Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

МАШИНИ ДЛЯ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ

(Частина І)

Рекомендовано Вченою радою Центральноукраїнського національного технічного університету (протокол №6 від 03 березня 2025 року) як навчальний посібник для здобувачів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» та спеціальності 192 «Промислове і цивільне будівництво»

Кропивницький
ЦНТУ
2025

Ковалевський С.Г., Хачатурян С.Л., Щербак О.В.

Машини для земляних робіт: навчальний посібник (Частина І). – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. – 61 с.

У навчальному посібнику викладений матеріал з основних видів земляних робіт у будівництві, відомості про ґрунти та способи їх розробки, призначення, класифікації та улаштування машин для підготовчих земляних робіт, наведені рівняння, котрі описують кількісні співвідношення між їх параметрами, розглянута низка розрахункових положень.

Навчальний посібник призначений для здобувачів, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» та спеціальністю 192 «Промислове і цивільне будівництво».

© Ковалевський С.Г., Хачатурян С.Л., Щербак О.В.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Лідируюче положення в будівельній галузі з важливості, обсягу та вартості займають земляні роботи, тому машини для їх виконання (землерийні машини) різноманітні та численні. До групи цих машин входять бульдозери, скрепери, автогрейдери, екскаватори, екскаватори-навантажувачі, грейдери-елеватори, траншеєкопачі, землевози, ущільнюючі машини та навантажувачі. Основними об'єктами їх діяння є пісок, глина, кам'яна дрібниця та їх суміші, об'єднані терміном «ґрунти», які служать основою та матеріалом для будівель і споруд.

1.1. Основні види земляних робіт у будівництві

Земляні роботи виконуються з метою будівництва земляних споруд і видобутку викопних будівельних матеріалів.

Земляні споруди створюються вирізанням їх у ґрунтовому масиві з видаленням надлишкового ґрунту чи відсипкою з ґрунту, добутого в спеціальних резервах або кар’єрах, доставленого на місце зведення споруди та ущільненого до необхідного ступеня.

До земляних споруд відносяться (рис. 1. 1): *а* – траншея; *б* – канал; *в* – дамба; *г* – гребля; *ґ* – канал у насипу; *д* – дорожня виїмка; *е* – котлован під фундамент щогли; *є* – система фундаментів під колони споруди; *ж* – котлован під фундамент будівлі; *з, и, і, ї* – підземні виробки (для штольні, труби, каналізаційного колектору, тунелю метрополітену); *й* – майданчик; *к* – виїмка для спускного колодязя; *л* – бурова свердловина; *м* – напіввиїмка-напівнасип; *н* – підводна траншея; *1* – дно (траншеї, каналу, котловану, спускного колодязя); *2* – бокова стінка траншеї; *3* – боковий відкіс (каналу, дорожньої виїмки, котловану, насипу, греблі, дамби); *4* – водовідвідний кювет.

Робочий процес машини для земляних робіт складається, в основному, з таких операцій:

• руйнування (чи розпушування) ґрунту в його природному заляганні та вилучення зруйнованої частини ґрунту;

• переміщення ґрунту до місця укладки в насип або відвал; розрівнювання (планування) та ущільнення його з метою надання необхідної механічної міцності та стійкості;

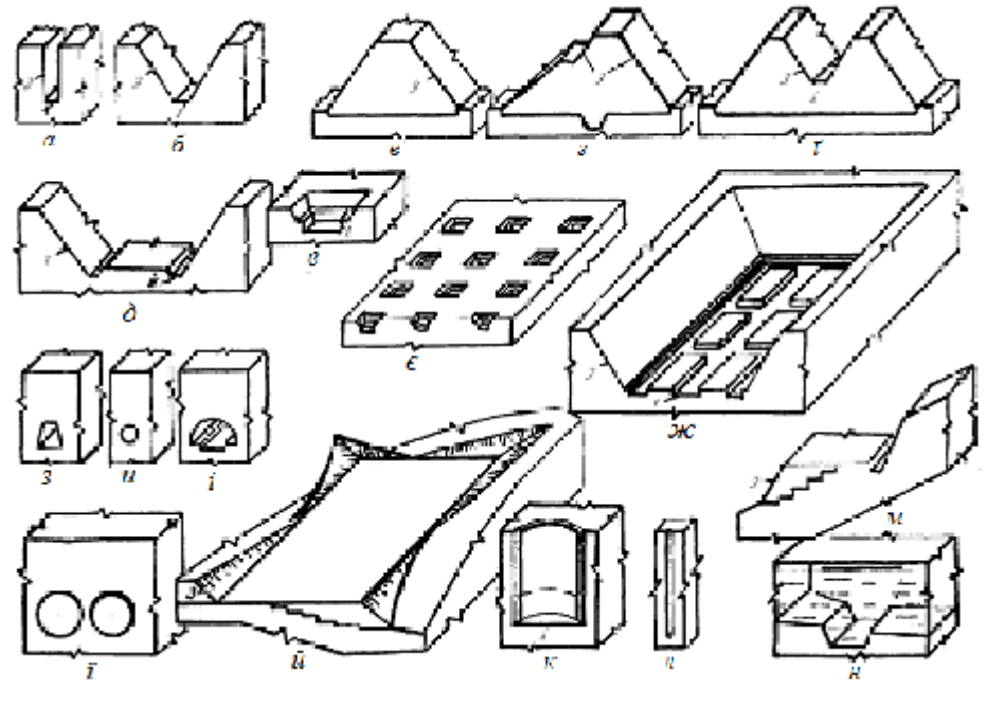

Рис. 1.1 – Види земляних споруд

• профілювання та оздоблення земляної споруди з метою надання виїмкам і насипам суворо певного поперечного та поздовжнього профілю.

1.2. Об'єкти транспортного будівництва

Транспортну складову інфраструктури держави утворюють автомобільні дороги та залізниці, аеродроми та трубопроводи. Склад і об'єм робіт по кожній з таких споруд мають типову та оригінальну частини, котрі залежать від типу та особливостей її проєкту. Остання залежить від місця розташування об'єкту, тоді як типова частина визначається загальним призначенням об'єкту та зв'язаними з ним нормативними вимогами до розмірів і якості.

