору ґрунту на робочому органі, кН;

b, L – ширина та довжина опорної частини гусениці, м.

Поздовжня координата центру тиску відносно центру опорної поверхні, м:

$$x_c = \frac{G\, x_G + G_o\, x_o + P_z\, x_p}{\sum G} \tag{1.5}$$

де x_G, x_o, x_p – плечі сил відносно центру опорної поверхні, м («+» – вперед за ходом).

Реакції ґрунту, кН, і середні тиски під більш і менш навантаженою гусеницею, кПа:

$$R_{1,2} = \sum G \left(0{,}5 \pm \frac{y_c}{a}\right),$$
$$q_{1,2} = \frac{R_{1,2}}{b\, L} \tag{1.6}$$

де y_c – поперечне зміщення центру тиску, м;

a – колія (відстань між осями гусениць), м.

Тиск під переднім і заднім краями гусениці, кПа:

$$q_{max,min} = q_{1,2}\left(1 \pm \frac{6\,x_c}{L}\right) \tag{1.7}$$

Півосі ромбоподібного ядра перерізу опорної поверхні, м:

$$e_x = \frac{L}{6},$$
$$e_y = \frac{3a^2 + b^2}{6\,(a+b)} \tag{1.8}$$

3. Порядок виконання роботи

1. За даними частини А обчислити τ_f, τ і K_p; пояснити, який ґрунт складніше розробляти.

2. Накреслити схему машини з діючими силами G, G_o, P_z у масштабі (рис. 1.1).

3. Визначити $\sum G$ і $q_{сер}$ для робочого положення та порівняти з допустимим тиском для заданого типу торфовища.

4. Обчислити x_c, реакції R_1, R_2, середні q_1, q_2 і крайові тиски під гусеницями; побудувати епюри тиску.

5. Побудувати ядро перерізу, нанести центр тиску й зробити висновок про прохідність; запропонувати заходи для її покращення.

4. Приклад розрахунку (варіант 6)

Частина А. Граничний опір зсуву, дотичне напруження і коефіцієнт розпушення:

$$\tau_f = 40 + 160 \cdot \operatorname{tg} 26^\circ = 118{,}0 \text{ кПа};$$
$$\tau = 30 \cdot 10^3 + 400 \cdot 7 = 32800 \text{ Па};$$
$$K_p = \frac{1{,}28}{1{,}00} = 1{,}28.$$

Частина Б. Сума вертикальних сил і середній тиск:

$$\sum G = 119 + 22{,}9 + 10{,}7 = 152{,}6 \text{ кН};$$
$$q_{сер} = \frac{152{,}6}{2 \cdot 1{,}07 \cdot 3{,}29} = 21{,}7 \text{ кПа} < [q] = 30 \text{ кПа}.$$

Торфовище осушене, отже допустимий тиск $[q] = 30$ кПа – умова виконується.

Координата центру тиску, реакції і тиски:

$$x_c = \frac{119 \cdot (-0{,}19) + 22{,}9 \cdot 1{,}41 + 10{,}7 \cdot 1{,}61}{152{,}6} = 0{,}176 \text{ м};$$

$$R_{1,2} = 152{,}6\left(0{,}5 \pm \frac{0{,}13}{2{,}31}\right); \quad R_1 = 84{,}9 \text{ кН}, \quad R_2 = 67{,}7 \text{ кН};$$

$$q_1 = \frac{84{,}9}{1{,}07 \cdot 3{,}29} = 24{,}1 \text{ кПа}, \quad q_2 = 19{,}2 \text{ кПа};$$

$$q_{1max,min} = 24{,}1\left(1 \pm \frac{6 \cdot 0{,}176}{3{,}29}\right) = 31{,}9 \,/\, 16{,}4 \text{ кПа};$$

$$q_{2max,min} = 19{,}2\left(1 \pm \frac{6 \cdot 0{,}176}{3{,}29}\right) = 25{,}4 \,/\, 13{,}0 \text{ кПа}.$$

Ядро перерізу:

$$e_x = \frac{3{,}29}{6} = 0{,}548 \text{ м}, \quad e_y = \frac{3 \cdot 2{,}31^2 + 1{,}07^2}{6\,(2{,}31 + 1{,}07)} = 0{,}846 \text{ м}.$$

Висновок: $|x_c| = 0{,}176 < e_x$, $|y_c| = 0{,}13 < e_y$, $q_{сер} < [q]$ – прохідність машини забезпечена.

5. Вихідні дані

Варіант вихідних даних вибирають за табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Варіанти вихідних даних до практичної роботи № 1

Вар.	c, кПа	σ, кПа	φ, °	$V_{піс.}$, м³	τ_0, кПа	η_p, Па·с	γ, 1/с	G, кН	xG, м
1	15	60	16	1,15	15	150	2	80	−0,40
2	20	80	18	1,18	18	200	3	102	−0,28
3	25	100	20	1,2	20	250	4	90	−0,35
4	30	120	22	1,22	25	300	5	112	−0,22
5	35	140	24	1,25	28	350	6	96	−0,31
6	40	160	26	1,28	30	400	7	119	−0,19
7	45	180	28	1,3	35	450	8	83	−0,38
8	50	200	30	1,32	40	500	9	106	−0,26
9	60	220	32	1,35	45	550	10	125	−0,15
10	70	240	34	1,4	50	600	9	93	−0,33
11	75	250	35	1,38	48	580	8	115	−0,20
12	12	55	15	1,16	12	120	1	86	−0,36
13	32	130	23	1,24	22	280	4,5	109	−0,24
14	42	170	27	1,29	32	420	7,5	99	−0,29
15	65	230	33	1,37	42	520	9,5	122	−0,17

Продовження таблиці 1.2

Вар.	G0, кН	x_0, м	Pz, кН	x_p, м	y_c, м	L, м	b, м	a, м	Торф
1	10,0	0,90	3,0	1,10	0,02	2,60	0,90	1,80	н
2	17,5	1,20	7,5	1,40	0,09	3,00	1,00	2,10	о
3	13,2	1,03	4,9	1,23	0,05	2,77	0,94	1,93	о
4	20,7	1,33	9,4	1,53	0,11	3,17	1,04	2,23	о
5	15,4	1,11	6,2	1,31	0,07	2,89	0,97	2,01	н
6	22,9	1,41	10,7	1,61	0,13	3,29	1,07	2,31	о
7	11,1	0,94	3,6	1,14	0,03	2,66	0,91	1,84	о
8	18,6	1,24	8,1	1,44	0,09	3,06	1,01	2,14	о
9	25,0	1,50	12,0	1,70	0,15	3,40	1,10	2,40	н
10	14,3	1,07	5,6	1,27	0,06	2,83	0,96	1,97	о
11	21,8	1,37	10,1	1,57	0,12	3,23	1,06	2,27	о
12	12,1	0,99	4,3	1,19	0,04	2,71	0,93	1,89	о
13	19,6	1,29	8,8	1,49	0,10	3,11	1,03	2,19	н
14	16,4	1,16	6,9	1,36	0,08	2,94	0,99	2,06	о
15	23,9	1,46	11,4	1,66	0,14	3,34	1,09	2,36	о

Примітка. $V_{до}$ = 1,0 м³ для всіх варіантів; торфовище: н – неосушене, о – осушене.

6. Сучасна техніка (огляд)

Таблиця 1.3 – Приклади сучасних машин і обладнання

Тип машини	Виробник / модель (серія)	Особливості
Болотохідні гусеничні трактори і шасі	Caterpillar D6 LGP, Komatsu D61PX (LGP – Low Ground Pressure)	Розширені гусениці, знижений питомий тиск
Гусеничні базові машини меліоративних агрегатів	Т-130Б, Т-170Б (болотохідні модифікації)	Базові машини для кротодренажних машин, корчувачів, каналоочищувачів

7. Зміст звіту

Назва і мета роботи; вихідні дані варіанта; розрахункова схема (за рис. 1.1) з позначенням сил і розмірів; розрахунок за формулами розділу 1 з підстановкою чисел і одиницями вимірювання; таблиця результатів; висновки щодо працездатності машини та шляхів покращення її показників.

8. Контрольні запитання

1. Які види меліорацій ви знаєте? Наведіть приклади машин для кожного виду.
2. Що характеризує водний режим ґрунту? Назвіть основні типи водного режиму.
3. Поясніть фізичну сутність критерію міцності Мора-Кулона для зв’язних ґрунтів.
4. Поясніть фізичний зміст параметрів моделі Бінгама-Шведова для торфовищ.
5. Як коефіцієнт розпушення пов’язаний із пористістю ґрунту після обробітку?
6. Що таке прохідність машини і якими показниками вона оцінюється?
7. Що таке центр тиску та ядро перерізу? Чому центр тиску має бути в ядрі перерізу?
8. Якими заходами можна підвищити прохідність меліоративної машини?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

РОЗРАХУНОК КУЩОРІЗА З ПАСИВНИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОТОРНОГО МУЛЬЧЕРА

(Тема 2. Машини для культуртехнічних робіт і первинного обробітку меліорованих земель; тривалість – 2 год)

Мета роботи:

– вивчити будову та робочий процес кущорізів з пасивним (клиноподібним) робочим органом і активних роторних мульчерів;

– навчитися визначати опір зрізанню стовбура, тягове зусилля агрегату, продуктивність кущоріза та запас кінетичної енергії ротора мульчера.

Обладнання та засоби: макети і плакати кущорізів, корчувачів, фрезерних машин, відеоматеріали; методичні вказівки до лабораторних робіт [8], калькулятор / MS Excel.

1. Короткі теоретичні відомості

Культуртехнічні меліорації – комплекс заходів з поліпшення та первинного окультурювання земель: видалення деревно-чагарникової рослинності, пнів, купин і каміння, первинний обробіток, планування поверхні; до них належить і рекультивація порушених земель [17].

Деревина – анізотропний пружно-пластичний матеріал: її опір різанню залежить від напрямку дії сили відносно волокон і від вологості. У пасивному кущорізі клиноподібний відвал спочатку нахиляє стовбур уперед (попередній згин): волокна з боку ножа розтягуються, що знижує опір перерізанню; далі горизонтальний ніж здійснює косе різання з ковзанням, за якого збільшена довжина леза в контакті $L_p = D / \cos \alpha$ зменшує питоме зусилля. Активні роторні мульчери подрібнюють рослинність ударом різців ротора, що обертається з частотою близько 2000 $хв^{-1}$, за рахунок накопиченої кінетичної енергії; біомаса залишається на полі у вигляді тріски, що усуває спалювання.

Агротехнічні вимоги: висота пнів після зрізання – не більше 5…10 см, мінімальне пошкодження гумусового шару, повнота очищення площі не менше 95 %. Подрібнена деревина, внесена в ґрунт, тимчасово зв’язує азот, тому передбачають компенсаційне внесення азотних добрив.

Будова і робочий процес машин

Пасивний кущоріз ДП-24 (рис. 2.1) – причіпна машина до гусеничного трактора Т-130.1.Г-1. Він складається з рами 5, корпусу 2, обгороджування 3 і гідроциліндрів 4. На боковинах корпусу закріплені відвали 6 з ножами 7, що утворюють двогранний клин з кутом 64°, а до передньої частини корпусу приварений плоский клин-колун 1. Під час роботи клин-колун розколює пні й

розсовує повалені дерева, ножі 7 зрізають кущі, а двосторонній відвал 6 відводить зрізану масу вбік і укладає у валки. Висоту ножів над ґрунтом (0…2 см) регулюють переставлянням копіювальних лиж; ножі заточують до товщини леза 0,2…0,4 мм [8]. Схему сил при косому різанні стовбура показано на рис. 2.2.

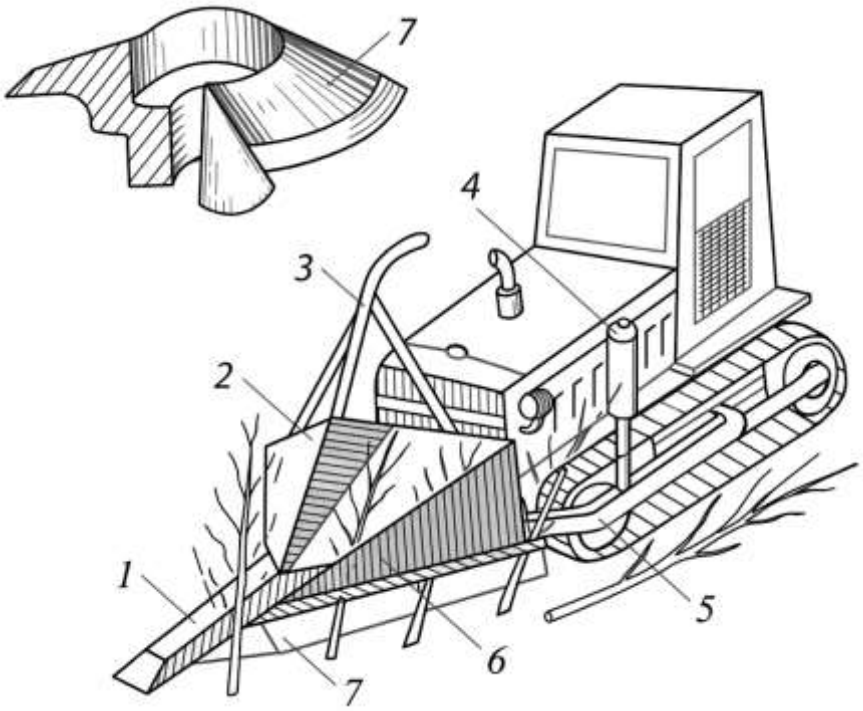


Рисунок 2.1 – Кущоріз ДП-24 [8]: 1 – клин-колун; 2 – корпус; 3 – обгороджування; 4 – гідроциліндри; 5 – рама; 6 – відвал; 7 – ножі

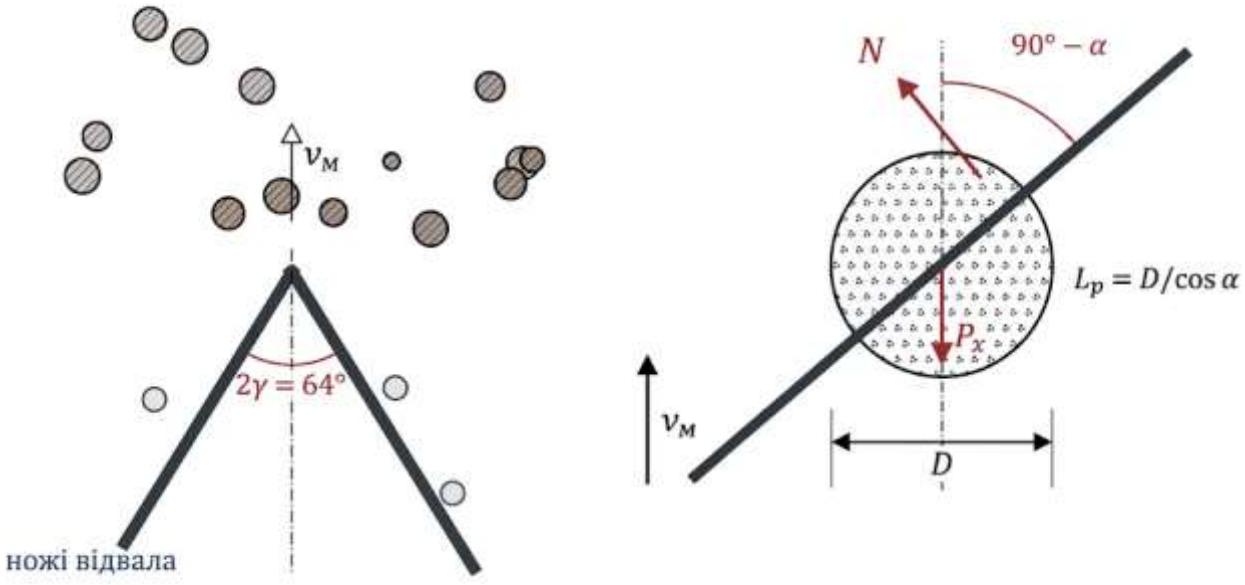


Рисунок 2.2 – Схема до розрахунку пасивного кущоріза: а – план клиноподібного робочого органу; б – косе різання стовбура

Для корчування пнів і видалення каміння застосовують корчувачі різних схем (рис. 2.3): корчувачі-збирачі з передньою навіскою МП-2А, МП-25, ДП-8А, корчувачі з задньою навіскою ДП-25, корчувачі-навантажувачі з щелепним захватом, роторні самохідні машини. Каміння з поверхні та орного шару збирають каменезбиральною машиною УКП-0,6 з гребінкою 1, бункером 2 і зубами 6 (рис. 2.6).

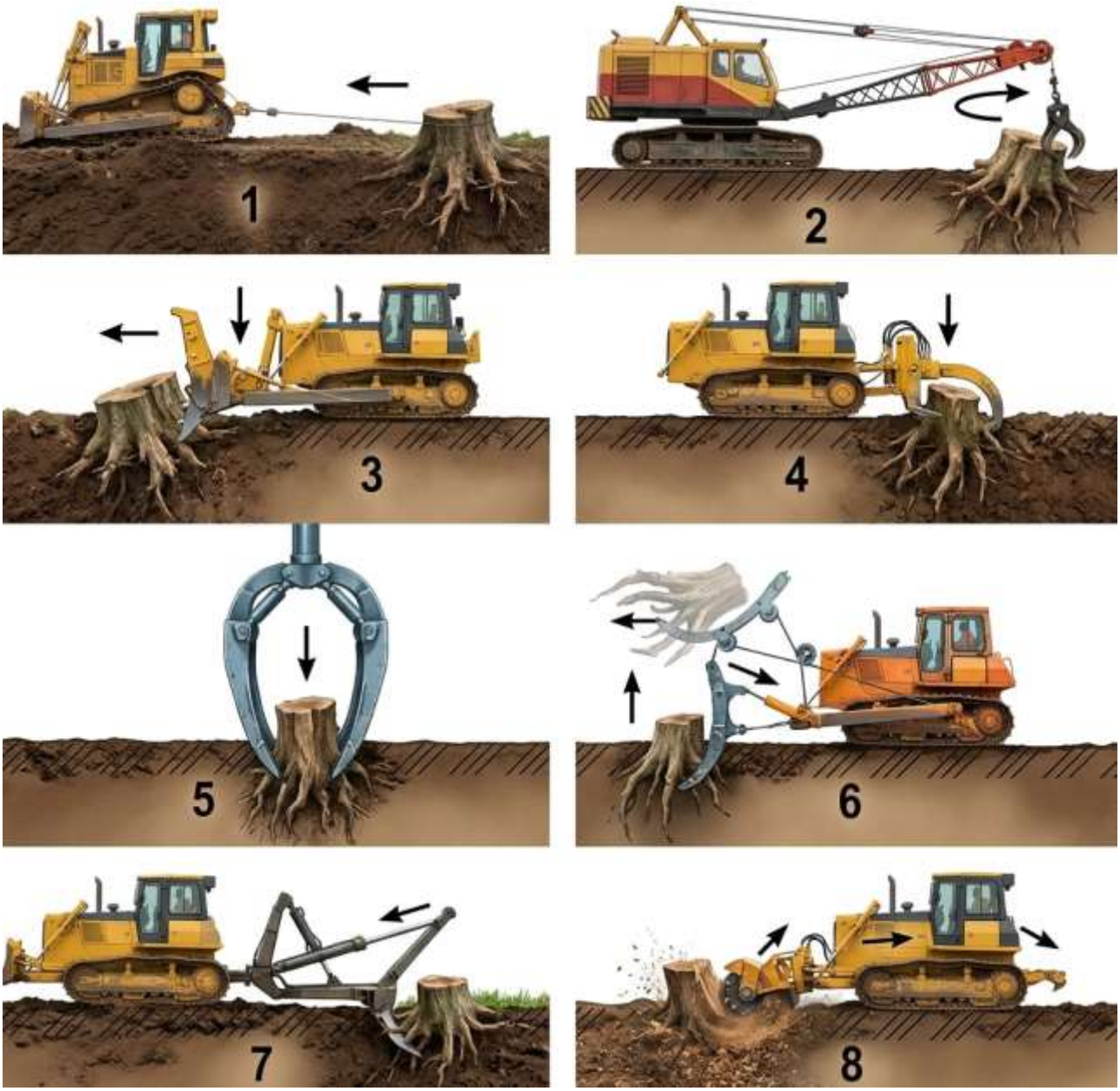


Рисунок 2.3 – Схеми корчувальних машин [8]: 1 – трактор з канатом (корчування прямою тягою); 2 – екскаватор зі змінним корчувальним обладнанням; 3 – корчувач-збирач з передньою навіскою; 4 – корчувач із задньою навіскою; 5 – корчувач-навантажувач із щелепним захватом; 6 – корчувач-навантажувач з передньою навіскою; 7 – навісний важільний корчувач; 8 – самохідна машина роторного типу

Первинний обробіток закущених і заболочених земель виконують болотною фрезою ФБН-2,0 (рис. 2.4): фрезерний барабан 8 з ножами отримує привід від ВВП трактора через механізм перемикання 1, редуктори 2, 5, 6 і

карданний вал 3; грабельна решітка 7 затримує великі рештки, опорне колесо 9 задає глибину. Для глибокого фрезерування торфовищ з пнями використовують машину МТП-42 (рис. 2.5) з барабаном діаметром 838 мм, на якому розміщено 8 рядів по 12 дискових ножів діаметром 95 мм; котки 1 і 4 ущільнюють і вирівнюють поверхню. Сучасні роторні мульчери (рис. 2.7) подрібнюють деревину ротором з молотками або різцями і вносять тріску в ґрунт.