Автомобільні дороги

Однією з найстаріших, які збереглися до наших днів доріг, є Віа Аппіа, побудована в 312 г. до н. е., котра з'єднувала Рим з південними провінціями. Антична технологія дорожнього будівництва♦ була достатньо складною. Спочатку трасу дороги розмічали двома борознами, потім обнажали скельову основу, на котру укладали плоске каміння, скріплене глиною (шар 0,3÷0,6 м), потім дрібні камінчики, осколки каміння та цегли (0,2 м), потім пісок або гравій

(шар 0,3÷0,5 м) и, насамкінець, широкі кам’яні плити чи гравій (шар 0,2÷0,3 м). Тротуари для пішоходів з обох сторін дороги викладалися кам’яними плитами менших розмірів або мостились.

Сучасна автомобільна дорога складається з основи, земляного полотна та дорожньої одежі з шарами покриття, з верхнім з яких (шару зношування) взаємодіють ходові пристрої транспортних засобів♦♦.

Поперечний профіль сучасного дорожнього полотна визначається категорією дороги й складається з декількох елементів (рис. 1. 2).

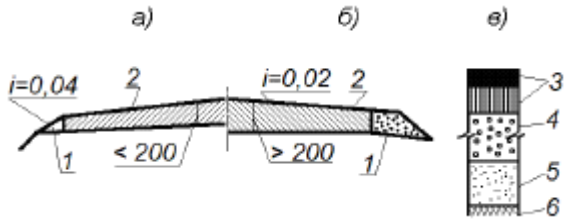

Рис. 1.2. – Конструкція дороги з серповидним (а) і коритоподібним (б) з присипним узбіччям профілями; в – шари одежі; 1 – обочина; 2 – проїжджа частина; 3 – покриття; 4 – основа; 5 – підстеляючий шар; 6 – ущільнений ґрунт

У залежності від рельєфу місцевості поперечний перетин земляного полотна може формуватися як насип, виїмка та напівнасип-напіввиїмка (рис. 1. 3) і облаштовуватися необхідними інженерними елементами.

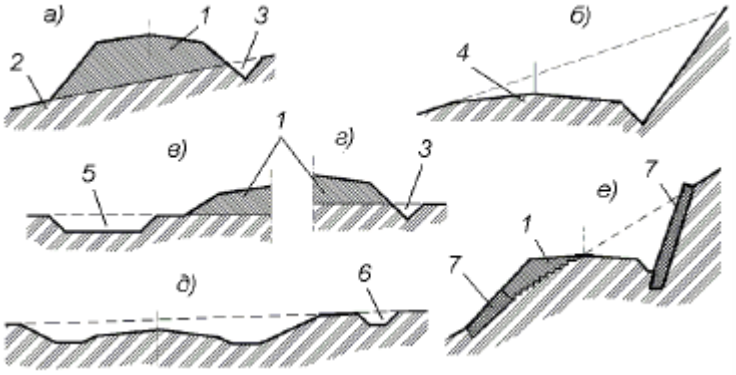

Рис. 1.3. – Типові профілі автомобільних доріг і їх елементи: а – насип на косогорі; б – земляне полотно на полці косогору; в – насип, зведена з бокових резервів; г – насип з трикутним кюветом; д – земляне полотно в виїмці; е – напівнасип-напіввиїмка; 1 – насип; 2 – основа; 3 – кювет; 4 – земляне полотно; 5 – боковий резерв; 6 – нагорна канава; 7 – підпірна стінка

Кювети забезпечують захист насипу від поверхневих вод у рівнинній місцевості, нагорна канава, нарізана вище дороги, захищає земляне полотно від підтоплення водою, котра стікає по схилу. На схилах, крутизною (крутизна –

відношення висоти схилу до довжини його основи) від 1:10 до 1:5, земляне полотно споруджують у вигляді насипу без улаштування уступів в основі.

На стійких гірських схилах крутизною більше 1:3 земляне полотно рекомендується розташовувати на поличці, врізаній у косогір. При крутизні схилів від 1:5 до 1:3 земляне полотно можна влаштовувати в вигляді насипу, напівнасипу-напіввиїмки чи на поличці. На крутих косогорах в основі насипу та напівнасипу-напіввиїмки влаштовують уступи шириною 3÷4 м і висотою до 1 м.

У залежності від призначення та розрахункової інтенсивності руху автомобільні дороги діляться на категорії [1, табл. 1. 1, с. 3÷19], розміри та тип дорожньої одежі котрих [1, табл.1. 2, с. 3÷19] суттєво різняться.

Таблиця 1.1

Категорії автомобільних доріг

Категорія	**1а**	**1б**	**2**	**3**	**4**	**5**
Розрахункова перспективна інтенсивність руху (в транспортних одиницях на добу)	>10000	>10000	>3000-10000	>1000-3000	>150-1000	<150
Розрахункова перспективна інтенсивність руху (в приведених до легкового автомобіля)	>14000	>14000	>5000-14000	>2500-5000	>300-2500	<300
Розрахункова швидкість руху, км/год	130	110	90	90	90	90
Кількість смуг (в обидві сторони), шт	4;6;8	4;6	2	2	2	1(всього)
Ширина смуги руху, м	3,75	3,75	3,75	3,5	3,0	4,5
Ширина роздільної смуги, м	6,0	3,0	-	-	-	-
Ширина укріпленої смуги на розділювальній смузі, м	0,75	0,50	-	-	-	-
Найменша ширина земляного полотна, м	28,5; 36,0; 43,5	28,5; 36,0	15	12	10	8
Найменший радіус кривої у плані, м	1000	700	450	450	450	450
Найбільший поздовжній похил, проміле	40	50	60	60	60	60