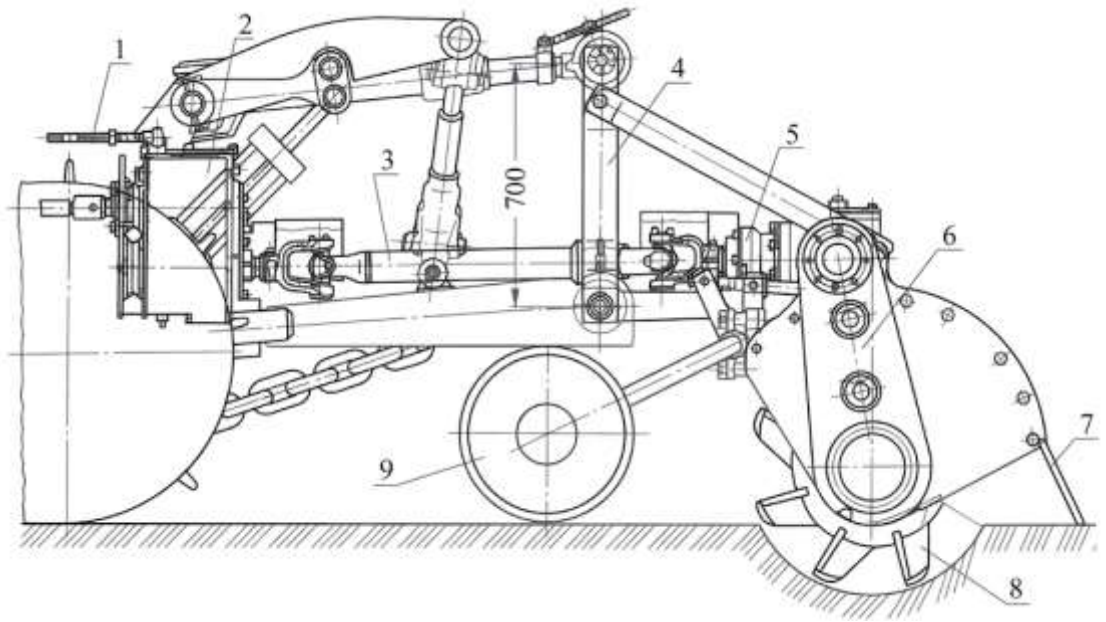


Рисунок 2.4 – Болотна фреза ФБН-2,0 [8]: 1 – механізм перемикання; 2, 5, 6 – редуктори; 3 – карданний вал; 4 – підвіска; 7 – грабельна решітка; 8 – фрезерний барабан; 9 – опорне колесо

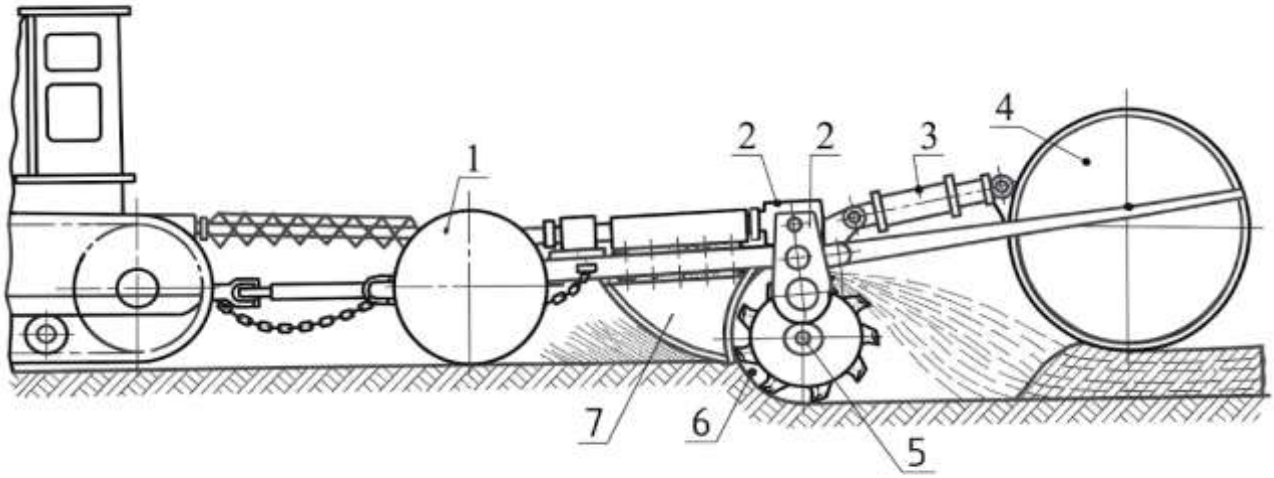


Рисунок 2.5 – Машина для глибокого фрезерування МТП-42 (технологічна схема) [8]: 1, 4 – котки; 2, 5 – редуктори; 3 – гідроциліндр; 6 – фрезерний барабан; 7 – відбивна плита

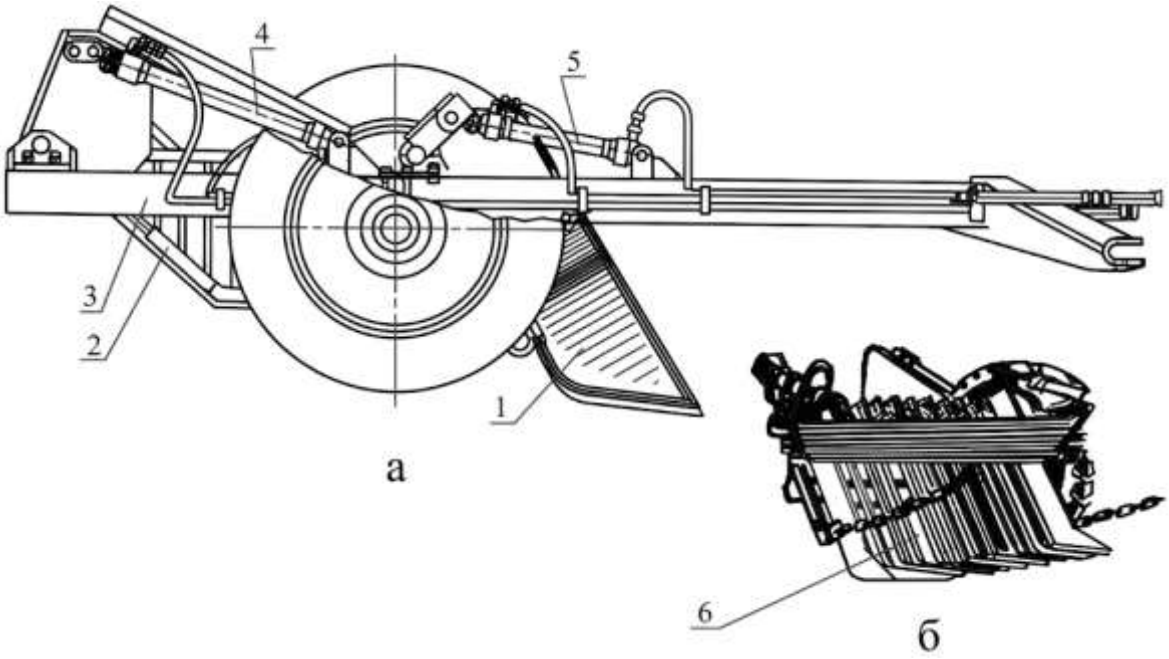


Рисунок 2.6 – Каменезбиральна машина УКП-0,6 [8]: а – будова; б – гребінка; 1 – гребінка; 2 – бункер; 3 – рама; 4, 5 – гідроциліндри; 6 – зуби

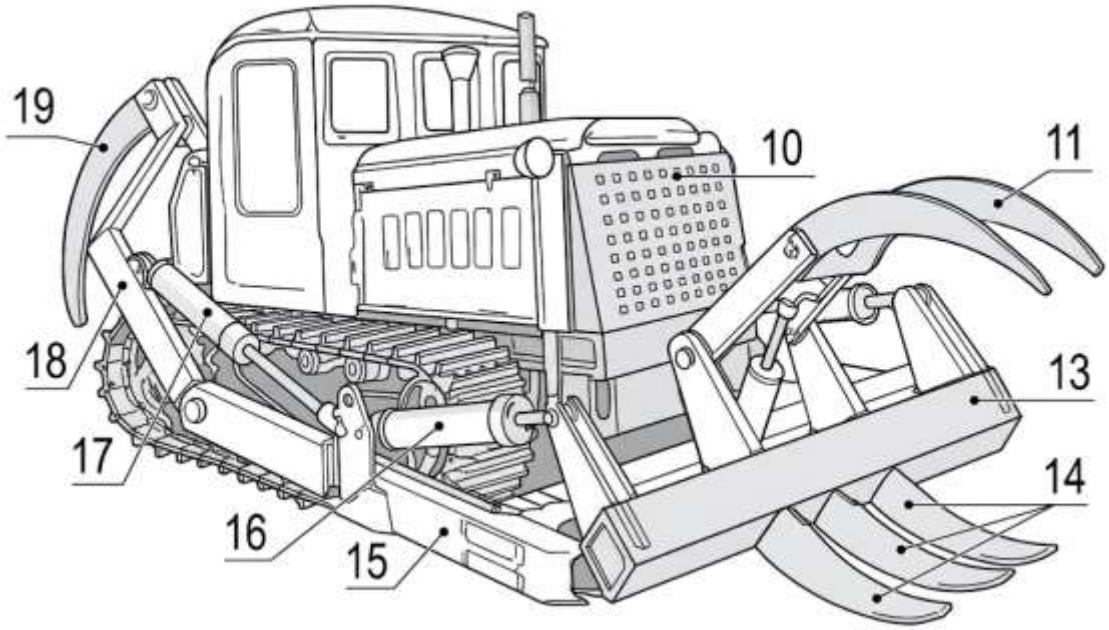


Рисунок 2.7 – Машина з активним роторним робочим органом для подрібнення деревно-чагарникової рослинності (мульчер)

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики вітчизняних машин для культуртехнічних робіт [8]

Машина	Призначення	Трактор (клас)	Ширина захвату, м	Продуктивність	Інші параметри
ДП-24	кущоріз пасивний	Т-130.1.Г-1 (6)	3,6	0,75…0,95 га/год	стовбури до 0,2 м; v = 2,5…4,5 км/год; маса 17 440 кг; кут клина 64°
КБ-4А	кущоріз	Т-130Б	3,9	0,72 га/год	стовбури до 160 мм
МТН-43Х	зрізування лісу і чагарників	на базі трактора	16 (смуга)	–	дискова фреза, електропривод 30 кВт
К-3	чагарникові граблі	клас 6 (60 кН)	3,0	0,58 га/год	11 зубців, крок 470 мм, висота 1350 мм; пні до 150 мм
МП-2А	корчувач-збирач	Т-130БГ-1	–	0,18 га/год	каміння масою до 3 т
ДП-25	корчувач	Т-130Г-1	–	30 пнів/год	пні діаметром до 450 мм
МП-25	корчувач-збирач	Т-130Г-1	3,38	0,2 га/год	5 зубців, заглиблення 450 мм; пні до 450 мм, каміння до 3 т
ДП-8А	корчувач-збирач	Т-130Г-1	–	27 пнів/год; 0,2 га/год	пні діаметром до 300 мм
ПБН-75	чагарниково-болотний плуг	гусеничний	0,75 (корпус)	–	глибина оранки 20…25 (до 35) см
ФБН-2,0	болотна фреза	клас 6	2,0	0,545 га/год	n = 234 хв$^{-1}$; 16 секцій; v ножів 4…12 м/с; зусилля на ножі 1,5…1,8 кН
МТП-42	глибоке фрезерування	Т-130Б	1,7	0,032 га/год	барабан Ø838 мм, 8×12 ножів Ø95 мм; глибина 25/40 см; v = 0,1…0,76 км/год
УКП-0,6	збирання каміння	клас 3…6	1,23	–	каміння 12…65 см; бункер 0,7 м^3; маса 1900 кг; 11 зубів
ПТН-40	триярусний плуг	клас 3 (30 кН)	1,2 (3×0,4)	–	шари 10…20 / 20…30 / 30…40 см

Примітка. «–» – дані у джерелі не наведено.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики сучасного роторного мульчера

Модель	Агрегатування	Макс. діаметр матеріалу	Тип ротора
FAE UMM/S, UMM/S/HP (Італія)	трактори 180…350 к.с. (ВВП)	до 35 см	фіксовані зуби
FAE UMM/S/EX (Італія)	екскаватори 25…40 т	до 16 дюймів (≈40 см)	фіксовані зуби

Джерело: сайт виробника fae-group.com (2026).

2. Розрахункові залежності

Довжина леза в контакті зі стовбуром при косому різанні, м, і площа перерізу стовбура, м²:

$$L_р = \frac{D}{\cos\alpha}, \qquad F = \frac{\pi D^2}{4} \tag{2.1}$$

де D – діаметр стовбура, м;

α – кут ковзання (нахилу леза до нормалі руху), град.

Опір зрізанню стовбура, кН:

$$P_х = k_л\, L_р + \sigma_{зм}\, F + \mu\, N \tag{2.2}$$

де $k_л$ – питомий опір різанню на одиницю довжини леза, кН/м;

$\sigma_{зм}$ – напруження зминання деревини, кПа (у табл. 2.3 – МПа; 1 МПа = 10^3 кПа);

μ – коефіцієнт тертя сталі по деревині;

N – нормальний тиск стовбура на відвал, кН.

Потрібне тягове зусилля агрегату, кН:

$$P_т = P_х + f_к\, G_{агр} \le T_н \tag{2.3}$$

де $f_к$ – коефіцієнт опору переміщенню;

$G_{агр}$ – вага агрегату, кН;

$T_н$ – номінальне тягове зусилля трактора, кН.

Продуктивність кущоріза за годину змінного часу, га/год:

$$W = 0{,}1\, B\, v\, \tau \tag{2.4}$$

де B – ширина захвату, м;

v – робоча швидкість, км/год;

τ – коефіцієнт використання часу зміни;

$0{,}1$ – коефіцієнт переведення одиниць (м·км/год → га/год).

Кінетична енергія ротора мульчера та енергія, що віддається при допустимому зниженні кутової швидкості на 10 %, кДж:

$$E = \frac{I\,\omega^2}{2} \cdot 10^{-3}, \qquad \Delta E = E(1 - 0,9^2) \tag{2.5}$$

де I – момент інерції ротора, кг·м²;

ω – кутова швидкість ротора, рад/с.

Робота зрізання одного стовбура, кДж, і кількість зрізів, яку ротор забезпечує без відновлення швидкості:

$$A_{зр} = a_р\,F, \qquad n_{зр} = \frac{\Delta E}{A_{зр}} \tag{2.6}$$

де $a_р$ – питома робота різання деревини, кДж/м².

3. Порядок виконання роботи

1. Накреслити схему пасивного кущоріза та сили, що діють на стовбур (рис. 2.2).

2. Визначити $L_р$, F і складові опору $P_х$; проаналізувати внесок кожної складової.

3. Перевірити умову $P_т \le T_н$; за її невиконання запропонувати зменшення швидкості або ширини захвату.

4. Обчислити продуктивність кущоріза W.

5. Розрахувати E, ΔE, $A_{зр}$ і $n_{зр}$ для роторного мульчера; порівняти пасивний і активний способи.

4. Приклад розрахунку (варіант 6)

Довжина леза в контакті і площа перерізу стовбура:

$$L_р = \frac{0,18}{\cos 47,1^\circ} = 0,264 \text{ м}; \quad F = \frac{\pi \cdot 0,18^2}{4} = 0,0254 \text{ м}^2;$$

Опір зрізанню стовбура:

$$P_х = 82,9 \cdot 0,264 + 3,21 \cdot 10^3 \cdot 0,0254 + 0,48 \cdot 2,1 = 21,9 + 81,7 + 1,0 = 104,6 \text{ кН};$$

Потрібне тягове зусилля:

$$P_т = 104,6 + 0,19 \cdot 244 = 151,0 \text{ кН} \le T_н = 151 \text{ кН};$$

Трактор забезпечує роботу агрегату, але з мінімальним запасом тягового зусилля.

Продуктивність кущоріза:

$$W = 0{,}1 \cdot 4{,}37 \cdot 3{,}71 \cdot 0{,}83 = 1{,}35 \text{ га/год};$$

Роторний мульчер (частота обертання $n = 30\omega/\pi = 2005$ хв$^{-1}$):

$$E = \frac{40 \cdot 210^2}{2} \cdot 10^{-3} = 882{,}0 \text{ кДж}; \quad \Delta E = 882{,}0 \cdot (1 - 0{,}9^2) = 167{,}6 \text{ кДж};$$

$$A_{зр} = 64{,}3 \cdot 0{,}0254 = 1{,}636 \text{ кДж}; \quad n_{зр} = \frac{167{,}6}{1{,}636} \approx 102.$$

5. Вихідні дані

Варіант вихідних даних вибирають за табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Варіанти вихідних даних до практичної роботи № 2

Вар.	**D, м**	**α, °**	**$k_л$, кН/м**	**$\sigma_{зм}$, МПа**	**μ**	**N, кН**	**$G_{агр}$, кН**	**$f_к$**
1	0,080	30	40,0	1,50	0,35	0,8	150	0,12
2	0,140	40	65,0	2,50	0,38	1	205	0,16
3	0,110	34	50,7	1,93	0,4	1,2	174	0,14
4	0,170	44	75,7	2,93	0,42	1,5	229	0,18
5	0,120	37	57,9	2,21	0,45	1,8	189	0,15
6	0,180	47	82,9	3,21	0,48	2,1	244	0,19
7	0,089	31	43,6	1,64	0,5	2,5	158	0,13
8	0,150	41	68,6	2,64	0,52	2,8	213	0,17
9	0,200	50	90,0	3,50	0,55	3,2	260	0,20
10	0,110	36	54,3	2,07	0,58	3,6	181	0,14
11	0,170	46	79,3	3,07	0,6	4	236	0,18
12	0,097	33	47,1	1,79	0,32	0,6	166	0,13
13	0,160	43	72,1	2,79	0,36	1,1	221	0,17
14	0,130	39	61,4	2,36	0,46	1,95	197	0,15
15	0,190	49	86,4	3,36	0,54	3	252	0,19

Продовження таблиці 2.3

Вар.	**$T_н$, кН**	**B, м**	**v, км/год**	**τ**	**I, кг·м²**	**ω, рад/с**	**$a_р$, кДж/м²**
1	100	3,00	2,00	0,70	15	160	30
2	130	3,80	3,00	0,78	20	170	50
3	113	3,34	2,43	0,73	25	180	39
4	143	4,14	3,43	0,81	30	190	59
5	121	3,57	2,71	0,75	35	200	44
6	151	4,37	3,71	0,83	40	210	64
7	104	3,11	2,14	0,71	45	220	33

Вар.	$T_н$, кН	B, м	v, км/год	τ	I, кг·м²	ω, рад/с	$a_р$, кДж/м²
8	134	3,91	3,14	0,79	48	225	53
9	160	4,60	4,00	0,85	50	230	70
10	117	3,46	2,57	0,74	55	240	41
11	147	4,26	3,57	0,82	58	245	61
12	109	3,23	2,29	0,72	12	155	36
13	139	4,03	3,29	0,80	22	175	56
14	126	3,69	2,86	0,76	38	205	47
15	156	4,49	3,86	0,84	49	228	67

6. Сучасна техніка (огляд)

Таблиця 2.4 – Приклади сучасних машин і обладнання

Тип машини	Виробник / модель (серія)	Особливості
Лісовий (роторний) мульчер	FAE (Італія), серія UMM	Подрібнення дерев і чагарників на місці, гідравлічне регулювання
Важкий фрезерний кущоріз	Seppi M. (Італія), серія Maxiforst	Подрібнення стовбурів і пнів, фрезерування ґрунту
Самохідний гусеничний мульчер	Prinoth (серія Raptor)	Висока прохідність на перезволожених ділянках
Кущорізи з пасивним робочим органом	ДП-24, МТП-24 (вітчизняні аналоги)	Зрізання чагарнику клиноподібним відвалом

7. Зміст звіту

Назва і мета роботи; вихідні дані варіанта; розрахункова схема (за рис. 2.1) з позначенням сил і розмірів; розрахунок за формулами розділу 2 з підстановкою чисел і одиницями вимірювання; таблиця результатів; висновки щодо працездатності машини та шляхів покращення її показників.

8. Контрольні запитання

1. У чому полягає анізотропність деревини та як вона впливає на опір різанню?
2. Поясніть фазу попереднього згину стовбура при роботі пасивного клиноподібного відвала.
3. Чому попереднє розтягнення волокон деревини знижує опір перерізанню?
4. Яку роль відіграє косе різання (кут ковзання) і як воно впливає на зусилля різання?
5. Які основні складові енергетичного балансу активного роторного мульчера?
6. Як вологість деревини впливає на її питомий опір зрізуванню?
7. Які агротехнічні вимоги ставлять до очищення земель від чагарнику?
8. Як внесення деревної тріски в ґрунт впливає на баланс азоту?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

РОЗРАХУНОК ПРОДУКТИВНОСТІ БУЛЬДОЗЕРА І СКРЕПЕРА НА МЕЛІОРАТИВНИХ ЗЕМЛЯНИХ РОБОТАХ

(Тема 3. Землерийно-транспортні машини та екскаватори в меліоративному будівництві. Рекультивація земель; тривалість – 2 год)

Мета роботи:

– вивчити застосування землерийно-транспортних машин на будівництві земляних споруд меліоративних систем і рекультивації;

– навчитися визначати об’єм призми волочіння, тривалість робочого циклу, експлуатаційну продуктивність бульдозера і скрепера та тривалість виконання земляних робіт.