Таблиця 1.2

Сфера застосування покриттів дорожнього одягу

Категорія дороги	**Тип дорожнього одягу**	**Матеріал верхнього шару покриття**
І-а, І-б, ІІ	Капітальний	Асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий І марки. Щебенево-мастиковий асфальтобетон. Цементобетон
ІІІ	Капітальний	Те саме
ІV	Капітальний	Асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий І марки. Щебенево-мастиковий асфальтобетон. Цементобетон
	Удосконалений полегшений	Кам’яні матеріали, а також підібрані матеріали з промислових відходів, оброблені в’яжучими методом змішування в установці чи на дорозі (у тому числі холодний ресайклінг) або

		просочування з улаштуванням шару зносу
V	Удосконалений полегшений	Асфальтобетон гарячий щільний дрібнозернистий II марки, асфальтобетон холодний, кам'яні матеріали або ґрунти, оброблені в установці або на дорозі (у тому числі холодний ресайклінг) або просочування з улаштуванням шару зносу
	Перехідний	Ґрунти, оброблені в установці або на дорозі (у тому числі холодний ресайклінг) або покращені добавками. Кам'яні матеріали розклинені

Розрахункова інтенсивність руху приводиться до кількості легкових автомобілів і визначається з урахуванням ймовірності її наростання за 20 років, починаючи з моменту введення дороги в експлуатацію. Міські вулиці та проїзди класифікують за іншими показниками.

Траншеї

Траншеї в ґрунті влаштовуються під стрічкові фундаменти, об'єкти типу «стіна в ґрунті», меліоративні системи, різні трубопроводи, лінії зв'язку, електропередачі та інші підземні комунікації. Розміри та конфігурації траншей (рис. 1. 4) визначаються як їх призначенням, так і низкою інших факторів♦.

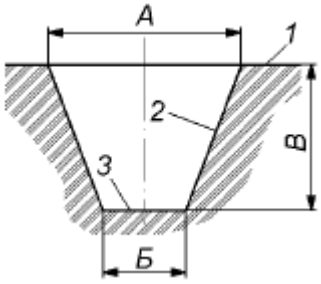

Рис. 1.4. – Типові елементи та розміри поперечного перетину траншеї:
1 – берма; 2 – відкіс; 3 – дно; *А* і *Б* – ширина траншеї відповідно по верху та по дну; *В* – глибина траншеї

Траншеї, котрі розроблюються одноковшевими екскаваторами в пісках і супісях, повинні бути ширші ріжучої крайки ківша на 0,15 м, в глинистих ґрунтах – на 0,1 м, в розпушених скельових і мерзлих ґрунтах – на 0,4 м.

Траншеї, котрі розроблюються траншейними екскаваторами, не повинні бути вужчими від їх номінальної ширини копання.

Аеродроми

До об'єктів, які споруджуються при будівництві аеродромів з використанням землерийних машин, відносяться♦:

• льотне поле – частина аеродрому з льотними смугами, кермовими доріжками, перонами та майданчиками спеціального призначення;

• льотні полоси – злітно-посадочні полоси та ґрунтові ділянки, примикаючі до них для зменшення пошкодження повітряних суден, які викотилися за межі злітно-посадочної полоси;

• злітно-посадочні полоси – частини льотних полос, обладнані для злету та посадки повітряних суден з штучним або ґрунтовим покриттям;

• кермові доріжки – частини льотного поля аеродрому, підготовлені для руління та буксирування повітряних суден;

• перон – частина льотного поля аеродрому, котра виділяється для розміщення повітряних суден при посадці та висадці пасажирів, завантаженні та розвантаженні багажу, пошти та вантажів і інших видів обслуговування;

• місця стоянки повітряних суден – частина перону чи спеціальні майданчики аеродрому, призначені для зберігання та обслуговування повітряних суден.

До аеродромних споруд також відносяться ґрунтові основи, аеродромні покриття, водовідвідні та дренажні системи.

Ґрунтові основи повинні забезпечувати стійкість аеродромного покриття незалежно від погодних умов і пори року з урахуванням складу та властивостей ґрунтів, гідрогеологічних умов, дорожньо-кліматичної зони, категорії нормативного навантаження від повітряного судна та ін.

Ґрунтова поверхня льотного поля повинна:

• розташовуватися на одному рівні зі штучними покриттями;

• протистояти ерозії від газоповітряних струменів авіадвигунів, витримувати навантаження від пневматиків повітряних суден, які приземляються чи випадково викочуються та пневмоколіс експлуатаційної техніки;

• забезпечувати відвід поверхневих вод з покриттів і поступовий перехід до природної поверхні ґрунту, для чого служать укріплені відмостки (спряження);

• не бути джерелом пилу і т. д.

Стартові ділянки ґрунтових злітно-посадочних полос, місця стоянок, опробування двигунів і шляхи руління повинні ущільнюватись на глибину до 30 см з коефіцієнтом ущільнення (коефіцієнт ущільнення – відношення щільності

сухого ґрунту, укладеного в ґрунтову конструкцію, до максимальної щільності сухого ґрунту):

• для пісків і супісків не менше 0,95,

• для суглинків і глин – не менше 1,00.

1.3. Екологічні аспекти будівництва та експлуатації транспортних споруд

До шкідливих факторів, джерелами котрих є сучасні транспортні споруди, відносяться:

• шум двигунів і коліс транспортних засобів;

• електромагнітні хвилі стаціонарних і пересувних радіотехнічних засобів;

• забруднення оточуючого середовища екологічно небезпечними речовинами, котрі використовуються та утворюються при будівництві та експлуатації споруд;

• порушення ґрунтового покриву та природного гідрологічного режиму поверхневих і підземних вод;

• порушення шляхів міграції диких і домашніх тварин, які склалися, а також мережі місцевих шляхів сполучення.

Усунути чи послабити вплив шкідливих факторів на оточуюче середовище дозволяють такі заходи:

• обмеження рівня акустичного діяння на територіях житлової та іншої забудови санітарними нормами та технічними засобами;

• створення навколо діючих радіотехнічних засобів санітарно-захисних зон и зон обмеження забудови, а також використання спеціальних екранів з радіозахисних матеріалів і використання захисних лісопосадок;

• систематичний моніторинг рівня забруднення повітряного басейну в околицях споруд (з урахуванням троянди вітрів), з обмеженням або придушенням найбільш інтенсивних джерел забруднення при перевищенні гранично допустимих норм його концентрації;

• улаштування локальних споруд для механічного, біологічного та іншого очищення забруднених вод на об’єктах, які мають системи водовідводу з штучних покриттів і дренажу підземних і поверхневих стічних вод (дощових і талих);

• улаштування в насипах водопропускних труб;

• улаштування тунелів під насипами на шляхах міграції тварин;

• улаштування транспортних і пішохідних тунелів або шляхопроводів.

1.4. Відомості про ґрунти

Ґрунти – це гірські породи, що утворюють поверхневі шари земної кори. Нескельні ґрунти, що служать об'єктом розробки землерийними машинами, класифікують за розміром частинок і міцності.

За розміром частинок розрізняють ґрунти:

Крупноуламкові……...частинки більше 2 мм

Піщані……...частинки розміром до 2 мм

Глинисті……...частинки розміром до 0,005 мм.

Міцність ґрунту оцінюють або зусиллям, необхідним для руйнування його циліндричного зразка при одновісному стисканні, або питомим опором, що чиниться ґрунтом при його копанні чи різанні робочим органом землерийної машини, або роботою (Дж/м^3), що здійснюється при зануренні в ґрунт циліндричного стрижня перетином 1 см^2 на глибину 10 см. На складність розробки ґрунту землерийними машинами впливає також і його липкість (див. табл. 1. 3).

Таблиця 1.3

Класифікації ґрунтів за міцністю та липкістю

Прийнята назва ґрунту	**Категорія**	**Об'ємна вага, т/м^3**	**Опір одновісному стисканню, МПа**	**Питомий опір копанню ківшом, МПа**	**Питома робота вкоріненню штампа, Дж**	**Сила прилипання до металу, Па**
Ґрунтовий шар	1	1,20	58,9	0,07	10÷40	–
Пісок	1	1,60	58,9	0,07	10÷40	–
Супісь	1	1,65	58,9	0,07	10÷40	50÷3500
Суглинок легкий	2	1,70	78,5	0,10	50÷80	250÷6000
Суглинок важкий	3	1,75	98,1	0,15	90÷150	900÷15000
Глина м'яка	3	1,80	98,1	0,15	90÷150	60÷30000
Глина важка	4	2,05	147,2	0,17	160÷350	60÷30000

1.5. Фізико-механічні властивості ґрунтів

За фізико-механічними властивостями ґрунти розрізняють у залежності від ознак петрографії та умов залягання (мінеральний склад, структура та текстура ґрунтів); фізичного стану (гранулометричний склад, пористість, вологість,

температура, теплопровідність, розпушуваність і ущільнюваність); кількості води, котра міститься в них (пластичність, розмокаємість, набухаємість, водопроникність, липкість); механічних властивостей (зчеплення, опір стисканню, розтягу, зсуву, різанню, натисканню, зовнішньому та внутрішньому тертю, абразивності, несуча здатність).

В інженерних розрахунках при проєктуванні машин для земляних робіт найчастіше використовуються такі характеристики ґрунтів (табл. 1. 4): щільність ρ (відношення маси ґрунту при природній вологості ґрунту до його об'єму); розпушуваність, яка визначається коефіцієнтом розпушуваності ґрунту k_p, який являє собою відношення об'єму V_p розпушеного ґрунту до об'єму ґрунту в його природному заляганні V, тобто ($k_p = \frac{V_p}{V}$); коефіцієнти питомого опору ґрунту різанню (k) і копанню (k_1), які визначаються як відношення зусиль, які витрачаються на різання P_p або копання $P_к$ ґрунту до площі вирізаної стружки F, тобто $k = \frac{P_p}{F}$; $k_1 = \frac{P_к}{F}$; коефіцієнт зовнішнього тертя (ґрунту по сталі) $\mu_1 = tg\ \varphi_1$, (φ_1 – кут тертя ґрунту по сталі, котрий в умовах взаємодії з робочим органом машини складає від 15 до 30°, а μ_1 – відповідно від 0,27 до 0,57); коефіцієнт внутрішнього тертя (ґрунту по ґрунту) $\mu_2 = tg\varphi_2$ (φ_2 – кут внутрішнього тертя, котрий у залежності від вологості ґрунту може мати значення від 28 до 45°, а μ_2 – відповідно від 0,53 до 1).

1.6. Способи розробки ґрунтів

Розробка ґрунтів завжди починається з їх руйнування, тому в машинах для земляних робіт доцільно втілювати такі принципи діяння на ґрунти, котрі відповідали б найменшій енергоємності їх руйнування.

Розрізняють три основних способи розробки ґрунтів: механічний, гідравлічний і вибуховий.

Механічне руйнування здійснюється зосередженим силовим діянням робочого органу (ножа, ківша, відвалу та ін.) на ґрунтовий масив. Енергоємність розробки піщаних і глинистих ґрунтів цим способом складає від 0,05 до 0,3 кВт/м^3.

Гідравлічне руйнування виконують розмиванням ґрунту напірним струменем води чи всмоктуванням його з дна водойми в суміші з водою.

Для розробки ґрунту в цьому випадку потрібно до 4 кВт·г/м^3 енергії та 50÷60 м^3 води на 1 м^3 ґрунту.

Вибухове руйнування відбувається під тиском газів, які виділяються при займанні вибухової речовини, котру закладають у спеціально пробурені в ґрунті свердловини (шпури) чи прорізані вузькі щілини чи траншеї. Крім названих, відомі також фізичні та хімічні способи розробки ґрунтів.

До фізичних способів відносять діяння на ґрунти ультразвуку, струму високої частоти, температурних змін (пропалювання, відтанення).