Обладнання та засоби: плакати і презентації «Бульдозери», «Скрепери», «Автогрейдери», «Екскаватори», калькулятор / MS Excel.

1. Короткі теоретичні відомості

Земляні споруди меліоративних систем – канали, дамби, валики, кавальєри, планувальні виїмки та насипи. Обсяги виймання і насипу врівноважують складанням балансу ґрунтових мас з урахуванням розпушення ґрунту. Під час рекультивації порушених земель виконують технічний етап (зняття, складування та нанесення родючого шару, планування поверхні) і біологічний етап (відновлення родючості, залуження, заліснення) [17].

Бульдозер працює циклічно: набирання ґрунту на шляху $l_н$, переміщення призми волочіння на відстань $l_п$, розвантаження та холостий хід назад. Через втрати ґрунту в бічні валики ефективна дальність переміщення бульдозера обмежується 50…80 м, на більші відстані ґрунт транспортують скреперами (200…1000 м і більше).

Будова і робочий процес машин

Під час копання бульдозером перед відвалом формується призма волочіння (рис. 3.1, а), об’єм якої визначається висотою відвала H, шириною B і кутом природного укосу ґрунту $\varphi_п$. Цикл скрепера (рис. 3.1, б) складається з набирання, транспортування, розвантаження шаром і холостого ходу; тривалість кожної операції визначається довжиною ділянки та швидкістю на ній.

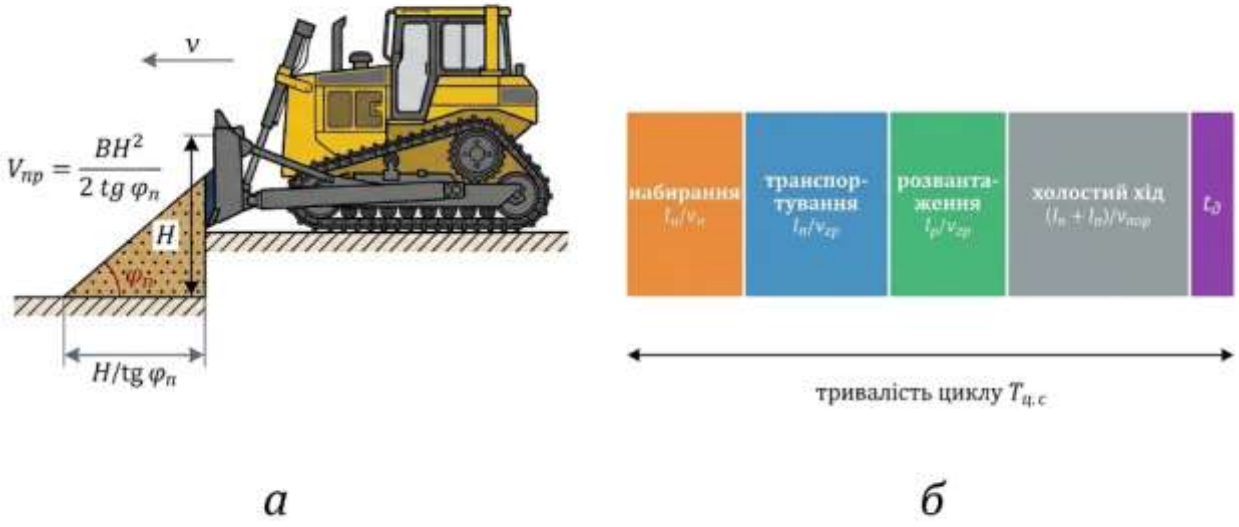


Рисунок 3.1 – До розрахунку продуктивності: а – призма волочіння перед відвалом бульдозера; б – структура циклу скрепера

Будову причіпного скрепера наведено на рис. 3.2: ківш із ножами, заслінка, задня стінка-вивантажувач, тягова рама з хоботом і гідроциліндри керування. Сучасні машини для меліоративних земляних робіт – гусеничні бульдозери (рис. 3.3), самохідні колісні скрепери (рис. 3.4) та автогрейдери (рис. 3.5) – застосовують для планування поверхні, засипання старих каналів, влаштування дамб і доріг на меліоративних системах.

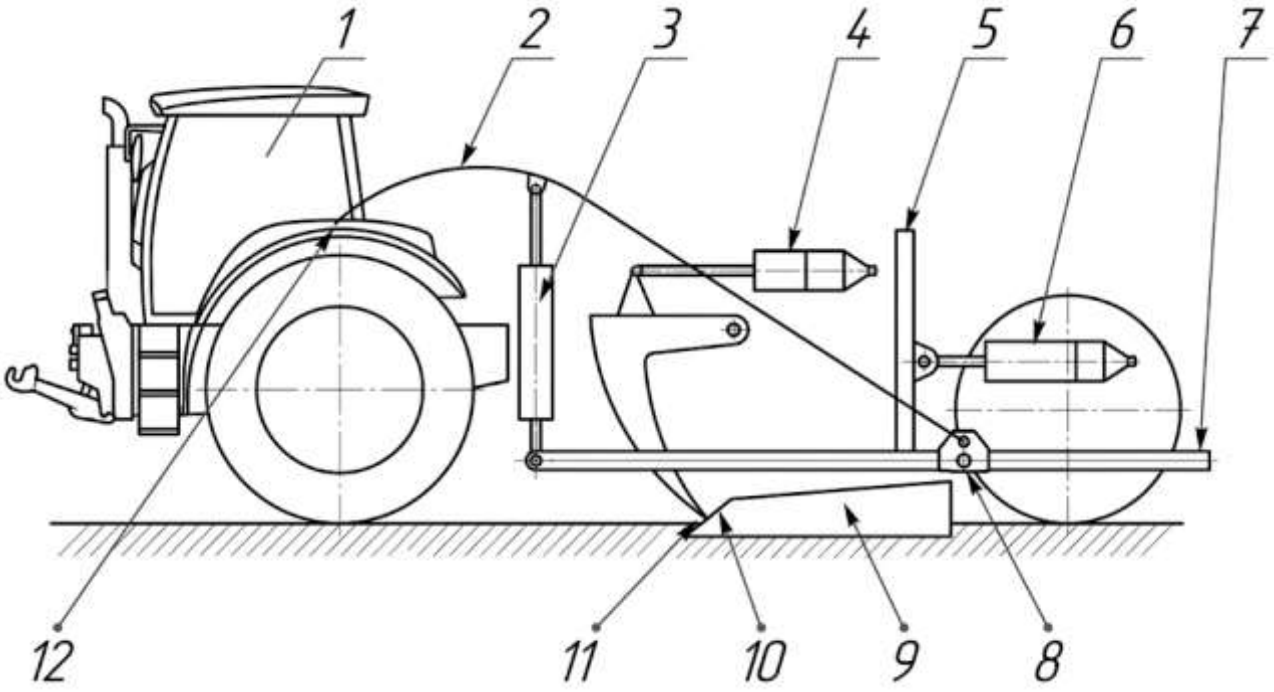


Рисунок 3.2 – Конструктивна схема причіпного скрепера



Рисунок 3.3 – Гусеничний бульдозер на земляних роботах



Рисунок 3.4 – Самохідний колісний скрепер



Рисунок 3.5 – Автогрейдер

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики сучасних машин для земляних робіт

Показник	**Бульдозер Cat D6 LGP (760 мм)**	**Колісний скрепер Cat 627K**
Експлуатаційна маса, кг	22 870	–
Потужність, кВт	–	304 (тягач) / 216 (скрепер)
Місткість робочого органу, м³	5,8 (відвал SU)	18,4 (ківш з «шапкою»)
Макс. швидкість з вантажем, км/год	–	53,9
Питомий тиск, кПа	45	–

Джерело: специфікації виробника (cat.com, 2026). Скрепер 627K – двомоторний (push-pull), що дає змогу набирати ґрунт без штовхача.

2. Розрахункові залежності

Об’єм призми волочіння перед відвалом бульдозера в розпушеному стані, м³:

$$V_{пр} = \frac{B H^2}{2 \operatorname{tg} \varphi_п}, \quad (3.1)$$

де B, H – ширина і висота відвала, м;

$\varphi_п$ – кут природного укосу ґрунту, град.

Тривалість циклу бульдозера, с:

$$T_ц = \frac{l_н}{v_н} + \frac{l_п}{v_п} + \frac{l_н + l_п}{v_з} + t_д, \quad (3.2)$$

де $l_н$, $l_п$ – довжина ділянок набирання і переміщення ґрунту, м;

$v_н$, $v_п$, $v_з$ – швидкості на набиранні, переміщенні та холостому (зворотному) ході, м/с;

$t_д$ – час на перемикання передач, опускання відвала і маневри, с.

Експлуатаційна продуктивність бульдозера в щільному тілі, м³/год, і коефіцієнт утрат ґрунту:

$$Q_б = \frac{3600 V_{пр} K_у K_в}{T_ц K_р}, \quad (3.3)$$

$$K_у = 1 - 0{,}005 l_п,$$

де $K_в$ – коефіцієнт використання часу;

$K_р$ – коефіцієнт розпушення ґрунту;

$0{,}005$ – питомі втрати ґрунту з призми, м$^{-1}$ ($l_п$ – у метрах).

Тривалість циклу скрепера (набирання, транспортування, розвантаження, повернення), с:

$$T_{ц.с} = \frac{l_н}{v_н} + \frac{l_п}{v_{гр}} + \frac{l_р}{v_{гр}} + \frac{l_п + l_р}{v_{пор}} + t_д, \quad (3.4)$$

де $l_р$ – довжина ділянки розвантаження, м;

$v_{гр}$, $v_{пор}$ – швидкості руху з вантажем і порожнього скрепера, м/с.

Експлуатаційна продуктивність скрепера в щільному тілі, м³/год:

$$Q_с = \frac{3600 q K_н K_в}{T_{ц.с} K_р}, \quad (3.5)$$

де q – геометрична місткість ковша, м³;

$K_н$ – коефіцієнт наповнення ковша.

Тривалість виконання заданого обсягу робіт однією машиною, змін:

$$Д = \frac{V_з}{Q\,t_{зм}}, \qquad (3.6)$$

де $V_з$ – заданий обсяг земляних робіт, м³;

Q – продуктивність машини, м³/год;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

3. Порядок виконання роботи

1. Обчислити $V_{пр}$, $K_у$, $T_ц$ і $Q_б$ бульдозера.

2. Обчислити $T_{ц.с}$ і $Q_с$ скрепера.

3. Визначити кількість змін Д для виконання обсягу $V_з$ кожною машиною.

4. Порівняти машини; обґрунтувати вибір за дальністю переміщення ґрунту (побудувати залежність $Q_б(l_п)$ для трьох значень $l_п$).

4. Приклад розрахунку (варіант 6)

Бульдозер:

$$V_{пр} = \frac{4{,}23 \cdot 1{,}39^2}{2\,\mathrm{tg}\,43{,}6^\circ} = 4{,}29\ м^3; \quad K_у = 1 - 0{,}005 \cdot 54{,}3 = 0{,}728;$$

$$T_ц = \frac{9{,}43}{0{,}86} + \frac{54{,}3}{1{,}24} + \frac{9{,}43 + 54{,}3}{2{,}10} + 18{,}6 = 103{,}7\ с;$$

$$Q_б = \frac{3600 \cdot 4{,}29 \cdot 0{,}728 \cdot 0{,}84}{103{,}7 \cdot 1{,}28} = 71{,}2\ м^3/год;$$

Скрепер:

$$T_{ц.с} = \frac{37{,}1}{0{,}86} + \frac{543}{3{,}29} + \frac{18{,}6}{3{,}29} + \frac{543 + 18{,}6}{4{,}71} + 55{,}7 = 388{,}8\ с;$$

$$Q_с = \frac{3600 \cdot 14{,}9 \cdot 1{,}06 \cdot 0{,}84}{388{,}8 \cdot 1{,}28} = 96{,}0\ м^3/год;$$

Кількість змін для виконання обсягу робіт:

$$Д_б = \frac{18000}{71{,}2 \cdot 8} = 31{,}6\ зм.; \quad Д_с = \frac{18000}{96{,}0 \cdot 8} = 23{,}4\ зм.$$

Висновок: при дальності переміщення понад 100 м доцільніше застосовувати скрепер.

5. Вихідні дані

Варіант вихідних даних вибирають за табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Варіанти вихідних даних до практичної роботи № 3

Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B, м	3,20	3,80	3,46	4,06	3,63	4,23	3,29	3,89	4,40
H, м	1,00	1,23	1,10	1,32	1,16	1,39	1,03	1,26	1,45
$\varphi_п$, °	35,0	40,0	37,1	42,1	38,6	43,6	35,7	40,7	45,0
$l_ц$, м	6,0	8,0	6,9	8,9	7,4	9,4	6,3	8,3	10,0
$l_ц$, м	20	40	29	49	34	54	23	43	60
$v_н/v_п/v_з$, м/с	0,60/0,90/ 1,50	0,75/1,10/ 1,85	0,66/0,99/ 1,65	0,81/1,19/ 2,00	0,71/1,04/ 1,75	0,86/1,24/ 2,10	0,62/0,93/ 1,55	0,77/1,13/ 1,90	0,90/1,30/ 2,20
$t_д$, с	10	15	12	17	14	19	11	16	20
$K_в$	0,75	0,80	0,77	0,82	0,79	0,84	0,76	0,81	0,85
$K_р$	1,15	1,18	1,20	1,22	1,25	1,28	1,30	1,32	1,35
q, м³	8,0	12,0	9,7	13,7	10,9	14,9	8,6	12,6	16,0
$K_н$	0,85	0,97	0,90	1,03	0,94	1,06	0,87	0,99	1,10
$l_{п.с}/l_{п.с}/l_р$, м	20/200/10	30/400/15	24/286/12	34/486/17	27/343/14	37/543/19	21/229/11	31/429/16	40/600/20
$v_{гр}/v_{по}р$, м/с	2,00/3,00	2,75/4,00	2,32/3,43	3,07/4,43	2,54/3,71	3,29/4,71	2,11/3,14	2,86/4,14	3,50/5,00
$t_{д.с}$, с	30	45	36	51	41	56	32	47	60
$V_з$, м³	6000	13000	9000	16000	11000	18000	7000	14000	20000

Вар.	B, м	H, м	$\varphi_п$, °	$l_н$, м	$l_п$, м	$v_н/v_п/v_з$, м/с	$t_д$, с	$K_в$	$K_р$	q, м³	$K_н$	$l_{н.с}/l_{п.с}/l_р$, м	$v_{гр}/v_{по}р$, м/с	$t_{д.с}$, с	$V_з$, м³
10	3,54	1,13	37,9	7,1	31	0,69/1,01/ 1,70	13	0,78	1,40	10,3	0,92	26/314/13	2,43/3,57	39	10000
11	4,14	1,35	42,9	9,1	51	0,84/1,21/ 2,05	18	0,83	1,38	14,3	1,05	36/514/18	3,18/4,57	54	17000
12	3,37	1,06	36,4	6,6	26	0,64/0,96/ 1,60	11	0,76	1,16	9,1	0,89	23/257/11	2,21/3,29	34	8000
13	3,97	1,29	41,4	8,6	46	0,79/1,16/ 1,95	16	0,81	1,24	13,1	1,01	33/457/16	2,96/4,29	49	15000
14	3,71	1,19	39,3	7,7	37	0,73/1,07/ 1,80	14	0,79	1,29	11,4	0,96	29/371/14	2,64/3,86	43	12000
15	4,31	1,42	44,3	9,7	57	0,88/1,27/ 2,15	19	0,84	1,37	15,4	1,08	39/571/19	3,39/4,86	58	19000

6. Сучасна техніка (огляд)

Таблиця 3.3 – Приклади сучасних машин і обладнання

Тип машини	Виробник / модель (серія)	Особливості
Бульдозери гусеничні	Caterpillar D6, Komatsu D65, Liebherr PR 736	Системи автоматичного керування відвалом за GNSS / лазером
Скрепери самохідні та причіпні	Caterpillar 627/631, причіпні скрепери до тракторів 300+ к.с.	Транспортування ґрунту на 200…1500 м
Автогрейдери	Caterpillar 140, John Deere 672	Профілювання, планування поверхні

7. Зміст звіту

Назва і мета роботи; вихідні дані варіанта; розрахункова схема (за рис. 3.1) з позначенням сил і розмірів; розрахунок за формулами розділу 3 з підстановкою чисел і одиницями вимірювання; таблиця результатів; висновки щодо працездатності машини та шляхів покращення її показників.

8. Контрольні запитання

1. Які земляні споруди входять до складу меліоративних систем?
2. Що таке баланс ґрунтових мас і як у ньому враховують розпушення ґрунту?
3. Назвіть етапи рекультивації порушених земель і машини для кожного етапу.
4. Від чого залежить об’єм призми волочіння бульдозера?
5. Чому продуктивність бульдозера різко знижується зі збільшенням дальності переміщення ґрунту?
6. За яких умов доцільно застосовувати скрепери замість бульдозерів?
7. Як системи GNSS / лазерного керування підвищують точність планувальних робіт?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК ПЛУЖНОГО КАНАЛОКОПАЧА І РОЗРАХУНОК ФРЕЗЕРНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ

(Тема 4. Машини для прокладання відкритих каналів (каналокопачі); тривалість – 2 год)

Мета роботи:

– вивчити методи і способи осушення та типи каналокопачів;

– навчитися виконувати тяговий розрахунок плужного каналокопача за раціональною формулою В. П. Горячкіна, визначати кількість тягачів, а також кінематичні параметри і потужність фрезерного (роторного) робочого органу.

Обладнання та засоби: плакати і презентації каналокопачів, конспект лекцій, калькулятор / MS Excel.

1. Короткі теоретичні відомості

Методи осушення визначаються типом водного живлення: при атмосферному живленні – прискорення поверхневого стоку та збільшення водопроникності ґрунту; при ґрунтовому – зниження рівня ґрунтових вод; при напірному – перехоплення та зниження напору; при намивному і схиловому – огородження території. Способами осушення є відкриті канали, закритий (гончарний, пластмасовий) і кротовий дренаж, вертикальний дренаж, агромеліоративні заходи [17].

Відкрита осушувальна мережа складається з регулювальної (осушувачі, збирачі), провідної (магістральний канал, транспортуючі збирачі, колектори) та огороджувальної (нагірно-ловильні канали) мереж і водоприймача [17]. Канали трапецієвидного перерізу малої та середньої глибини прокладають плужними, відвальними, фрезерними і роторними каналокопачами.

Плужний каналокопач працює як великий двовідвальний плуг: його тяговий опір складається з опору тертя робочого органу по ґрунту, опору деформації та різання ґрунту, пропорційного площі перерізу каналу, і динамічного опору надання ґрунту швидкості, пропорційного квадрату швидкості руху. Великий опір (100…300 кН) зумовлює необхідність роботи в зчепі кількох тракторів або з лебідкою. Фрезерні та шнекороторні каналокопачі відокремлюють ґрунт ножами ротора і відкидають його на відстань, що усуває потребу в розрівнюванні кавальєрів.

Будова і робочий процес машин

Профіль каналу, що його прокладає плужний каналокопач, і кінематичну схему фрезерного робочого органу наведено на рис. 4.1. Плужні (відвальні) каналокопачі (рис. 4.2, 4.3) розрізають ґрунт лемішем, піднімають його

криволінійними полицями і розкладають у кавальєри або дамби; фрезерні каналокопачі (рис. 4.4, 4.5) розробляють ґрунт обертовими фрезами з коловою швидкістю 8…30 м/с і відкидають його на відстань до 10…25 м, що дає змогу не утворювати кавальєрів [8].