Хімічне руйнування здійснюється переводом ґрунтів у рідкий чи газоподібний стан.

Використовують також комбіновані способи руйнування ґрунтів: гідромеханічний, термомеханічний, термопневматичний, електрогідравлічний, газомеханічний, вибуховомеханічний, вибуховогідравлічний, електротермічний.

Гідромеханічний спосіб використовують у землесосних снарядах, де руйнування ґрунту виконують механічно, наприклад, фрезою.

Термомеханічний і термопневматичний способи знаходять використання в термобурах. При термомеханічному способі руйнування ґрунту відбувається шляхом прогріву його високотемпературним газовим струменем і подальшого руйнування термоослабленого шару ґрунту ріжучим інструментом. При термопневматичному бурінні руйнування та видалення з свердловини ґрунту забезпечується тільки високотемпературним газовим струменем. Газові струмені в термобурах утворюються при згоранні рідкого палива та окислення (кисню, повітря та ін.). Їх температура досягає 1800÷2000°С, а швидкість 1400 м/с [2].

Електрогідравлічний спосіб руйнування ґрунтів оснований на використанні ефекту ударної хвилі, що утворюється в іскровому розряді в рідині. На цьому принципі працюють електрогідравлічні установки для подрібнення валунів і негабаритного каміння, котре утворюється при вибуховому способі руйнування ґрунтів.

Таблиця 1.4.

Характеристика грунтів I÷IV категорій C_y

Категорія ґрунту – вид ґрунту	**Щільність ρ, т/м^3**	**Число ударів динамічного щільноміра**	**Коефіцієнт розпушування k_p**	**Питомий опір, КПа**					
				різанню	копанню при роботі k_1				
				k	Прямими та зворотними лопатами	Екскаваторами безперервної дії поперечного копання			Траншейокопачами
						роторними	ланцюговими		
I - пісок, супісь, м'який суглинок, середньої міцності вологий і розпушений без включень	1,2÷1,5	1÷4	1,08÷1,17	12÷65	18÷80	30÷120	40÷130	50÷180	70÷230
II – суглинок без включень, дрібний і середній гравій, м'яка волога чи розпушена глина	1,4÷1,9	5÷8	1,14÷1,28	58÷130	70÷180	120÷250	120÷250	150÷300	210÷400
III – міцний суглинок, глина середньої міцності волога чи розпушена, аргіліти та алевроліти	1,6÷2,0	9÷16	1,24÷1,3	120÷200	160÷280	220÷400	200÷380	240÷450	38÷660
IV – міцний суглинок із щебнем або галькою, міцна та дуже міцна волога глина, сланці, конгломерати	2,2÷2,5	17÷35	1,26÷1,37	180÷300	220÷400	280÷490	300÷550	370÷650	650÷800

Газомеханічний спосіб руйнування ґрунтів здійснюється шляхом подачі імпульсами чи безперервним потоком газів під тиском у зону ріжучої крайки робочого органу (відвалу, ківша), котрі розпушують ґрунт і зменшують опір руху робочого органу.

Найбільш розповсюджений механічний спосіб руйнування, яким виконують 85÷90% всього об'єму земляних робіт. Достатньо широко використовуються також гідравлічний і вибуховий способи. Фізичний і хімічний способи знаходяться ще на стадії освоєння.

1.7. Типи робочих органів машин для земляних робіт

Конструкція робочого органу машини для земляних робіт визначається в першу чергу його технологічними функціями, котрими можуть бути відділення від масиву шматків або шару (стружки) ґрунту, захват ґрунту, котрий відділився від масиву, його накопичення, утримання при переносі, укладка чи завантаження, планування, переміщення по поверхні, ущільнення, продавлювання та т. п. [2].

Робочі органи машин для земляних робіт розрізняють за видом ріжучої крайки. Ріжуча крайка (рис. 1. 2) може мати вид прямого клину *1*, косого клину *2*, диску *3*, совка *4* або периметра *5*. Крім того, ріжучі крайки можуть мати зубці для розробки міцних ґрунтів.

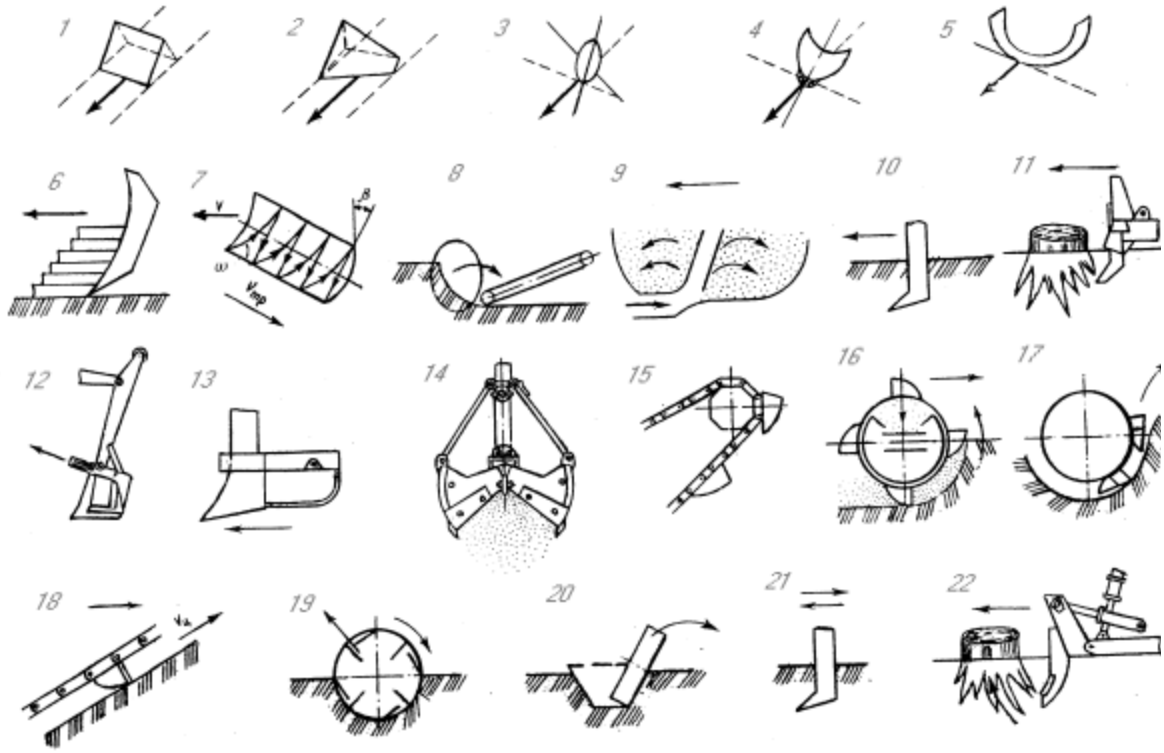

Рис. 1.2 – Типи робочих органів землерийних машин

За способом переміщення ґрунту робочі органи діляться на три групи: відвального типу, ковшового та скребкового. Робочі органи відвального типу, як правило, мають ріжучу крайку в вигляді прямого чи косого клину, котрий поєднується з відвальною поверхнею криволінійного контуру (робочі органи бульдозерів *6*, автогрейдерів *7*, грейдер-елеваторів *8* і ін.).

У робочих органів ковшового типу є ріжучі крайки, оснащені зубцями чи без них (пряма, зворотна лопата *12*, драглайн *13*, грейфер *14*, багатоковшеві екскаватори *15, 16, 17*, скрепер *9*). Траєкторії руху ківшів під час заповнення можуть бути прямолінійними, як у драглайна *13* і ланцюгового органу *15*, або криволінійними, як у одноківшових екскаваторів *12* або роторних *16, 17*. Безковшові робочі органи зрізають ґрунт, не переміщуючи його, а для транспортування його служать спеціальні засоби, як наприклад, лопатки скребкового ланцюгового робочого органу *18* або викидні лопатки ротаційного робочого органу *19*.

За способом дії робочі органи розрізняють як пасивні, так і активні. До перших (поз. *6÷11* на рис. 1. 2) відносять такі, котрі при роботі не переміщуються по відношенню до машини, робочі ж зусилля виникають від енергії, котра підводиться до рушія машини. Робочі органи активної дії (поз. *12÷19* на рис. 1. 2) при роботі переміщуються по відношенню до машини й приводяться в рух двигуном машини безпосередньо, минаючи рушій.

Використовуються й робочі органи комбінованої дії (поз. *20÷22* на рис. 1. 2), котрі для виконання робочого процесу крім енергії, котра надходить від двигуна, реалізують одночасно енергію, отриману безпосередньо від первинного двигуна (плужно-роторний робочий орган *20*, розпушник з віброзбуджувачем *21*, корчувач активної дії *22*).

1.8. Опір ґрунтів різанню та копанню

Під різанням ґрунтів розуміється процес відділення від ґрунтового масиву шматків або шарів (стружки) ґрунту робочим органом, який має форму клину (рис. 1. 3), обмеженого передньою *1* і задньою *3* гранями. Лінію перетину цих граней називають ріжучою крайкою. Основними параметрами ріжучого клину є кут υ загострення, кут δ різання та задній кут θ. Вкорінюючись у ґрунт і

рухаючись вперед, ріжучий клин відокремлює його частину, котра називається стружкою. Форма та розміри останньої залежать від виду розроблюваного ґрунту (рис. 1. 4).

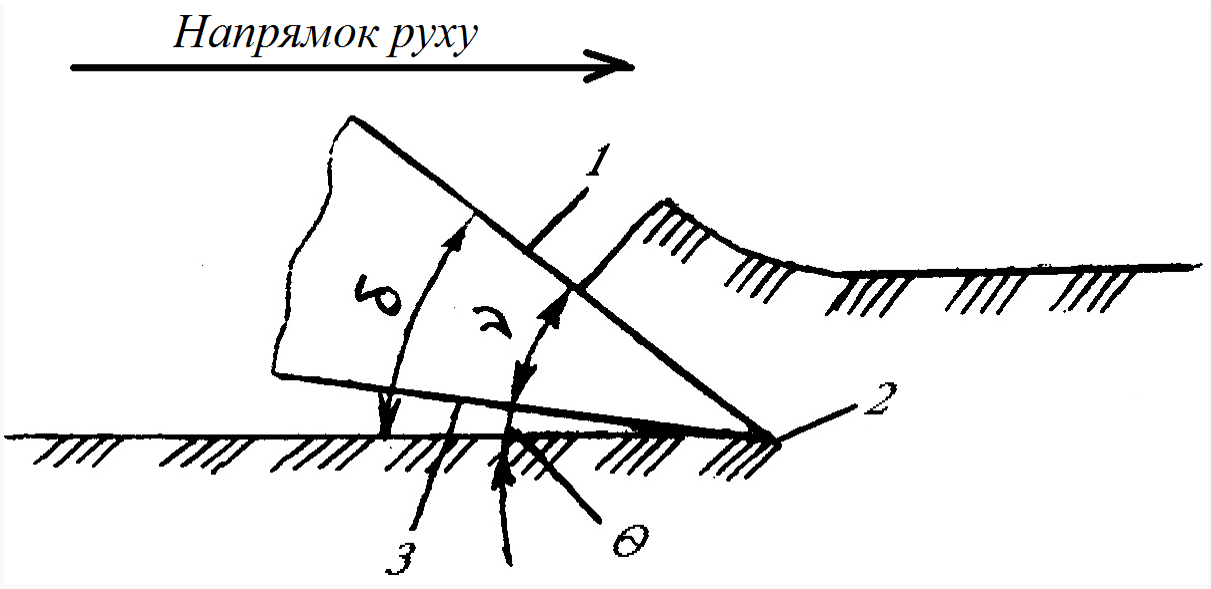

Рис. 1.3 – Параметри ріжучого клину

У залежності від положення ріжучого інструменту в ґрунтовому масиві розрізняють такі різновиди різання: блоковане (рис. 1. 5, *а*), з однією (рис. 1. 5, *б*) та двома (рис. 1. 5, *в*) поверхнями бокового зрізу, напівблоковане (рис. 1. 5, *г*) та вільне (рис. 1. 5, *д*).