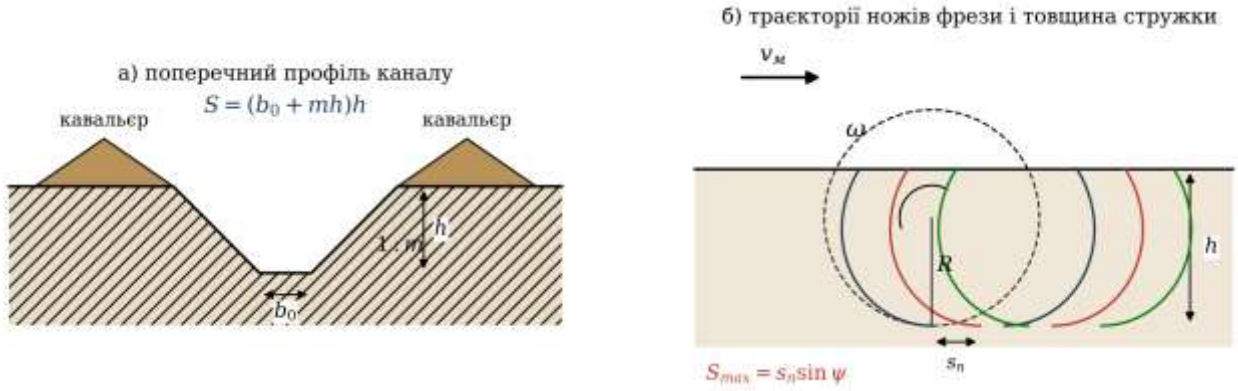


Рисунок 4.1 – Розрахункові схеми: а – поперечний профіль каналу плужного каналокопача; б – траєкторії ножів фрези і товщина стружки

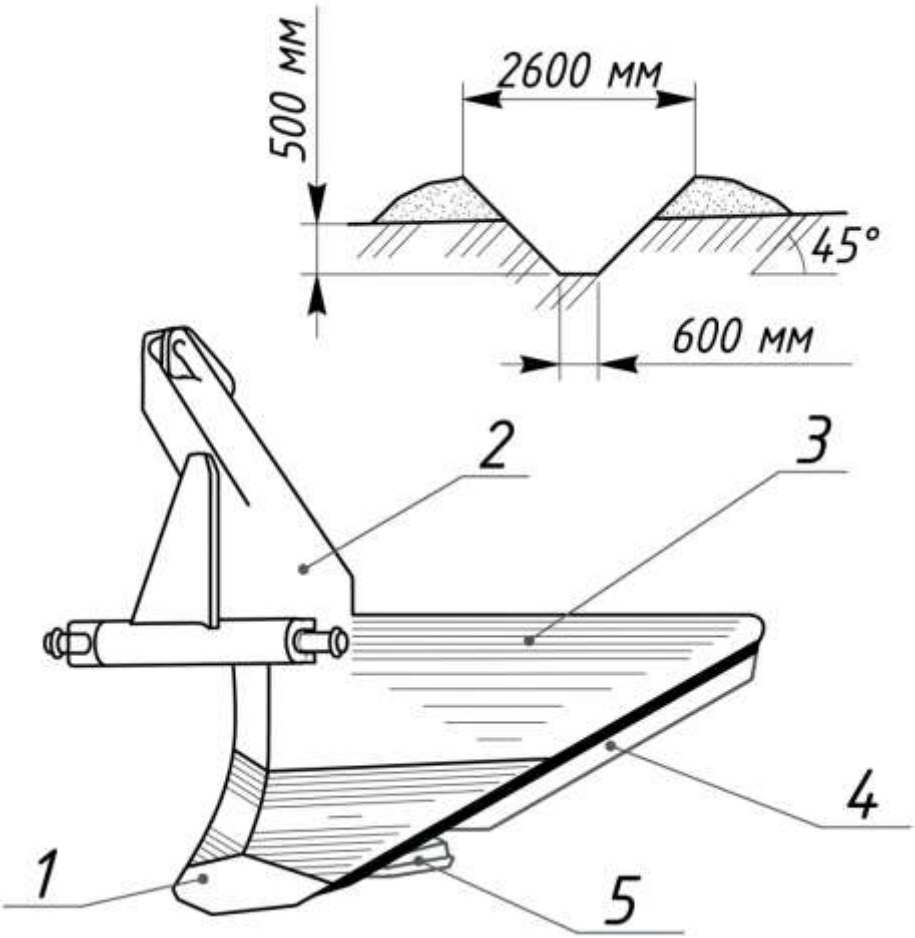


Рисунок 4.2 – Каналокопач Д-716 і профіль каналу [8]: 1 – леміш; 2 – стояк; 3 – полиця; 4 – ущільнювачі укосів; 5 – лижа

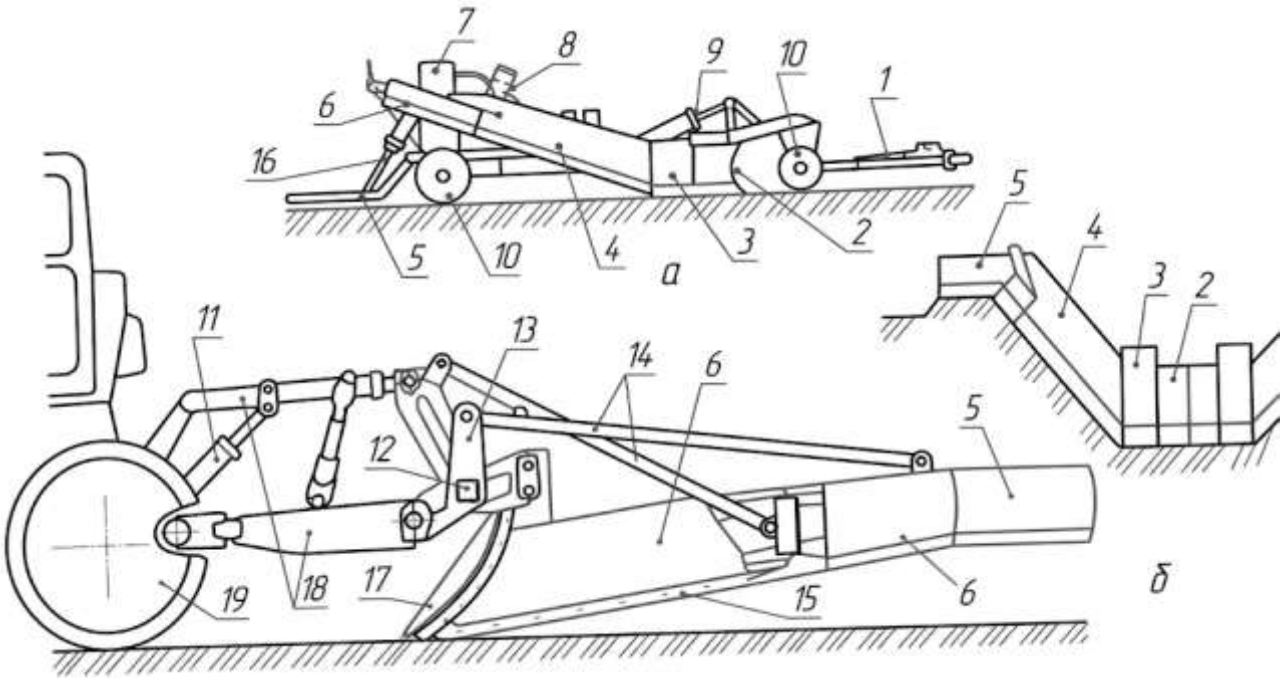


Рисунок 4.3 – Відвальні каналокопачі [8]: схема причіпного відвального каналокопача і розстановки відвалів при прокладанні каналу

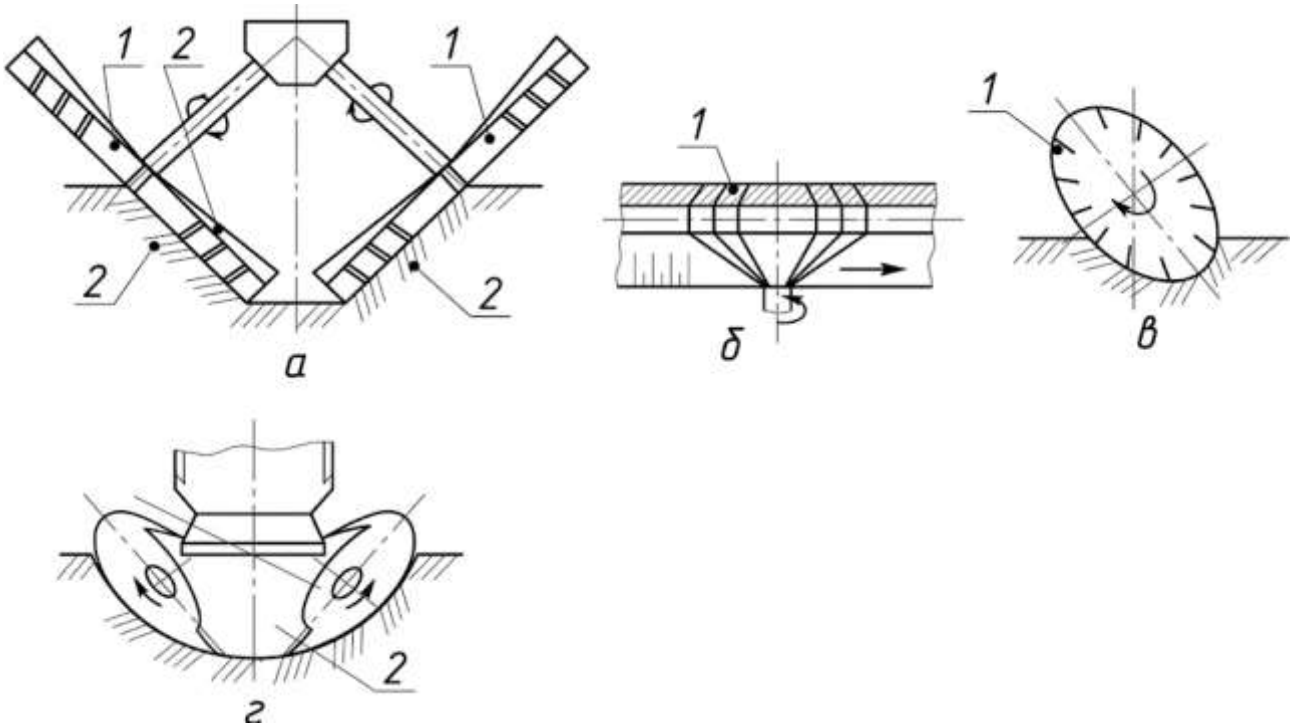


Рисунок 4.4 – Схеми ротаційних робочих органів каналокопачів [8]: а – двофрезерний з віссю обертання, перпендикулярною до укосу; б – фрезерний з копіювальною фрезою; в – фрезерний з віссю, похилою до осі каналу і до горизонту; г – те ж, двороторний; 1 – фреза (ротор); 2 – відвал

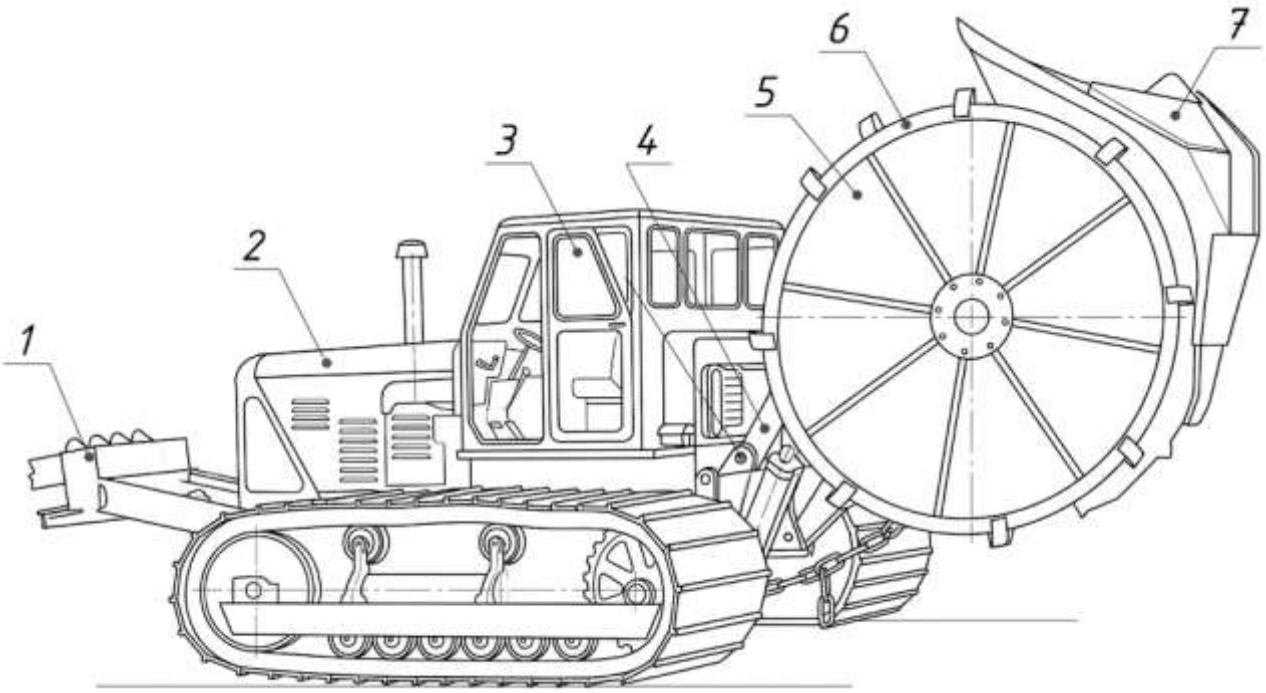


Рисунок 4.5 – Навісний двофрезерний каналокопач у транспортному положенні [8]

Каналокопач Д-716 (рис. 4.2) навішують на трактор Т-130Г-3; до коробчатого стояка 2 прикріплені змінний леміш 1 і опорна лижа 5, полиці 3 приварені до стояка, ущільнювачі укосів 4 формують і ущільнюють укоси. Каналокопач прокладає тимчасовий зрошувальний канал шириною по дну 0,6 м, глибиною 0,5 м з дамбами висотою 0,5 м і закладанням укосів 1:1. Причіпний плужний каналокопач Д-267А працює в агрегаті з двома тракторами й нарізує канали глибиною до 0,6 м і шириною по дну 0,4…1,0 м. Сучасний фрезерний каналокопач у роботі показано на рис. 4.6.



Рисунок 4.6 – Фрезерний (роторний) каналокопач у роботі

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики вітчизняних каналокопачів [8]

Машина	**Тип**	**Агрегатування**	**Глибина каналу, м**	**Ширина по дну, м**	**Інші параметри**
Д-716	плужний навісний	Т-130Г-3, Т-100МГС	0,5	0,6	дамби 0,5 м; ширина поверху 2,6 м; укоси 1:1
Д-267А	плужний причіпний	два трактори	до 0,6	0,4; 0,6; 0,8; 1,0	бермоочисники, відкрилки, держаковий ніж
КЗУ-0,3	універсальний	трактор класу 3	0,25 / 0,30	0,30 / 0,50	продуктивність до 4 га/год; змінні органи
Фрезерні каналокопачі	ротаційні	болотні трактори	до 1,2…1,5	0,2…0,6	колова швидкість фрез 8…30 м/с

Параметри фрезерних каналокопачів – узагальнені за [8].

2. Розрахункові залежності

Площа поперечного перерізу каналу трапецієподібної форми, м²:

$$S = (b_0 + m\,h)\,h, \tag{4.1}$$

де b_0 – ширина каналу по дну, м;

h – глибина каналу, м;

m – коефіцієнт закладання укосу.

Тяговий опір плужного каналокопача (раціональна формула В. П. Горячкіна), кН:

$$R = f\,G + k_0\,S + \varepsilon\,S\,v^2, \tag{4.2}$$

де f – коефіцієнт тертя робочого органу по ґрунту;

G – вага робочого органу, кН;

k_0 – питомий опір ґрунту деформації і різанню, кПа (кН/м²);

ε – коефіцієнт швидкісного (динамічного) опору, кН·с²/м⁴ ;

v – робоча швидкість, м/с.

Потрібна кількість тракторів-тягачів (округлюють до більшого цілого):

$$n_{тр} = \frac{R}{0{,}9\,T_н}, \tag{4.3}$$

де $T_н$ – номінальне тягове зусилля трактора, кН;

0,9 – коефіцієнт використання тягового зусилля.

Технічна продуктивність плужного каналокопача, м³/год:

$$П_т = 3600\,S\,v. \tag{4.4}$$

Подача на ніж фрези, м, кут контакту ножа з ґрунтом, рад, і максимальна товщина стружки, м:

$$s_п = \frac{60\,v_м}{n\,z},$$
$$\psi = \arccos\frac{R - h_ф}{R}, \tag{4.5}$$
$$S_{max} = s_п \sin\psi,$$

де $v_м$ – швидкість машини, м/с;

n – частота обертання фрези, хв$^{-1}$;

z – кількість ножів в одній площині різання;

R – радіус фрези по кінцях ножів, м;

$h_ф$ – глибина фрезерування, м.

Колова швидкість ножів, м/с, і об'ємна подача ґрунту на фрезу, м³/с:

$$v_0 = \frac{\pi\,n\,R}{30},$$
$$П = B_ф\,h_ф\,v_м, \tag{4.6}$$

де $B_ф$ – ширина фрези, м.

Потрібна потужність на привод фрезерного робочого органу (різання + відкидання ґрунту), кВт:

$$N = \frac{k_ф\,П + \frac{\rho\,П\,v_0^2}{2}\cdot 10^{-3}}{\eta}, \tag{4.7}$$

де $k_ф$ – питома енергоємність фрезерування, кПа (кДж/м³);

ρ – щільність ґрунту, кг/м³;

η – ККД привода.

3. Порядок виконання роботи

1. Накреслити поперечний переріз каналу (рис. 4.1, а) і схему сил на робочому органі каналокопача.

2. Обчислити S і складові тягового опору R; визначити кількість тракторів $n_{тр}$ і продуктивність $П_т$.

3. Для фрезерного органу визначити $s_п$, ψ, S_{max}; побудувати траєкторію (трохоїду) руху ножа в масштабі.

4. Обчислити v_0, П і потрібну потужність N.

5. Зробити висновок щодо доцільного типу каналокопача для заданих умов.

4. Приклад розрахунку (варіант 6)

Площа перерізу і тяговий опір плужного каналокопача:

$$S = (0{,}46 + 1{,}43 \cdot 1{,}11) \cdot 1{,}11 = 2{,}273 \text{ м}^2;$$

$$R = 0{,}25 \cdot 78{,}0 + 110 \cdot 2{,}273 + 3{,}71 \cdot 2{,}273 \cdot 0{,}90^2 = 19{,}5 + 250{,}0 + 6{,}8 = 276{,}3 \text{ кН};$$

$$n_{тр} = \frac{276{,}3}{0{,}9 \cdot 151} = 2{,}03 \Rightarrow n_{тр} = 3;$$

$$П_т = 3600 \cdot 2{,}273 \cdot 0{,}90 = 7363 \text{ м}^3/\text{год};$$

Кінематика фрезерного робочого органу:

$$s_п = \frac{60 \cdot 1{,}1}{220 \cdot 6} = 0{,}050 \text{ м}; \quad \psi = \arccos\frac{0{,}40 - 0{,}20}{0{,}40} = 60{,}0°;$$

$$S_{max} = 0{,}050 \cdot \sin 60{,}0° = 0{,}043 \text{ м};$$

$$v_0 = \frac{\pi \cdot 220 \cdot 0{,}40}{30} = 9{,}22 \text{ м/с}; \quad П = 0{,}84 \cdot 0{,}20 \cdot 1{,}1 = 0{,}185 \text{ м}^3/\text{с};$$

Потрібна потужність:

$$N = \frac{279 \cdot 0{,}185 + \frac{1757 \cdot 0{,}185 \cdot 9{,}22^2}{2} \cdot 10^{-3}}{0{,}8} = \frac{51{,}6 + 13{,}8}{0{,}8} = 81{,}7 \text{ кВт}.$$

5. Вихідні дані

Варіант вихідних даних вибирають за табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Варіанти вихідних даних до практичної роботи № 4

Вар.	b_0, м	h, м	m	f	G, кН	k_0, кПа	ε, кН·с/см⁴	v, м/с	$T_н$, кН	$v_м$, м/с	n, хв⁻¹	z	R, м	$h_ф$, м	$B_ф$, м	$k_ф$, кПа	ρ, кг/м³
1	0,20	0,60	1,00	0,18	48,0	85	2,00	0,65	100	0,6	160	4	0,32	0,12	0,50	150	1500
2	0,35	0,90	1,25	0,2	54,0	90	3,00	0,7	130	0,7	170	4	0,34	0,14	0,70	225	1650
3	0,26	0,73	1,11	0,21	60,0	95	2,43	0,75	113	0,8	180	4	0,35	0,15	0,59	182	1564
4	0,41	1,03	1,36	0,23	66,0	100	3,43	0,8	143	0,9	190	6	0,36	0,16	0,79	257	1714

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	**Вар.**
0,48	0,33	0,39	0,24	0,44	0,29	0,50	0,37	0,22	0,46	0,31	**b_0, м**
1,16	0,86	0,99	0,69	1,07	0,77	1,20	0,94	0,64	1,11	0,81	**h, м**
1,46	1,21	1,32	1,07	1,39	1,14	1,50	1,29	1,04	1,43	1,18	**m**
0,29	0,26	0,22	0,16	0,26	0,3	0,29	0,28	0,27	0,25	0,24	**f**
93,0	81,0	63,0	46,5	105,0	102,0	96,0	90,0	84,0	78,0	72,0	**G, кН**
119	108	98	82	116	112	118	120	115	110	105	**k_0, кПа**
3,86	2,86	3,29	2,29	3,57	2,57	4,00	3,14	2,14	3,71	2,71	**ε, кН·с²/м⁴**
1,05	0,93	0,78	0,6	1,25	1,2	1,1	1	0,95	0,9	0,85	**v, м/с**
156	126	139	109	147	117	160	134	104	151	121	**$T_н$, кН**
1,35	1,15	0,85	0,55	1,45	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	**$v_м$, м/с**
270	230	185	155	300	280	260	250	240	220	200	**n, хв$^{-1}$**
8	6	6	4	8	8	8	8	6	6	6	**z**
0,46	0,41	0,35	0,3	0,5	0,48	0,45	0,44	0,42	0,4	0,38	**R, м**
0,24	0,21	0,15	0,11	0,24	0,25	0,24	0,23	0,22	0,2	0,18	**$h_ф$, м**
0,87	0,67	0,76	0,56	0,81	0,61	0,90	0,73	0,53	0,84	0,64	**$B_ф$, м**
289	214	246	171	268	193	300	236	161	279	204	**$k_ф$, кПа**
1779	1629	1693	1543	1736	1586	1800	1671	1521	1757	1607	**ρ, кг/м³**

Примітка. ККД приводу η = 0,8.