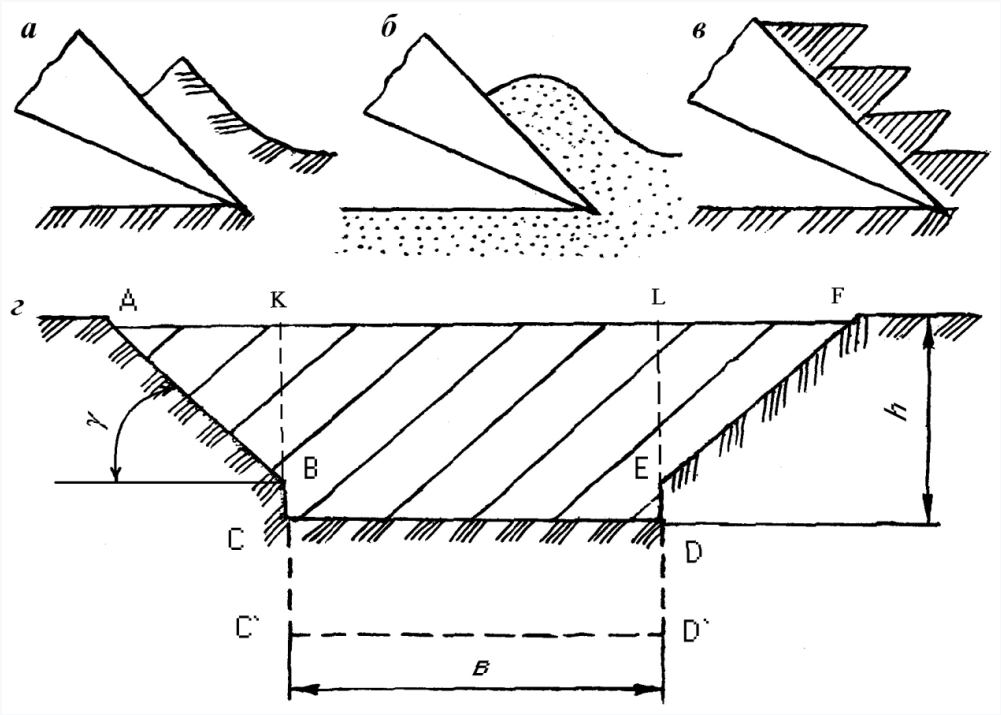

Рис. 1.4 – Характерні форми ґрунтових стружок при розробці пластичних (*а*), сипучих (*б*) і зколюваних (*в*) ґрунтів і поперечний перетин прорізу після проходки ріжучого клину (*г*)

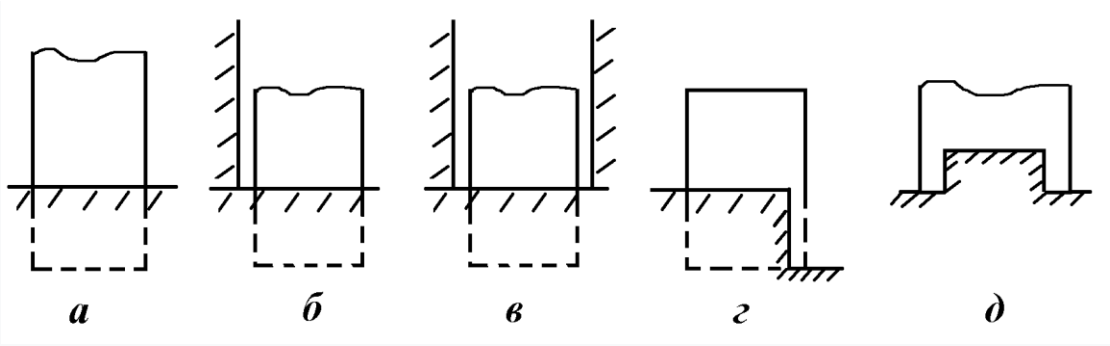

Рис. 1.5. – Види різання ґрунту

У процесі блокованого різання ґрунт руйнується в межах прорізу (див. рис. 1. 4, *г*), ширина котрої на поверхні суттєво більше ширини ножа *b*. На деякій глибині h_1, котра менше глибини різання *h*, прорізь розширюється і її бокові поверхні утворюють з поверхнею масиву певний кут γ, який залежить від виду ґрунту та його стану.

Залежність сили різання від ширини зрізу має характер лінійної функції, а від товщини зрізу (глибини різання) – прискорено зростаючої функції.

Такого роду закономірності зберігаються до певного співвідношення між шириною та товщиною зрізу, що відповідає критичній глибині $h_{кр}$ різання. При $h>h_{кр}$ форма прорізу ABC_1D_1EF змінюється, в основному, тільки глибина центральної частини прорізу, а *AB* і *EF* по верхній частині практично не змінюється. Критичній глибині різання, як правило, відповідає найменша енергоємність різання, котра характерна і для вільного різання (при блокованому та напівблокованому різані опір ґрунту різанню завжди вище).

При копанні робочий орган діє на ґрунт силою *P* (рис. 1. 6) долаючи опір ґрунту P_0. Дотичну складову останнього P_{01} (кН*)* на напрямок руху робочого органу, чисельно рівну дотичній силі копанню P_1, визначають за формулою:

$$P_{01} = к_1 \cdot в \cdot h,$$

де k_1 – питомий опір ґрунту копанню, кПа, котрий містить у собі опір ґрунту різанню, опори від сил тертя при переміщенні призми ґрунту та заповнені ківша.