6. Сучасна техніка (огляд)

Таблиця 4.3 – Приклади сучасних машин і обладнання

Тип машини	Виробник / модель (серія)	Особливості
Роторний (дворотор-ний) каналокопач	Cosmeco (Італія), Dondi (Італія)	Симетричне профілювання укосів, відкидання ґрунту ротором
Важкий траншейний / профільний екскаватор	Mastenbroek (Велика Британія)	Автоматичний контроль ухилу дна за GNSS
Плужні каналокопачі	КМ-1200 та аналоги	Прокладання каналів глибиною до 1,2 м у зчепі тракторів

7. Зміст звіту

Назва і мета роботи; вихідні дані варіанта; розрахункова схема (за рис. 4.1) з позначенням сил і розмірів; розрахунок за формулами розділу 4 з підстановкою чисел і одиницями вимірювання; таблиця результатів; висновки щодо працездатності машини та шляхів покращення її показників.

8. Контрольні запитання

1. Назвіть методи і способи осушення заболочених земель.
2. З яких мереж складається відкрита осушувальна система?
3. Розкрийте значення кожної складової формули В. П. Горячкіна.
4. Чому швидкісний опір ґрунту пропорційний квадрату швидкості руху?
5. Як рухається ніж фрези відносно ґрунту і від чого залежить товщина стружки?
6. Як впливає збільшення кількості ножів на енергоємність фрезерування?
7. Переваги й недоліки плужних і роторних каналокопачів.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК І СТІЙКІСТЬ УКОСІВ ВІДКРИТОГО КАНАЛУ. ТЯГОВИЙ РОЗРАХУНОК КАВАЛЬЄРОРОЗРІВНЮВАЧА

(Тема 5. Машини для розрівнювання кавальєрів, профілювання та облицювання каналів; тривалість – 2 год)

Мета роботи:

– навчитися виконувати гідравлічний розрахунок трапецієвидного каналу (формули Шезі та Маннінга), перевіряти допустимі швидкості й режим течії;

– оцінити стійкість укосу, сформованого профілювальною машиною, і визначити тяговий опір кавальєророзрівнювача.

Обладнання та засоби: плакати і презентації машин для профілювання каналів, кавальєророзрівнювачів, бетоновкладачів; MS Excel.

1. Короткі теоретичні відомості

Розміри поперечного перерізу каналу визначають гідравлічним розрахунком так, щоб під час пропуску розрахункових витрат швидкості течії були не меншими за незамулювальну (≈ 0,2 м/с) і не більшими за допустиму нерозмивну для ґрунтів русла. Для слаборозкладених торфовищ допустима нерозмивна швидкість становить 1,1…1,4 м/с; трапецієвидна форма перерізу є основною для каналів шириною по дну до 5 м [17].

Ґрунт, вийнятий із каналу, відкладається вздовж брівки у вигляді кавальєрів. Їх розрівнюють кавальєророзрівнювачами з відвальними робочими органами, встановленими під кутом до напрямку руху, на відстані, що забезпечує стійкість укосів і проїзд машин для утримання каналу. Стійкість укосів залежить від коефіцієнта закладання, зчеплення і кута внутрішнього тертя ґрунту, а також від фільтраційного тиску; для запобігання фільтраційним втратам зрошувальні канали облицьовують (бетон, асфальтобетон, геомембрани).

Будова і робочий процес машин

Гідравлічні елементи живого перерізу трапецієподібного каналу і схему до розрахунку стійкості укосу наведено на рис. 5.1. Для нарізування і зарівнювання тимчасової зрошувальної мережі використовують універсальний каналокопач-зарівнювач КЗУ-0,3 (рис. 5.2): на універсальній рамі 3 з опорними колесами 1 і зубчастим сектором 2 встановлюють змінні робочі органи – каналокопач 4 з лемешем 6 і лижею 5, зарівнювач, валкоутворювач, розрівнювач валиків, планувальник і чизель-культиватор [8].

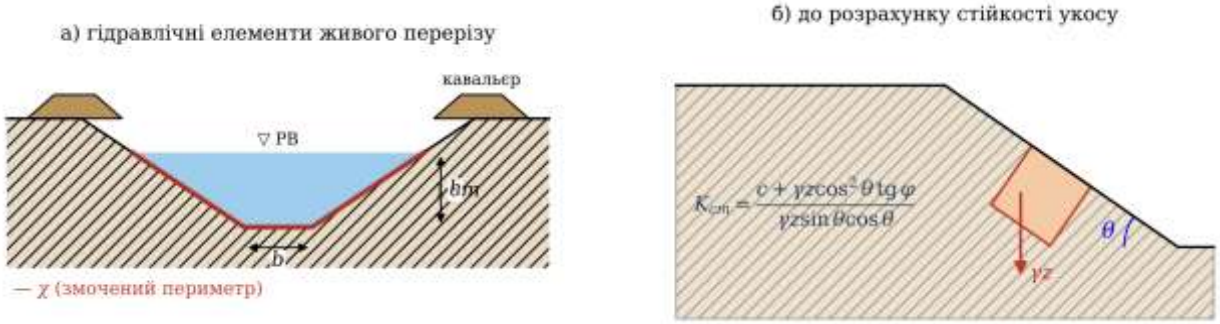


Рисунок 5.1 – Розрахункові схеми: а – гідравлічні елементи живого перерізу каналу; б – елемент укосу до розрахунку стійкості

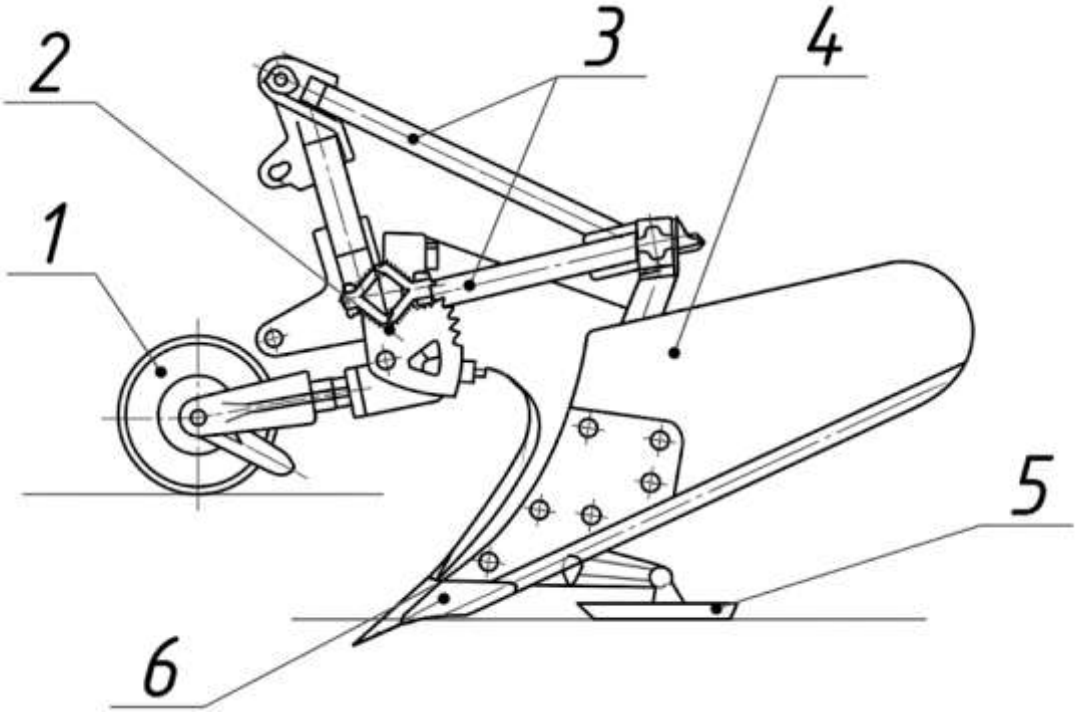


Рисунок 5.2 – Каналокопач-зарівнювач КЗУ-0,3 (варіант каналокопача) [8]: 1 – опорні колеса; 2 – зубчастий сектор; 3 – універсальна рама; 4 – робочий орган каналокопача; 5 – опорна лижа; 6 – леміш

Ґрунт кавальєрів, що утворюються під час будівництва і очищення каналів, розрівнюють кавальєророзрівнювачами (рис. 5.3) з відвалом, встановленим під кутом δ до напрямку руху; зусилля на відвалі складається з опору різанню, тертя призми об ґрунт і тертя ґрунту по відвалу. Загальний вигляд відкритого осушувального каналу в ґрунтовому руслі показано на рис. 5.4.

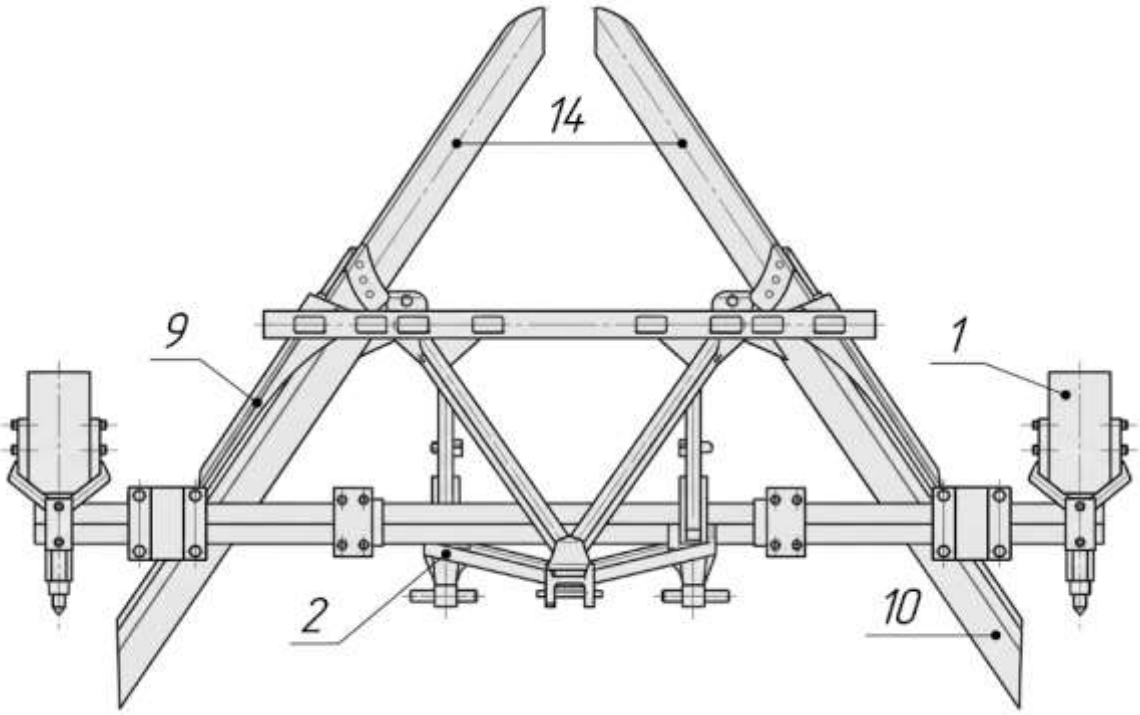


Рисунок 5.3 – Кавальєророзрівнювач (конструктивна схема)



Рисунок 5.4 – Відкритий осушувальний канал у ґрунтовому руслі

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики каналокопача-зарівнювача КЗУ-0,3 і чизель-культиватора ЧК-3 [8]

Показник	**КЗУ-0,3**	**ЧК-3**
Ширина каналу по дну, см	30 / 50	–
Глибина каналу (обробітку), см	25 / 30	до 25 (розпушувальні лапи), до 12 (стрілчасті)
Ширина захвату, м	–	3,0
Продуктивність, га/год	до 4	–
Змінні робочі органи	каналокопач, зарівнювач, валкоутворювач, розрівнювач, планувальник	розпушувальні лапи 50 мм, стрілчасті 250 мм

2. Розрахункові залежності

Площа живого перерізу, м², змочений периметр, м, і гідравлічний радіус каналу, м:

$$S = (b + m\,h)\,h,$$
$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2},$$
$$R = \frac{S}{\chi}, \tag{5.1}$$

де b – ширина каналу по дну, м;

h – глибина води в каналі, м;

m – коефіцієнт закладання укосу, $m = \operatorname{ctg}\theta$;

θ – кут нахилу укосу до горизонту, град.

Коефіцієнт Шезі (за формулою Маннінга), м^0,5/с, середня швидкість течії, м/с, і витрата, м³/с:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n},$$
$$V = C\sqrt{R\,i},$$
$$Q = S\,V, \tag{5.2}$$

де n – коефіцієнт шорсткості русла;

i – похил дна каналу.

Умова незамулення і нерозмиву, число Фруда (спокійний режим течії) і середня глибина потоку, м:

$$0{,}2 \le V \le V_{доп},$$
$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g\,h_{ср}}} < 1,$$
$$h_{ср} = \frac{S}{b + 2m\,h}, \tag{5.3}$$

де $V_{доп}$ – допустима нерозмивна швидкість, м/с;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9{,}81$ м/с².

Коефіцієнт стійкості укосу (розрахункова схема нескінченного укосу):

$$K_{ст} = \frac{c + \gamma\, z\cos^2\theta\,\operatorname{tg}\varphi}{\gamma\, z\sin\theta\cos\theta} \ge 1{,}25, \tag{5.4}$$

де c – питоме зчеплення ґрунту, кПа;

γ – питома вага ґрунту, кН/м³;

z – глибина можливої поверхні ковзання, м;

φ – кут внутрішнього тертя, $\varphi = \operatorname{arctg} f_s$ (f_s – коефіцієнт внутрішнього тертя).

Тяговий опір відвального кавальєророзрівнювача (різання ґрунту, переміщення призми, ковзання ґрунту по відвалу), кН, і вага призми волочіння, кН:

$$W = k\,B\,h_c + G_{пр}\,\mu_2 + G_{пр}\,\mu_1 \cos^2\delta,$$
$$G_{пр} = \frac{\rho\,g\,B\,H^2}{2\,\operatorname{tg}\varphi_0} \cdot 10^{-3}, \qquad (5.5)$$

де k – питомий опір різанню ґрунту, кПа;

B – довжина відвала, м;

h_c – глибина різання, м;

H – висота відвала, м;

μ_1, μ_2 – коефіцієнти тертя ґрунту по сталі та ґрунту по ґрунту;

δ – кут різання (встановлення відвала), град;

φ_0 – кут природного укосу ґрунту, град;

ρ – щільність ґрунту, $\rho = 1700$ кг/м³.

3. Порядок виконання роботи

1. За вихідними даними визначити m, S, χ, R, C, V, Q, Fr; перевірити умови незамулення та нерозмиву.

2. Накреслити поперечний переріз каналу в масштабі з кавальєрами (рис. 5.1).

3. Обчислити $K_{ст}$ укосу; за $K_{ст} < 1{,}25$ запропонувати положистіше закладання або кріплення укосу.

4. Визначити складові тягового опору кавальєророзрівнювача W.

4. Приклад розрахунку (варіант 6)

Гідравлічні елементи перерізу:

$$m = \operatorname{ctg} 32^\circ = 1{,}60; \quad S = (2{,}71 + 1{,}60 \cdot 1{,}1) \cdot 1{,}1 = 4{,}917 \text{ м}^2;$$

$$\chi = 2{,}71 + 2 \cdot 1{,}1\sqrt{1 + 1{,}60^2} = 6{,}862 \text{ м}; \quad R = \frac{4{,}917}{6{,}862} = 0{,}717 \text{ м};$$

$$C = \frac{0{,}717^{1/6}}{0{,}0336} = 28{,}2 \text{ м}^{0{,}5}/\text{с}; \quad V = 28{,}2\sqrt{0{,}717 \cdot 0{,}0013} = 0{,}859 \text{ м/с};$$

$$Q = 4{,}917 \cdot 0{,}859 = 4{,}226 \text{ м}^3/\text{с}; \quad h_{ср} = \frac{4{,}917}{2{,}71 + 2 \cdot 1{,}60 \cdot 1{,}1} = 0{,}789 \text{ м};$$

$$Fr = \frac{0{,}859}{\sqrt{9{,}81 \cdot 0{,}789}} = 0{,}309 < 1; \quad 0{,}2 < 0{,}859 < V_{доп} = 1{,}33 \text{ м/с}.$$

Умови незамулення, нерозмиву і спокійного режиму течії виконано.

Стійкість укосу:

$$\varphi = \text{arctg}\,0{,}58 = 30{,}1°; \quad K_{ст} = \frac{4{,}0 + 19{,}1 \cdot 0{,}93\cos^2 32° \,\text{tg}\, 30{,}1°}{19{,}1 \cdot 0{,}93 \sin 32° \cos 32°} = 1{,}43 > 1{,}25.$$

Тяговий опір кавальєророзрівнювача:

$$G_{пр} = \frac{1700 \cdot 9{,}81 \cdot 5{,}71 \cdot 1{,}14^2}{2\,\text{tg}\, 39{,}3°} \cdot 10^{-3} = 75{,}6 \text{ кН};$$

$$W = 111 \cdot 5{,}71 \cdot 0{,}27 + 75{,}6 \cdot 0{,}77 + 75{,}6 \cdot 0{,}58\cos^2 58{,}6° = 171{,}1 + 58{,}2 + 11{,}9 = 241{,}2 \text{ кН}.$$

5. Вихідні дані

Варіант вихідних даних вибирають за табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Варіанти вихідних даних до практичної роботи № 5

Вар.	b, м	h, м	θ, °	i	n	Vдоп, м/с	fs	c, кПа	γ, кН/м³
1	1,00	0,6	22	0,00040	0,025	0,90	0,45	1,6	17,0
2	2,00	0,7	24	0,00100	0,030	1,15	0,48	2	18,2
3	1,43	0,8	26	0,00060	0,027	1,01	0,5	2,4	17,5
4	2,43	0,9	28	0,00120	0,032	1,26	0,52	3	18,8
5	1,71	1	30	0,00080	0,029	1,08	0,55	3,6	17,9
6	2,71	1,1	32	0,00130	0,034	1,33	0,58	4	19,1
7	1,14	1,2	34	0,00050	0,026	0,94	0,6	4,4	17,2
8	2,14	1,3	36	0,00100	0,031	1,19	0,62	5	18,4
9	3,00	1,4	38	0,00150	0,035	1,40	0,65	5,6	19,5
10	1,57	1,5	40	0,00070	0,028	1,04	0,68	6	17,7
11	2,57	1,6	42	0,00130	0,033	1,29	0,7	7	19,0
12	1,29	0,65	23	0,00060	0,026	0,97	0,46	1,8	17,4
13	2,29	0,95	29	0,00110	0,031	1,22	0,53	3,2	18,6
14	1,86	1,25	35	0,00090	0,029	1,11	0,61	4,6	18,1
15	2,86	1,55	41	0,00140	0,034	1,36	0,69	6,4	19,3

Продовження таблиці 5.2

Вар.	z, м	B, м	hc, м	H, м	φ0, °	k, кПа	μ1	μ2	δ, °
1	0,50	4,00	0,10	0,80	35,0	60	0,45	0,60	50
2	0,75	5,00	0,20	1,00	37,5	90	0,53	0,70	55
3	0,61	4,43	0,14	0,89	36,1	73	0,48	0,64	52
4	0,86	5,43	0,24	1,09	38,6	103	0,56	0,74	57
5	0,68	4,71	0,17	0,94	36,8	81	0,50	0,67	54
6	0,93	5,71	0,27	1,14	39,3	111	0,58	0,77	59
7	0,54	4,14	0,11	0,83	35,4	64	0,46	0,61	51
8	0,79	5,14	0,21	1,03	37,9	94	0,54	0,71	56
9	1,00	6,00	0,30	1,20	40,0	120	0,60	0,80	60
10	0,64	4,57	0,16	0,91	36,4	77	0,49	0,66	53
11	0,89	5,57	0,26	1,11	38,9	107	0,57	0,76	58
12	0,57	4,29	0,13	0,86	35,7	69	0,47	0,63	51
13	0,82	5,29	0,23	1,06	38,2	99	0,55	0,73	56
14	0,71	4,86	0,19	0,97	37,1	86	0,51	0,69	54
15	0,96	5,86	0,29	1,17	39,6	116	0,59	0,79	59

6. Сучасна техніка (огляд)

Таблиця 5.3 – Приклади сучасних машин і обладнання

Тип машини	Виробник / модель (серія)	Особливості
Роторні профілювальники та каналокопачі	Cosmeco, Dondi (Італія)	Формування укосів 30…45°, рівномірне відкидання ґрунту
Екскаватори з профільними ковшами і тилтротаторами	Liebherr, Komatsu; тилтротатори Engcon, Rototilt	Профілювання укосів з керуванням 3D-GNSS
Бетоновкладачі з ковзною опалубкою	GOMACO, Wirtgen (серія SP)	Облицювання каналів бетоном

7. Зміст звіту

Назва і мета роботи; вихідні дані варіанта; розрахункова схема (за рис. 5.1) з позначенням сил і розмірів; розрахунок за формулами розділу 5 з підстановкою чисел і одиницями вимірювання; таблиця результатів; висновки щодо працездатності машини та шляхів покращення її показників.

8. Контрольні запитання

1. Що таке кавальєр каналу і які правила його формування?
2. Від чого залежить допустима нерозмивна швидкість течії в каналі?
3. Який фізичний зміст числа Фруда в задачах профілювання відкритих русел?
4. Опишіть умову стійкості ґрунту на укосі каналу.
5. Як кут закладання укосу впливає на стійкість русла?
6. Яка роль питомого зчеплення у запобіганні сповзанню укосів?
7. Які матеріали і машини застосовують для антифільтраційного облицювання каналів?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

РОЗРАХУНОК КАНАЛООЧИЩУВАЧА З РОТАЦІЙНИМ (КОВШОВИМ) РОБОЧИМ ОРГАНОМ

(Тема 6. Машини для утримання та ремонту каналів і водойм; тривалість – 2 год)

Мета роботи:

– вивчити будову і робочий процес каналоочищувачів зі скребковими, ротаційними, шнековими та фрезерними робочими органами;

– навчитися визначати продуктивність, робочу швидкість, потрібну потужність каналоочищувача і дальність відкидання наносів.

Обладнання та засоби: плакати і презентації каналоочищувачів, меліоративних косарок, засобів гідромеханізації; MS Excel.

1. Короткі теоретичні відомості

В процесі експлуатації осушувальних і зрошувальних каналів їх переріз зменшується через замулення, заростання і сповзання укосів, що знижує пропускну здатність та порушує режим осушення або подачі води. Догляд за мережею включає скошування рослинності, очищення від наносів і ремонт укосів; для зрошувальних систем важливі також заходи щодо попередження засолення і заболочення, у т. ч. підтримання дренажної мережі в робочому стані [17].

Ротаційні каналоочищувачі вирізають шар наносів ковшами або лопатями ротора і відкидають ґрунт на берег або розподіляють по прилеглій території. Енергія витрачається на різання наносів, підйом маси на висоту відкидання та надання їй кінетичної енергії.

Будова і робочий процес машин

Розрахункова схема каналоочищувача з ротаційним робочим органом наведена на рис. 6.1: ротор на стрілі розробляє шар наносів товщиною t і відкидає ґрунт зі швидкістю v_0 під кутом β на відстань s за межі берми. Каналоочищувачі виконують на базі тракторів або одноківшевих гідравлічних екскаваторів (рис. 6.4); ротаційні та фрезерні робочі органи (рис. 6.2, 6.3) очищають дно й укоси одночасно, а косарки-каналоочищувачі видаляють рослинність з укосів.

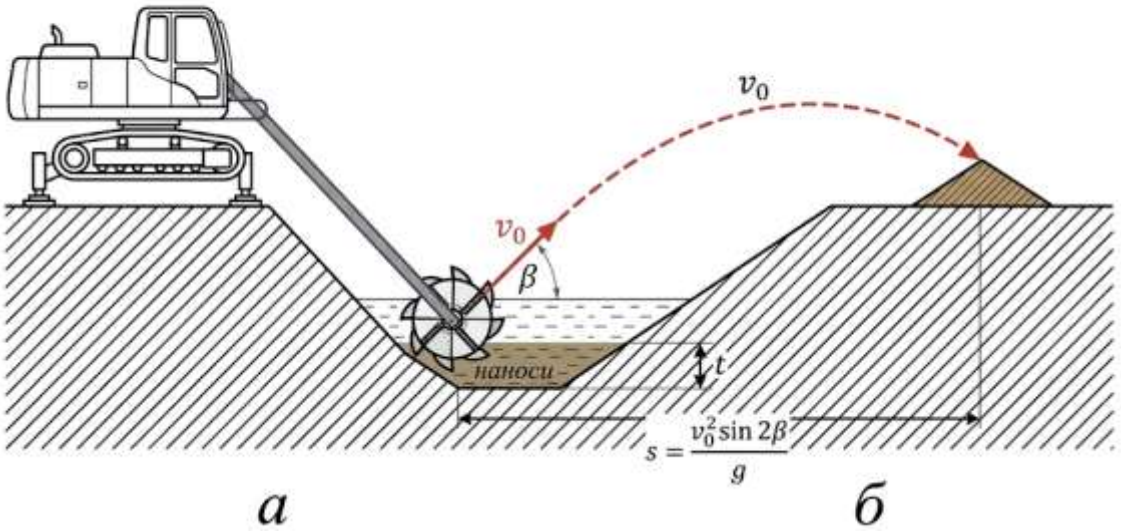


Рисунок 6.1 – Розрахункова схема каналоочищувача з ротаційним робочим органом

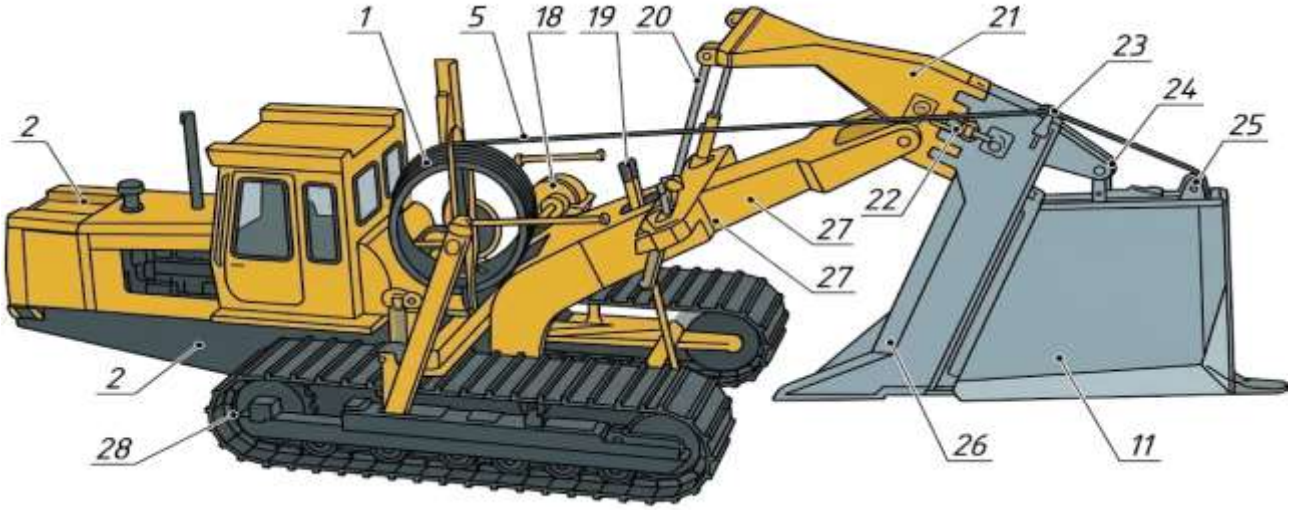


Рисунок 6.2 – Каналоочищувач з ротаційним робочим органом (загальний вигляд)



Рисунок 6.3 – Ротаційний робочий орган для очищення каналів



Рисунок 6.4 – Гідравлічний одноківшевий екскаватор – базова машина для очищення і ремонту каналів

Таблиця 6.1 – Орієнтовні параметри ротаційних каналоочищувачів

Показник	**Значення**
Глибина очищуваних каналів, м	1,0…3,0
Товщина шару наносів, м	0,1…0,6
Колова швидкість ротора, м/с	8…30
Дальність відкидання ґрунту, м	5…25
Коефіцієнт наповнення ковшів Кн	0,6…0,9
Базова машина	трактор класу 3…6 або гідравлічний екскаватор

Узагальнено за [8] і [9]; конкретні значення приймати за даними варіанта.

2. Розрахункові залежності

Площа поперечного перерізу шару наносів, м²:

$$S_н = (b + m\,t)\,t, \tag{6.1}$$

де b – ширина каналу по дну, м;

m – коефіцієнт закладання укосу;

t – товщина шару наносів, м.

Технічна продуктивність ковшового ротора в щільному тілі, м³/год:

$$Q = \frac{60\,z\,q\,n\,K_н}{K_р}, \tag{6.2}$$

де z – кількість ковшів ротора;

q – місткість ковша, м³ (у табл. 6.2 – у літрах, 1 л = 10^{-3} м³);

n – частота обертання ротора, хв$^{-1}$;

$K_н$ – коефіцієнт наповнення ковшів;

$K_р$ – коефіцієнт розпушення наносів.

Робоча швидкість каналоочищувача, м/год:

$$v_м = \frac{Q}{S_н} \tag{6.3}$$

Потрібна потужність на привод робочого органу (копання, піднімання і відкидання наносів), кВт:

$$N = \frac{Q}{3600\,\eta}\left[k_к + \rho\, g\, H_п \cdot 10^{-3} + \frac{\rho\, v_0^2}{2} \cdot 10^{-3}\right], \tag{6.4}$$

де $k_к$ – питомий опір копанню наносів, кПа (кДж/м³);

ρ – щільність наносів, кг/м³;

$H_п$ – висота піднімання ґрунту, м;

v_0 – швидкість вильоту ґрунту з ротора, м/с;

η – ККД привода.

Дальність відкидання наносів (без урахування опору повітря), м:

$$s = \frac{v_0^2 \sin 2\beta}{g} \geq l_{потр}, \tag{6.5}$$

де β – кут вильоту ґрунту до горизонту, град;

$l_{потр}$ – потрібна дальність відкидання (за межі берми), м.

3. Порядок виконання роботи

1. Накреслити переріз каналу з шаром наносів (рис. 6.1).
2. Обчислити $S_н$, Q і $v_м$.
3. Визначити складові потужності та повну потужність N.
4. Перевірити дальність відкидання $s \geq l_{потр}$; за потреби змінити v_0 або β.
5. Зробити висновок щодо вибору базового трактора за потужністю ВВП.

4. Приклад розрахунку (варіант 6)

Площа перерізу наносів, продуктивність і швидкість машини:

$$S_н = (1{,}80 + 1{,}86 \cdot 0{,}56) \cdot 0{,}56 = 1{,}591 \text{ м}^2;$$

$$Q = \frac{60 \cdot 11 \cdot 35{,}7 \cdot 10^{-3} \cdot 18{,}3 \cdot 0{,}87}{1{,}23} = 305{,}0 \text{ м}^3/\text{год}; \quad v_м = \frac{305{,}0}{1{,}591} = 192 \text{ м/год};$$

Потрібна потужність:

$$N = \frac{305{,}0}{3600 \cdot 0{,}75}\left[72{,}9 + 1457 \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}79 \cdot 10^{-3} + \frac{1457 \cdot 9{,}43^2}{2} \cdot 10^{-3}\right] = \frac{6{,}18 + 3{,}38 + 5{,}49}{0{,}75} = 20{,}1 \text{ кВт};$$

Дальність відкидання:

$$s = \frac{9,43^2 \sin(2 \cdot 42,9°)}{9,81} = 9,04 \text{ м} \geq l_{потр} = 5,57 \text{ м}.$$

Умову дальності відкидання виконано.

5. Вихідні дані

Варіант вихідних даних вибирають за табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Варіанти вихідних даних до практичної роботи № 6

Вар.	b, м	m	t, м	z	q, л	n, хв$^{-1}$	Кн
1	0,60	1,00	0,30	6	10,0	8,0	0,70
2	1,30	1,50	0,45	9	25,0	14,0	0,80
3	0,90	1,21	0,36	7	16,4	10,6	0,74
4	1,60	1,71	0,51	10	31,4	16,6	0,84
5	1,10	1,36	0,41	8	20,7	12,3	0,77
6	1,80	1,86	0,56	11	35,7	18,3	0,87
7	0,70	1,07	0,32	6	12,1	8,9	0,71
8	1,40	1,57	0,47	9	27,1	14,9	0,81
9	2,00	2,00	0,60	12	40,0	20,0	0,90
10	1,00	1,29	0,39	8	18,6	11,4	0,76
11	1,70	1,79	0,54	11	33,6	17,4	0,86
12	0,80	1,14	0,34	7	14,3	9,7	0,73
13	1,50	1,64	0,49	10	29,3	15,7	0,83
14	1,20	1,43	0,43	9	22,9	13,1	0,79
15	1,90	1,93	0,58	12	37,9	19,1	0,89

Продовження таблиці 6.2

Вар.	Кр	кк, кПа	ρ, кг/м³	Нп, м	v0, м/с	β, °	lпотр, м
1	1,10	30	1200	1,50	6,0	30,0	3,0
2	1,18	55	1350	2,25	8,0	37,5	4,5
3	1,13	41	1264	1,82	6,9	33,2	3,6
4	1,21	66	1414	2,57	8,9	40,7	5,1
5	1,15	48	1307	2,04	7,4	35,4	4,1
6	1,23	73	1457	2,79	9,4	42,9	5,6
7	1,11	34	1221	1,61	6,3	31,1	3,2
8	1,19	59	1371	2,36	8,3	38,6	4,7
9	1,25	80	1500	3,00	10,0	45,0	6,0
10	1,14	44	1286	1,93	7,1	34,3	3,9
11	1,22	69	1436	2,68	9,1	41,8	5,4
12	1,12	37	1243	1,71	6,6	32,1	3,4
13	1,20	62	1393	2,46	8,6	39,6	4,9
14	1,16	51	1329	2,14	7,7	36,4	4,3
15	1,24	76	1479	2,89	9,7	43,9	5,8

Примітка. ККД η = 0,75.

6. Сучасна техніка (огляд)

Таблиця 6.3 – Приклади сучасних машин і обладнання

Тип машини	Виробник / модель (серія)	Особливості
Роторні канавоочисники до тракторів	Dondi, Cosmeco (Італія)	Очищення і профілювання каналів з відкиданням ґрунту
Косарки для укосів (маніпуляторні)	Kuhn, McConnel, Ferri	Скошування рослинності на укосах і дні каналів
Малогабаритні земснаряди / амфібії	Watermaster (Фінляндія)	Очищення каналів і водойм від мулу

7. Зміст звіту

Назва і мета роботи; вихідні дані варіанта; розрахункова схема (за рис. 6.1) з позначенням сил і розмірів; розрахунок за формулами розділу 6 з підстановкою чисел і одиницями вимірювання; таблиця результатів; висновки щодо працездатності машини та шляхів покращення її показників.

8. Контрольні запитання

1. Які причини зменшення пропускної здатності каналів у процесі експлуатації?
2. Класифікуйте каналоочищувачі за типом робочого органу.
3. На що витрачається енергія ротора каналоочищувача?
4. Від чого залежить дальність відкидання ґрунту ротором?
5. Які машини застосовують для скошування рослинності на укосах?
6. Які засоби гідромеханізації використовують для очищення водойм?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

РОЗРАХУНОК ВІДСТАНІ МІЖ ДРЕНАМИ ТА ПАРАМЕТРІВ ТРАНШЕЙНОГО ДРЕНОУКЛАДАЧА

(Тема 7. Машини для будівництва закритого дренажу і трубопроводів; тривалість – 2 год)

Мета роботи:

– засвоїти методику визначення відстані між дренами закритого дренажу;

– навчитися визначати продуктивність, швидкість укладання дрен, питому енергоємність і потрібну потужність багатоковшового (роторного) траншейного дреноукладача.

Обладнання та засоби: плакати і презентації дреноукладачів, кротодренажних машин; MS Excel.

1. Короткі теоретичні відомості

Закритий горизонтальний дренаж застосовують на мінеральних водопроникних ґрунтах. Регулювальні дрени (гончарні або пластмасові) проектують довжиною до 200…250 м з похилом 0,003…0,005 на глибині 1,0…1,4 м, під гострим кутом до горизонталей; відстань між дренами визначають із умови зниження рівня ґрунтових вод до норми осушення за розрахунковий період. Для недосконалих дрен (водотривкий шар глибше від дрен) відстань збільшують з урахуванням коефіцієнта висячості за формулою Козлова [17].

Траншейні дреноукладачі з багатоковшовим або роторним робочим органом риють траншею, укладають дрени з фільтрувальним матеріалом і засипають їх. Ухил дна витримується лазерною або GNSS-системою керування з точністю до кількох міліметрів. Безтраншейні дреноукладачі прокладають дрену ножем із трубоукладачем без виймання ґрунту.

Будова і робочий процес машин

Схему до розрахунку відстані між дренами систематичного горизонтального дренажу наведено на рис. 7.1, а загальну схему систематичного дренажу – на рис. 7.2. Дрени закладають на глибину T нижче норми осушення u; між дренами рівень ґрунтових вод (РГВ) утворює криву депресії.

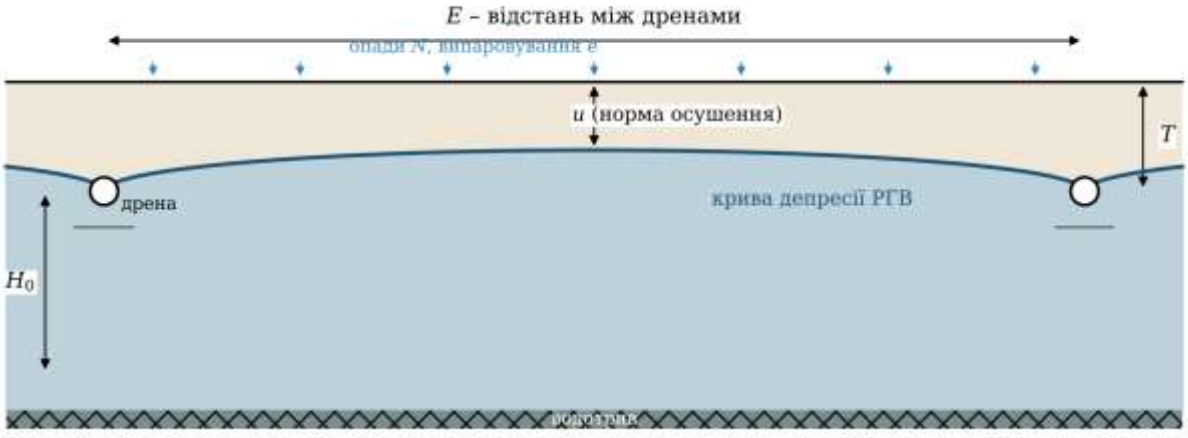


Рисунок 7.1 – Схема до розрахунку відстані між дренами систематичного горизонтального дренажу

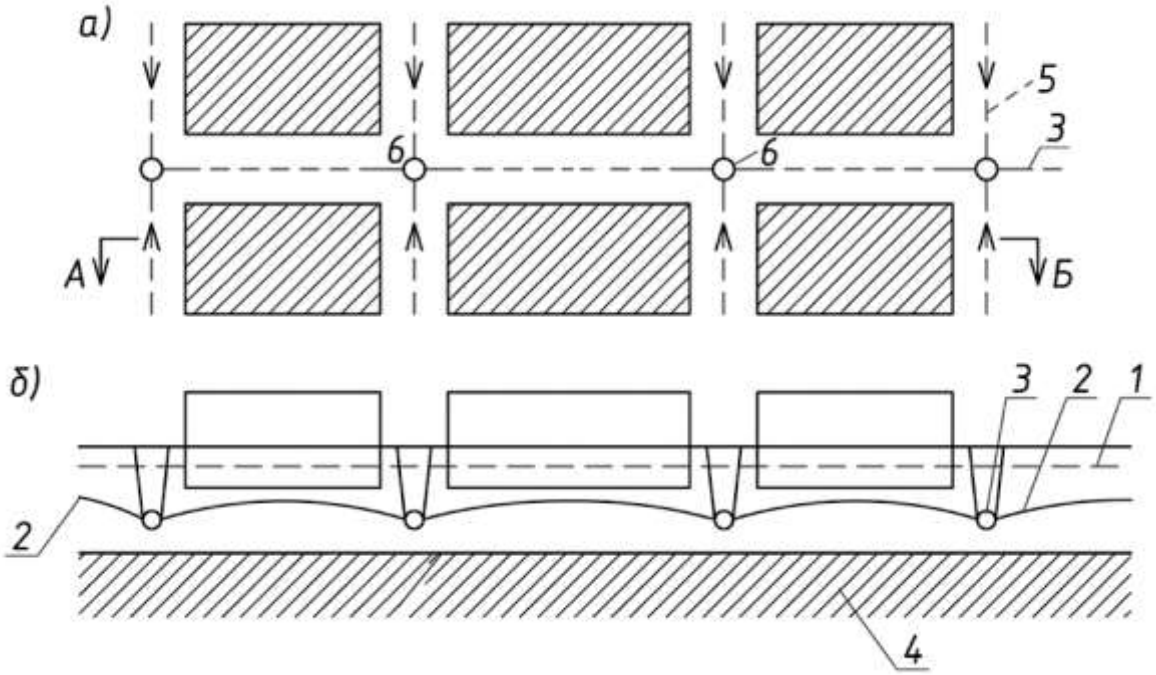


Рисунок 7.2 – Систематичний горизонтальний дренаж (план (а) і розріз(б))

3 –Дрени-осушувачі (вертикальні лінії зі стрілками, що вказують на напрямок руху ґрунтової води до колектора).

5 – Дренажний колектор (горизонтальна шпильова/транзитна лінія, куди збирається вода).

6 – Оглядові колодязі (круглі точки на перетині дрен та колектора, призначені для контролю та обслуговування системи).

А-Б – Лінія розрізу (показує напрямок, за яким зроблено вертикальний розріз системи, що зображений нижче).

Заштриховані прямокутники – Будівлі, споруди або ділянки, які захищаються від підтоплення.

б) Розріз А–Б:

1 – Непонижений рівень ґрунтових вод (природний рівень води до влаштування дренажу, позначений верхньою горизонтальною пунктирною лінією).

2 – Понижений рівень ґрунтових вод (проектний рівень води, який встановився після запуску дренажу; показаний вигнутими кривими, що прогинаються вниз біля кожної дрени).
3 – Дрени-осушувачі (в розрізі – підземні трубчасті конструкції, що збирають воду).
4 – Водоупор (непроникний або слабопроникний шар ґрунту в самому низу, на якому або вище якого накопичуються підземні води; показаний суцільною похилою штриховкою).
Прямокутники зверху – Захищені будівлі/об'єкти в розрізі, що тепер знаходяться вище пониженого рівня ґрунтових вод (2), що убезпечує їх від підтоплення та вологи.

Закритий дренаж будують траншейними (рис. 7.3) і безтраншейними (рис. 7.4) дреноукладачами. Траншейний дреноукладач розробляє вузьку траншею ланцюговим або роторним робочим органом, укладає в неї пластмасову гофровану трубу з фільтрувальним матеріалом і частково засипає траншею; безтраншейний дреноукладач плужного типу прорізає ґрунт ножем і протягує трубу на задану глибину. Кротовий дренаж влаштовують кротодренажними машинами з ножем-дренером і розширювачем (рис. 7.5). Ухил дрени витримують за допомогою лазерної системи керування глибиною.



Рисунок 7.3 – Ланцюговий траншейний дреноукладач на гусеничному ходу



Рисунок 7.4 – Безтраншейний (плужний) дреноукладач у роботі

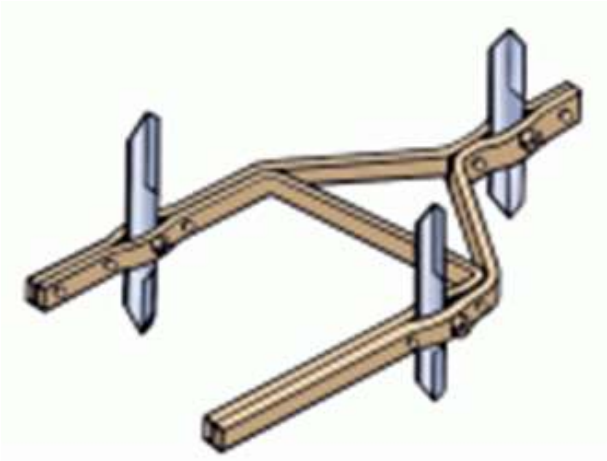


Рисунок 7.5 – Ніж-дренер із розширювачем кротодренажної машини (схема)

Таблиця 7.1 – Характеристики сучасних дреноукладачів (за даними виробників)

Модель / серія	Тип	Особливості
Inter-Drain 2050GP (Нідерланди)	ланцюговий траншейний	двигун 260 к.с.; гідравлічний привід ланцюга радіально-поршневими гідромоторами
Inter-Drain (серія Plows)	безтраншейний плужний	укладання труби без траншеї; лазерне керування глибиною
Mastenbroek 3020 (Велика Британія)	ланцюговий траншейний	маса ≈22 т; двигун Cummins 335 к.с.; ширина траншеї 110…400 мм

Джерела: inter-drain.com та публікації виробників (2026). Дані слід уточнювати за поточними каталогами.

2. Розрахункові залежності

Напори над віссю дрени на початку і в кінці розрахункового періоду, м:

$$h_1 = T - u,$$
$$h_2 = T - H_{пос}, \tag{7.1}$$

де T – глибина закладання дрен, м;

u – початкова глибина рівня ґрунтових вод, м;

$H_{пос}$ – норма осушення (потрібна глибина РГВ), м.

Коефіцієнт водовіддачі ґрунту:

$$\beta = 0{,}056\sqrt{k}(H_{пос} - u)^{1/3}, \tag{7.2}$$

де k – коефіцієнт фільтрації ґрунту, м/добу.

Відстань між досконалими дренами (дрени на водотриві), м:

$$E_{дос} = 2\sqrt{\frac{k\, t_p\, h_1\, h_2}{\beta\,(h_1 - h_2) + N - e}}, \tag{7.3}$$

де t_p – розрахунковий період зниження РГВ, діб;

N – шар опадів за розрахунковий період, м;

e – шар випаровування за той самий період, м.

Коефіцієнт висячості (за С. Ф. Козловим) і відстань між недосконалими дренами, м:

$$B = 1 + 5{,}5\sqrt{\frac{(H_0 - T)\, r_0}{H_0\, T}}, \qquad E_{недос} = E_{дос}\sqrt{B}, \tag{7.4}$$

де H_0 – потужність водопроникного шару (глибина до водотриву), м;

r_0 – зовнішній радіус дрени, м.

Технічна продуктивність ланцюгового траншейного дреноукладача в щільному тілі, м³/год, і швидкість укладання дрен, м/год:

$$Q = \frac{60\, z\, q\, n\, K_н}{K_р}, \qquad v_у = \frac{Q}{b_т\, H_т}, \tag{7.5}$$

де z – кількість ковшів (скребків), що розвантажуються за один оберт ланцюга;

q – місткість ковша, м³;

n – частота обертання ведучої зірочки, хв$^{-1}$;

$K_н$, $K_р$ – коефіцієнти наповнення і розпушення;

$b_т$, $H_т$ – ширина і глибина траншеї, м ($H_т = T + 0{,}1$ м).

Питома енергоємність копання, МДж/м³, і потрібна потужність на привод робочого органу, кВт:

$$E_{пит} = \left(K_c + \rho\, g\, h_п + \frac{\rho\, v_e^2}{2}\right)\cdot 10^{-6}, \qquad N = \frac{E_{пит}\cdot 10^3\, Q}{3600\,\eta}, \tag{7.6}$$

де K_c – питомий опір копанню, Па (у табл. 7.2 – кПа);

ρ – щільність ґрунту, кг/м³;

$h_п$ – висота піднімання ґрунту, м;

v_e – швидкість ланцюга, м/с;

η – ККД привода.

3. Порядок виконання роботи

1. Обчислити h_1, h_2, β, $E_{дос}$, B і $E_{недос}$; прийняти відстань між дренами (округлити до 0,5 м).

2. Визначити довжину дрен на 1 га: $L = 10^4/E$, м/га.

3. Обчислити Q, $v_у$, $E_{пит}$ і N дреноукладача.

4. Визначити кількість змін для дренування ділянки площею 10 га.
5. Зробити висновок щодо вибору дреноукладача.

4. Приклад розрахунку (варіант 6)

Відстань між дренами:

$$h_1 = 1{,}34 - 0{,}19 = 1{,}15 \text{ м}; \quad h_2 = 1{,}34 - 0{,}76 = 0{,}58 \text{ м};$$

$$\beta = 0{,}056\sqrt{1{,}31}\,(0{,}76 - 0{,}19)^{1/3} = 0{,}0531;$$

$$E_{\text{дос}} = 2\sqrt{\frac{1{,}31 \cdot 13{,}9 \cdot 1{,}15 \cdot 0{,}58}{0{,}0531\,(1{,}15 - 0{,}58) + 0{,}0457 - 0{,}0136}} = 27{,}9 \text{ м};$$

$$B = 1 + 5{,}5\sqrt{\frac{(2{,}8 - 1{,}34) \cdot 0{,}0471}{2{,}8 \cdot 1{,}34}} = 1{,}745; \quad E_{\text{недос}} = 27{,}9\sqrt{1{,}745} = 36{,}9 \text{ м};$$

$$L = \frac{10^4}{36{,}9} = 271 \text{ м/га}.$$

Траншейний дреноукладач:

$$Q = \frac{60 \cdot 9 \cdot 0{,}0225 \cdot 18 \cdot 0{,}89}{1{,}29} = 150{,}9 \text{ м}^3/\text{год}; \quad v_y = \frac{150{,}9}{0{,}46 \cdot 1{,}44} = 228 \text{ м/год};$$

$$E_{\text{пит}} = \left(150 \cdot 10^3 + 1500 \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}6 + \frac{1500 \cdot 11^2}{2}\right) \cdot 10^{-6} = 0{,}279 \text{ МДж/м}^3;$$

$$N = \frac{0{,}279 \cdot 10^3 \cdot 150{,}9}{3600 \cdot 0{,}8} = 14{,}6 \text{ кВт}.$$

5. Вихідні дані

Варіант вихідних даних вибирають за табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Варіанти вихідних даних до практичної роботи № 7

Вар.	k, м/доб	tp, діб	T, м	u, м	Hпос, м	H0, м	r0, м	N, м	e, м	Kc, кПа
1	0,20	7,0	1,00	0,100	0,50	1,60	0,030	0,020	0,005	80
2	0,85	11,0	1,20	0,150	0,65	2,30	0,040	0,035	0,010	90
3	0,48	8,7	1,09	0,120	0,56	1,90	0,034	0,026	0,007	100
4	1,13	12,7	1,29	0,170	0,71	2,60	0,044	0,041	0,012	120
5	0,66	9,9	1,14	0,140	0,61	2,10	0,037	0,031	0,009	140
6	1,31	13,9	1,34	0,190	0,76	2,80	0,047	0,046	0,014	150
7	0,29	7,6	1,03	0,110	0,52	1,70	0,031	0,022	0,006	160
8	0,94	11,6	1,23	0,160	0,67	2,40	0,041	0,037	0,011	180
9	1,50	15,0	1,40	0,200	0,80	3,00	0,050	0,050	0,015	200
10	0,57	9,3	1,11	0,130	0,59	2,00	0,036	0,029	0,008	220
11	1,22	13,3	1,31	0,180	0,74	2,70	0,046	0,044	0,013	240
12	0,39	8,1	1,06	0,110	0,54	1,80	0,033	0,024	0,006	60
13	1,04	12,1	1,26	0,160	0,69	2,50	0,043	0,039	0,011	110
14	0,76	10,4	1,17	0,140	0,63	2,20	0,039	0,033	0,009	170
15	1,41	14,4	1,37	0,190	0,78	2,90	0,049	0,048	0,014	230

Продовження таблиці 7.2

Вар.	ρ, кг/м³	hп, м	ve, м/с	q, м³	n, хв⁻ ¹	z	Кн	Кр	bт, м
1	1250	1,8	6	0,0075	12	6	0,80	1,20	0,25
2	1300	2	7	0,01	13	8	0,85	1,25	0,38
3	1350	2,2	8	0,0125	14	7	0,82	1,22	0,30
4	1400	2,4	9	0,015	15	9	0,87	1,27	0,43
5	1450	2,5	10	0,02	16	7	0,84	1,24	0,34
6	1500	2,6	11	0,0225	18	9	0,89	1,29	0,46
7	1550	2,8	12	0,025	19	6	0,81	1,21	0,27
8	1600	3	13	0,0275	20	8	0,86	1,26	0,39
9	1650	3,2	14	0,03	22	10	0,90	1,30	0,50
10	1700	3,4	15	0,035	24	7	0,83	1,23	0,32
11	1750	3,5	14,5	0,0375	25	9	0,88	1,28	0,45
12	1220	1,6	5,5	0,0063	11	7	0,81	1,21	0,29
13	1380	2,3	8,5	0,0138	14	9	0,86	1,26	0,41
14	1580	2,9	12,5	0,0262	19	8	0,84	1,24	0,36
15	1720	3,45	14,8	0,0362	24,5	10	0,89	1,29	0,48

Примітка. ККД η = 0,8.

6. Сучасна техніка (огляд)

Таблиця 7.3 – Приклади сучасних машин і обладнання

Тип машини	Виробник / модель (серія)	Особливості
Траншейні дреноукладачі	Inter-Drain (Нідерланди), Mastenbroek (Велика Британія)	Автоматичне керування ухилом за лазером / GNSS, укладання труби з фільтром
Ланцюгові траншеєкопачі	Vermeer, Trencor (США)	Траншеї для трубопроводів і дренажу
Безтраншейні дреноукладачі	Hoes, Inter-Drain (плужного типу)	Укладання дрен без виймання ґрунту

7. Зміст звіту

Назва і мета роботи; вихідні дані варіанта; розрахункова схема (за рис. 7.1) з позначенням сил і розмірів; розрахунок за формулами розділу 7 з підстановкою чисел і одиницями вимірювання; таблиця результатів; висновки щодо працездатності машини та шляхів покращення її показників.

8. Контрольні запитання

1. Наведіть конструкції та матеріали дрен закритого дренажу.
2. Від чого залежить відстань між дренами?
3. Чим відрізняються досконалі й недосконалі дрени?
4. Назвіть складові питомої енергоємності копання траншеї роторним органом.
5. Поясніть фізичну суть коефіцієнта розпушення ґрунту в ковші.
6. Як лазерні та GNSS-системи забезпечують заданий ухил дрен?
7. Порівняйте траншейні й безтраншейні дреноукладачі.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

РОЗРАХУНОК РЕЖИМУ РОБОТИ ДОЩУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ТА ГІДРАВЛІКИ КРАПЕЛЬНОГО ЕМІТЕРА

(Тема 8. Машини і обладнання для зрошення та підготовки полів до поливу; тривалість – 2 год)

Мета роботи:

– засвоїти визначення поливної норми, сезонної продуктивності дощувальної машини, інтенсивності дощу і тривалості поливу з однієї позиції;

– навчитися перевіряти допустимість інтенсивності дощу та виконувати гідравлічний розрахунок крапельного емітера.

Обладнання та засоби: натурні зразки дощувальних апаратів і крапельниць, плакати, презентації дощувальних машин; MS Excel.

1. Короткі теоретичні відомості

Режим зрошення – сукупність кількості, строків і норм поливів сільськогосподарської культури. Зрошувальна норма дорівнює дефіциту водного балансу за вегетаційний період і визначається водоспоживанням культури та опадами; поливна норма – кількість води, яку подають за один полив для зволоження розрахункового шару ґрунту від нижньої межі оптимальної вологості до найменшої вологоємності [17].

Основні способи поливу – дощування, поверхневий полив (по борознах, смугах), краплинне та підґрунтове зрошення. Дощувальні машини поділяють на позиційні (працюють з однієї позиції, переміщуються між позиціями) і безперервної дії – кругові (центральна опора) та фронтальні багатоопорні машини, а також барабанні (шлангові) машини з далекоструминним апаратом [17]. Інтенсивність дощу не повинна перевищувати швидкість вбирання води ґрунтом, інакше виникає поверхневий стік і ерозія; великі краплі руйнують структуру ґрунту.

Крапельне зрошення подає воду безпосередньо в кореневу зону через емітери (крапельниці) з лабіринтним каналом, де розсіюється надлишковий тиск. Обов’язкові елементи системи – фільтрувальна станція, вузол фертигації, магістральні і розподільні трубопроводи, крапельні лінії.

Будова і робочий процес машин

Схеми позиційного і кругового поливу наведено на рис. 8.1. Далекоструминний дощувальний агрегат ДДН-70 (рис. 8.2) навішують на трактори Т-74 / ДТ-75М: відцентровий насос 17 з приводом від ВВП через підвищувальний редуктор 18 подає воду з каналу через всмоктувальний трубопровід 15 до ствола 5 з основним 3 і малим 6 соплами; поворот ствола

здійснює механізм 10 з розбризкувальною лопаткою 9; заповнюють систему водою газоструминним вакуум-апаратом (ежектором) 22, що працює від випускної труби трактора 23 [8].

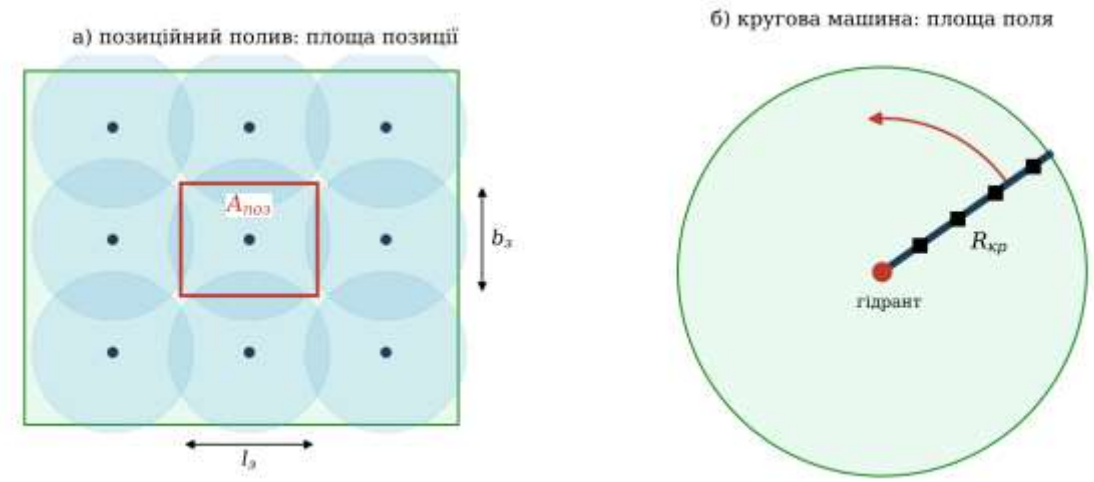


Рисунок 8.1 – Схеми поливу: а – позиційний полив; б – кругова дощувальна машина

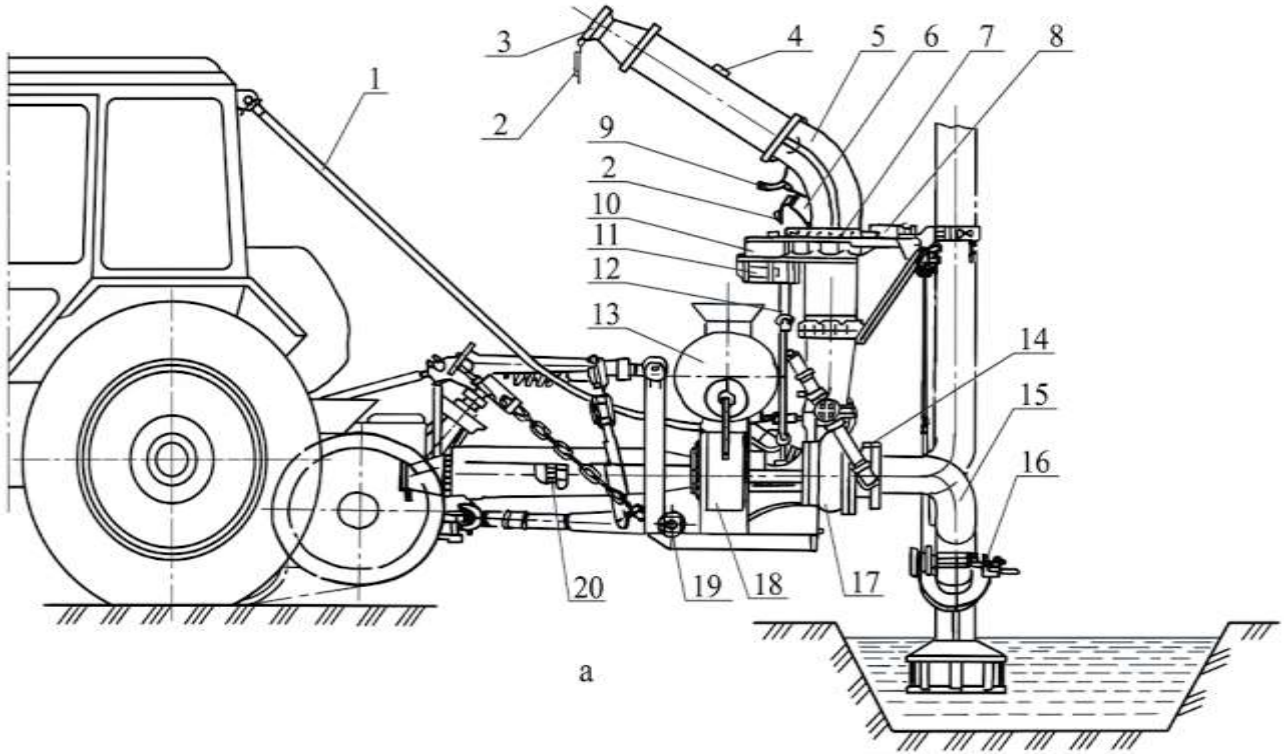


Рисунок 8.2 – Далекоструминний навісний дощувач ДДН-70 (схема машини) [8]: 3 – основне сопло; 5 – ствол; 6 – мале сопло; 9 – розбризкувальна лопатка; 10 – механізм повороту; 15 – всмоктувальний трубопровід; 17 – відцентровий насос; 18 – підвищувальний редуктор; 19 – рама; 20 – карданна передача

Система крапельного зрошення (рис. 8.3) включає водозабірний вузол 1, насос 2, фільтр 4, лічильник 5, пристрій для внесення добрив 7, магістральний 9, розподільчий 11 і поливні 12 трубопроводи з крапельницями 14, датчики і пульт керування. Поливні трубопроводи розміщують наземно на шпалері або

під землею (рис. 8.4). Сучасна барабанна дощувальна машина показана на рис. 8.5, крапельні поливні лінії в полі – на рис. 8.6.

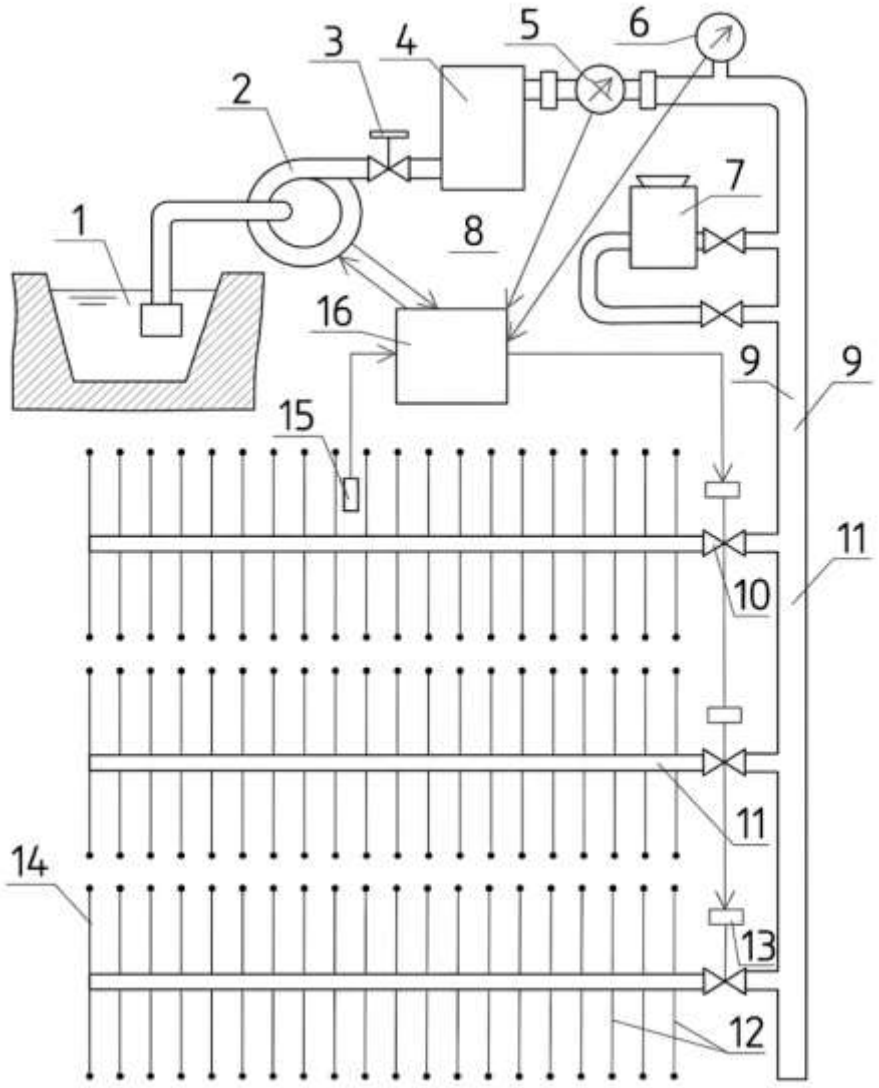


Рисунок 8.3 – Принципова схема системи крапельного зрошення [8]: 1 – водозабірний вузол; 2 – насос; 3 – засувка; 4 – фільтр; 5 – лічильник; 6 – манометр; 7 – пристрій для подачі добрив; 9 – магістральний трубопровід; 11 – розподільчий трубопровід; 12 – поливний трубопровід; 14 – крапельниця; 15 – датчик потреби поливу; 16 – пульт керування

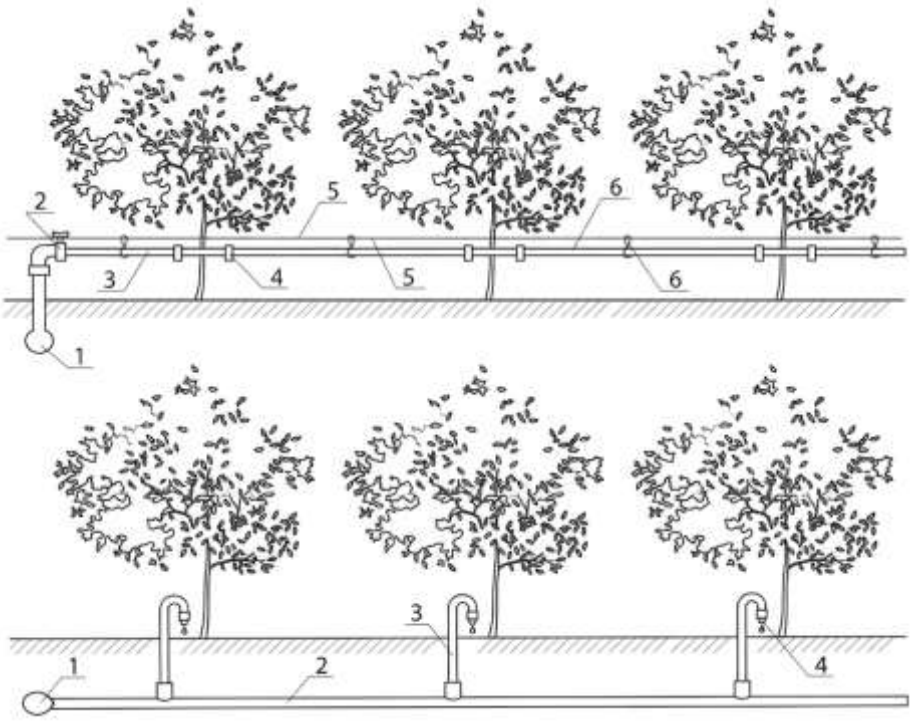


Рисунок 8.4 – Схеми розміщення поливних трубопроводів системи крапельного зрошення [8]: а – наземне (на шпалері); б – підземне



Рисунок 8.5 – Барабанна (шлангова) дощувальна машина з далекоструминним апаратом



Рисунок 8.6 – Крапельні поливні лінії на посівах

Таблиця 8.1 – Технічна характеристика далекоструминного дощувача ДДН-70 [8]

Показник	Значення
Витрата води, л/с	70
Напір (тиск), МПа	0,52
Радіус дії, м	59
Площа поливу з однієї позиції, га	0,94
Середня інтенсивність дощу, мм/хв	0,41
Продуктивність при нормі 300 м³/га, га/год	0,78
Діаметр сопел (основне / мале), мм	55; 45; 35 / 16
Частота обертання вала насоса, хв$^{-1}$	2100 (i = 3,94)
Частота обертання ствола, об/хв	0,2
Агрегатування	Т-74, ДТ-75М

Таблиця 8.2 – Сучасні дощувальні машини і апарати (за даними виробників)

Модель	Тип	Основні параметри
Valley 8000 (США)	кругова / фронтальна	довжина машини до 853 м (2800 футів); прольоти 35…69 м; труби 6…10 дюймів
Nelson Big Gun серія 200 (США)	далекоструминний апарат	дальність до 95 м; витрата до 272 м³/год
Nelson Big Gun серія 100 (США)	далекоструминний апарат	витрата 40…300 гал/хв (9…68 м³/год), тиск 2,8…7,6 бар

Джерела: valleyirrigation.com, nelsonirrigation.com (2026).

Таблиця 8.3 – Класифікація дощувальних апаратів за дальністю дії і допустима інтенсивність дощу [8]

Група	Радіус дії, м	Тиск, МПа	Ґрунти	Допустима інтенсивність, мм/хв
короткоструминні	8…10	0,05…0,15	важкі	0,1…0,2
середньоструминні	20…25	0,15…0,5	середні	0,2…0,3
далекоструминні	60…90	> 0,5	легкі	0,5…0,8

Примітка. Інтенсивність дощу пов’язана з типом ґрунту, а не з групою апарата; рядки об’єднано для компактності.

2. Розрахункові залежності

Нижня межа оптимальної вологості (передполивна вологість), % маси, і поливна норма нетто, м³/га:

$$\beta = (0{,}70 \dots 0{,}80)\,\gamma_{НВ},$$
$$m = 100\,H\,\alpha\,(\gamma_{НВ} - \beta), \qquad (8.1)$$

де H – глибина розрахункового (активного) шару ґрунту, м;

α – щільність ґрунту, т/м³;

$\gamma_{НВ}$ – найменша вологоємність, % маси.

Площа, яку обслуговує дощувальна машина за сезон, га:

$$A_{сез} = \frac{86{,}4\,t_{кр}\,Q\,K_{доб}\,K_{сез}}{m\,K_{в}}, \qquad (8.2)$$

де $t_{кр}$ – тривалість критичного міжполивного періоду, діб;

Q – витрата машини, л/с;

$K_{доб}$, $K_{сез}$ – коефіцієнти використання часу доби і сезону;

$K_в$ – коефіцієнт, що враховує втрати води на випаровування і знесення;

86,4 – коефіцієнт переведення одиниць (1 л/с = 86,4 м³/добу).

Середня інтенсивність дощу, мм/хв:

$$i = \frac{60\,Q}{A_{поз}} \le i_{вб}, \tag{8.3}$$

де $A_{поз}$ – площа поливу з однієї позиції, м²;

$i_{вб}$ – допустима інтенсивність (швидкість вбирання води ґрунтом), мм/хв.

Тривалість поливу з однієї позиції, год:

$$t_{поз} = \frac{0{,}1\,m\,A_{поз}\,K_в}{3600\,Q}. \tag{8.4}$$

Радіус (довжина) кругової машини, що обслуговує площу $A_{сез}$, м:

$$R_{кр} = \sqrt{\frac{A_{сез}\cdot 10^4}{\pi}}. \tag{8.5}$$

Втрати напору в лабіринтному каналі емітера, м, число Рейнольдса і витрата емітера, л/год:

$$\Delta H = \left(\lambda\frac{l}{d} + \sum\zeta\right)\frac{v^2}{2g},$$
$$Re = \frac{v\,d}{\nu}, \tag{8.6}$$
$$q_e = v\,\frac{\pi d^2}{4}\cdot 3{,}6\cdot 10^6,$$

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

l, d – довжина і гідравлічний діаметр каналу емітера, м;

$\sum\zeta$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів;

v – середня швидкість води в каналі, м/с;

ν – кінематична в’язкість води, $\nu = 1{,}004\cdot 10^{-6}$ м²/с.

Число Вебера для краплі (при $We > 12 \ldots 14$ краплі дробляться):

$$We = \frac{\rho_п\,v_{кр}^2\,d_{кр}}{\sigma}, \tag{8.7}$$

де $\rho_п$ – густина повітря, $\rho_п = 1{,}2$ кг/м³;

$v_{кр}$ – швидкість краплі відносно повітря, м/с;

$d_{кр}$ – діаметр краплі, м;

σ – коефіцієнт поверхневого натягу води, $\sigma = 0{,}072$ Н/м.

3. Порядок виконання роботи

1. Визначити β і поливну норму m.

2. Обчислити $A_{сез}$, i, $t_{поз}$; перевірити умову $i \le i_{вб}$ і, за її невиконання, запропонувати заходи (зменшення витрати, насадки з меншою інтенсивністю).

3. Визначити $R_{кр}$ кругової машини, що обслуговує площу $A_{сез}$.

4. Для емітера обчислити ΔH, Re (визначити режим течії) і q_e.

5. Обчислити We краплі і зробити висновок щодо дроблення струменя.

4. Приклад розрахунку (варіант 6)

Поливна норма:

$$\beta = 0{,}79 \cdot 23{,}9 = 18{,}9\ \%; \quad m = 100 \cdot 0{,}76 \cdot 1{,}47 \cdot (23{,}9 - 18{,}9) = 561\ м^3/га;$$

Сезонна площа, інтенсивність дощу і тривалість поливу на позиції:

$$A_{сез} = \frac{86{,}4 \cdot 11{,}4 \cdot 109{,}0 \cdot 0{,}84 \cdot 0{,}89}{561 \cdot 1{,}14} = 125{,}6\ га;$$

$$A_{поз} = 28{,}0 \cdot 829 = 23212\ м^2; \quad i = \frac{60 \cdot 109{,}0}{23212} = 0{,}282\ мм/хв \le i_{вб} = 0{,}36\ мм/хв;$$

$$t_{поз} = \frac{0{,}1 \cdot 561 \cdot 23212 \cdot 1{,}14}{3600 \cdot 109{,}0} = 3{,}78\ год; \quad R_{кр} = \sqrt{\frac{125{,}6 \cdot 10^4}{\pi}} = 632\ м;$$

Крапельний емітер:

$$\Delta H = \left(0{,}038 \cdot \frac{0{,}16}{0{,}0013} + 60\right)\frac{1,1^2}{2 \cdot 9{,}81} = 3{,}99\ м;$$

$$Re = \frac{1{,}1 \cdot 0{,}0013}{1{,}004 \cdot 10^{-6}} = 1424 < 2300;$$

Оскільки $Re < 2300$, режим течії в каналі емітера ламінарний.

$$q_e = 1{,}1 \cdot \frac{\pi \cdot 0{,}0013^2}{4} \cdot 3{,}6 \cdot 10^6 = 5{,}26\ л/год;$$

$$We = \frac{1{,}2 \cdot 38^2 \cdot 0{,}0025}{0{,}072} = 60{,}2 > 14.$$

Оскільки $We > 14$, струмінь дробиться на дрібні краплі.

5. Вихідні дані Варіант вихідних даних вибирають за табл. 8.4.

Таблиця 8.4 – Варіанти вихідних даних до практичної роботи № 8

Вар.	H, м	α, т/м³	γНВ, %	β/γНВ	Q, л/с	Кдоб	Ксез	Кв	tкр, діб
1	0,50	1,30	17,0	0,70	40,0	0,75	0,80	1,05	8,0
2	0,65	1,40	21,0	0,75	80,0	0,80	0,85	1,10	10,0
3	0,56	1,34	18,7	0,72	57,1	0,77	0,82	1,07	8,9
4	0,71	1,44	22,7	0,77	97,1	0,82	0,87	1,12	10,9
5	0,61	1,37	19,9	0,74	68,6	0,79	0,84	1,09	9,4
6	0,76	1,47	23,9	0,79	109,0	0,84	0,89	1,14	11,4
7	0,52	1,31	17,6	0,71	45,7	0,76	0,81	1,06	8,3
8	0,67	1,41	21,6	0,76	85,7	0,81	0,86	1,11	10,3
9	0,80	1,50	25,0	0,80	120,0	0,85	0,90	1,15	12,0
10	0,59	1,36	19,3	0,73	62,9	0,78	0,83	1,08	9,1
11	0,74	1,46	23,3	0,78	103,0	0,83	0,88	1,13	11,1
12	0,54	1,33	18,1	0,71	51,4	0,76	0,81	1,06	8,6
13	0,69	1,43	22,1	0,76	91,4	0,81	0,86	1,11	10,6
14	0,63	1,39	20,4	0,74	74,3	0,79	0,84	1,09	9,7
15	0,78	1,49	24,4	0,79	114,0	0,84	0,89	1,14	11,7

Продовження таблиці 8.4

Вар.	Апоз, м×м	івб, мм/хв	λ	l, м	d, мм	Σζ	v, м/с	vкр, м/с	dкр, мм
1	16×400	0,15	0,025	0,08	0,8	30	0,6	25	1,2
2	23×650	0,28	0,028	0,1	0,9	40	0,7	28	1,5
3	19×507	0,20	0,03	0,12	1	45	0,8	30	1,8
4	26×757	0,33	0,032	0,14	1,1	50	0,9	32	2
5	21×579	0,24	0,035	0,15	1,2	55	1	35	2,2
6	28×829	0,36	0,038	0,16	1,3	60	1,1	38	2,5
7	17×436	0,17	0,04	0,18	1,4	70	1,2	40	2,8
8	24×686	0,29	0,042	0,2	1,5	75	1,3	42	3
9	30×900	0,40	0,045	0,22	1,6	80	1,4	45	3,5
10	20×543	0,22	0,048	0,24	1,8	90	1,5	50	4
11	27×793	0,35	0,05	0,25	2	100	1,6	52	4,5
12	18×471	0,19	0,022	0,06	0,6	25	0,55	22	1,1
13	25×721	0,31	0,033	0,13	1,1	48	0,85	31	1,9
14	22×614	0,26	0,043	0,19	1,4	72	1,25	41	2,9
15	29×864	0,38	0,049	0,24	1,9	95	1,55	54	4,8

Примітка. $\nu = 1{,}004 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\sigma = 0{,}072$ Н/м.

6. Сучасна техніка (огляд)

Таблиця 8.5 – Приклади сучасних машин і обладнання

Тип машини	Виробник / модель (серія)	Особливості
Кругові та фронтальні дощувальні машини	Valley, Zimmatic (Lindsay), Reinke (США); Variant Agro Build (Україна)	Автоматизоване керування, змінна норма поливу (VRI)
Барабанні (шлангові) дощувальні машини	Ocmis, Irrimec (Італія), Bauer (Австрія)	Полив далекоструминним апаратом, довжина шланга до 500…600 м
Далекоструминні дощувальні апарати	Nelson Big Gun (США), Komet Twin (Австрія)	Радіус поливу до 50…90 м
Крапельні лінії та емітери	Netafim, Rivulis (Ізраїль), Irritec (Італія)	Компенсовані емітери, підземне крапельне зрошення
Вітчизняні дощувальні машини (довідково)	ДМ «Фрегат», ДФ-120 «Днепр», ДКШ-64 «Волжанка», ДДА-100МА	Широко поширені на зрошувальних системах Півдня України

7. Зміст звіту

Назва і мета роботи; вихідні дані варіанта; розрахункова схема (за рис. 8.1) з позначенням сил і розмірів; розрахунок за формулами розділу 8 з підстановкою чисел і одиницями вимірювання; таблиця результатів; висновки щодо працездатності машини та шляхів покращення її показників.

8. Контрольні запитання

1. Що таке режим зрошення, зрошувальна і поливна норма?
2. Як визначають поливну норму для заданої культури і ґрунту?
3. Класифікуйте дощувальні машини та наведіть приклади.
4. Чому інтенсивність дощу не повинна перевищувати швидкість вбирання води ґрунтом?
5. Як складають графік поливів і укомплектовують його дощувальними машинами?
6. Яку функцію виконує лабіринтний канал емітера?

7. За якої умови за числом Вебера відбувається дроблення крапель?
8. Які елементи входять до системи краплинного зрошення?

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Сільськогосподарські та меліоративні машини : підручник / Д. Г. Войтюк, В. О. Дубровін, Т. Д. Іщенко та ін. ; за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2004.
2. Машини для земляних робіт : навч. посіб. / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Нічке та ін. ; за заг. ред. Л. А. Хмари, С. В. Кравця. Рівне ; Дніпропетровськ ; Харків, 2010. 557 с.
3. Зінь В. С. Меліоративні машини (теорія і розрахунок). Київ : НМК ВО, 1992.
4. Бабич Я. О., Зінь В. С. та ін. Меліоративні машини (конструкція). Київ : ІСДО, 1994.
5. Гурин В. А., Степаненко М. П., Степаненко М. Г. Технологія зрошування : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2013. 381 с.
6. Ромащенко М. І., Рокочинський А. М. Краплинне зрошення : навч. посіб. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. 300 с.
7. Доценко В. І. Зрошення сільськогосподарських культур способом дощування : навч. посіб. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. 446 с.
8. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з курсу «Меліоративні машини» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / уклад. С. М. Мороз, Д. В. Богатирьов, О. М. Васильковський, О. В. Анісімов, О. В. Нестеренко. Кропивницький : ЦНТУ, 2020. 44 с.
9. Методичні вказівки до самостійної роботи з курсу «Меліоративні машини» / С. О. Карпушин, В. В. Яцун, О. В. Лізунков, О. В. Дьомін. Кіровоград : КНТУ, 2006.
10. Сільськогосподарські машини : навч. посіб. / Д. Г. Войтюк, Л. В. Аніскевич, М. С. Волянський, В. М. Мартишко, Ю. О. Гуменюк. Київ : Агроосвіта, 2017. 180 с.
11. Про меліорацію земель : Закон України від 14.01.2000 № 1389-XIV. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1389-14
12. Про організації водокористувачів та стимулювання гідротехнічної меліорації земель : Закон України від 17.02.2022 № 2079-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2079-20
13. Про схвалення Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.08.2019 № 688-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/688-2019-p
14. ISO 11545:2009. Agricultural irrigation equipment – Centre-pivot and moving lateral irrigation machines with sprayer or sprinkler nozzles – Determination of uniformity of water distribution. Geneva : ISO, 2009.

15. Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome : FAO, 1998.
16. Drainage Principles and Applications / ed. H. P. Ritzema. 2nd ed. ILRI Publication 16. Wageningen : ILRI, 1994.
17. Гочь В. Основи меліорації і ландшафтознавства : електронний посібник. ВСП «Шевченківський коледж Уманського НУС». URL: https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/geodezija/osnovu_meliorazii/Zmist/zmist.htm
18. Інженерний аналіз та кінематика меліоративних технічних систем : навчальні матеріали до практичних робіт (робочий документ кафедри сільськогосподарського машинобудування ЦНТУ). Кропивницький, 2026.
19. Робоча програма навчальної дисципліни «Меліоративні машини» на 2026–2027 н. р. Кропивницький : ЦНТУ, 2026.

ДОДАТОК А. ДОВІДКОВІ ДАНІ

Таблиця А.1 – Орієнтовні показники ґрунтів

Ґрунт	Kp	φп, °	c, кПа	φ, °	ρ, кг/м³
Торф слаборозкладений	1,10–1,20	30–35	2–8	20–28	400–900
Пісок	1,10–1,15	30–35	0–2	28–35	1500–1700
Супісок, легкий суглинок	1,15–1,25	35–40	5–15	22–28	1600–1800
Суглинок середній і важкий	1,20–1,30	35–45	15–40	18–24	1700–1900
Глина	1,25–1,35	40–45	30–80	14–20	1800–2000

Значення орієнтовні; для розрахунків використовуються дані варіанта.

Таблиця А.2 – Коефіцієнт шорсткості та допустимі швидкості течії в каналах

Русло	n	Vдоп нерозмивна, м/с
Канал у торфі слаборозкладеному	0,025–0,030	1,1–1,4 (при R = 1 м)
Канал у суглинках, у доброму стані	0,025	0,7–1,0
Канал зарослий, замулений	0,030–0,040	–
Облицювання бетонне	0,014–0,017	4–6

Мінімальна незамулювальна швидкість – 0,2 м/с [17].