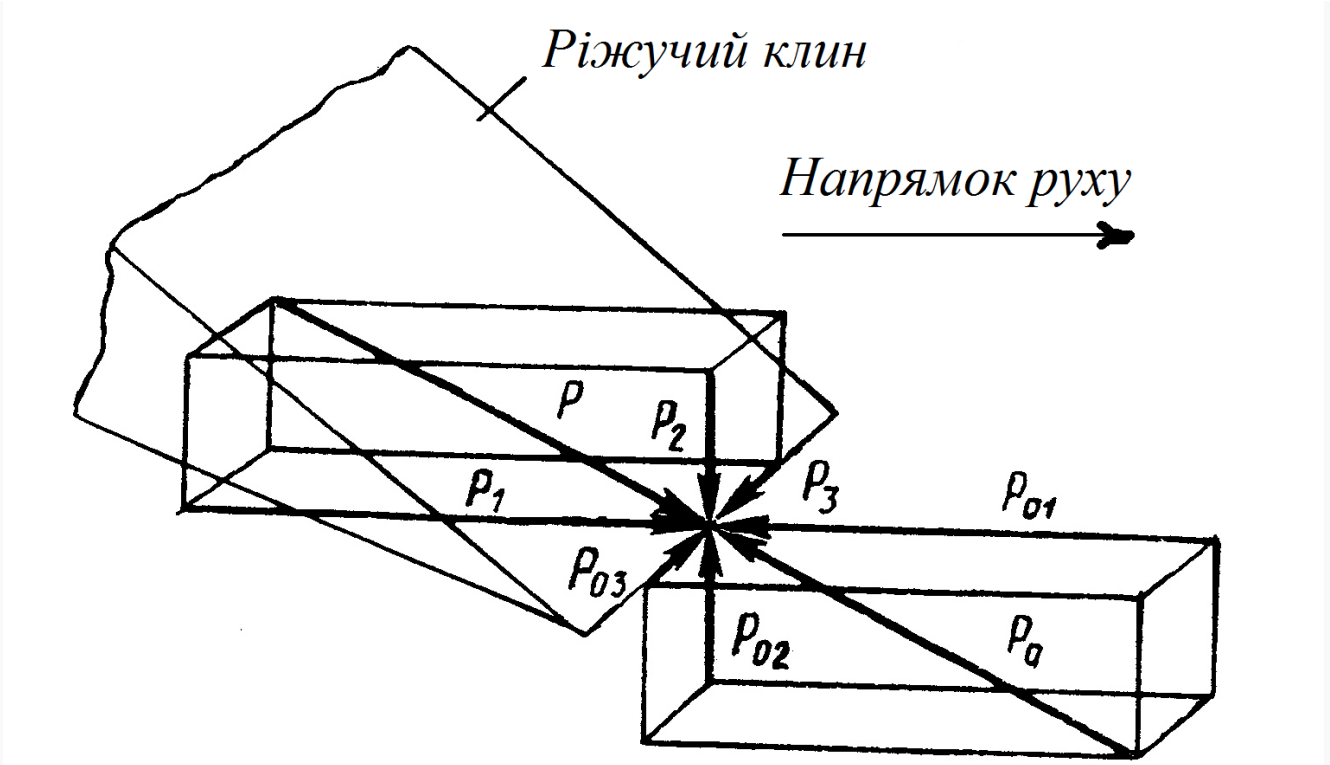

Рис. 1.6 – Схема силової взаємодії землерийного робочого органу з ґрунтом

Нормальна складова опору ґрунту копанню (кН):

$$P_{02} = \varphi \cdot P_{01},$$

де φ – коефіцієнт пропорційності.

Бокова складова опору ґрунту копанню P_{03}, чисельно рівна боковій силі копання P_3, виникає лише у випадку розробки неоднорідних за шириною ріжучої крайки ґрунтів, а також, коли ріжуча крайка нахилена під кутом, відмінним від прямого – косе різання.

У випадку необхідності виділення з зусилля P_1 сили різання P_p її абсолютне значення (кН) визначається виразом:

$$P_p = \kappa \cdot b \cdot h,$$

де k – питомий опір ґрунту різанню, кПа, котрий за величиною менше значень k_1.

На опір ґрунту різанню великий вплив здійснює зношуваність і затуплення ріжучої крайки. Допустиме на практиці зношування ріжучої крайки може викликати збільшення сили різання до 200%.

Нормативним зношуванням вважається затуплення, радіус котрого 2÷3 мм для ківшів малої ємності (до 1 м^3) і 7÷10 мм для ківшів ємністю 50÷100 м^3.

Для зменшення затуплення використовується наплавлення передньої грані ріжучої крайки твердими сплавами та армування передніх граней твердосплавними високо зносостійкими пластинами.

На сили різання значно впливає кут різання δ: збільшення його від 40 до 60% і зменшення (менше 30%) супроводжується зростання опору ґрунту різанню. Найбільш вживаними для землерийних машин є кути різання $\delta=30\div40^0$.

Швидкість різання. Звичайними для землерийних машин є швидкості різання порядку 0,5÷2,0 м/с. У цих межах зміни швидкостей питомий опір копанню суттєво не змінюється. При збільшенні швидкості різання до 6÷9 м/с (ротаційні робочі органи з інерційним викидом ґрунту) енергоємність процесу копання зростає на 30÷50%.

Установка зубців. Зубці на ріжучій крайці робочих органів машин для земляних робіт встановлюють для отримання випереджаючого зсуву та розпушування ґрунту. Але в сипучих і в'язких ґрунтах використання ріжучого органу з зубцями може привести до від'ємних результатів. Зубці, котрі знижують опір різанню щільних зколюваних ґрунтів, погіршують умови переміщення їх у ківш, так як для підпирання розпушеного ґрунту потрібна велика призма волочіння.

Зниження енергоємності процесу копання можна отримати при установці на робочому органі машини для земляних робіт напівкруглої ріжучої крайки замість прямокутної. Така крайка сприяє проходженню ґрунту по робочій поверхні без утворення призми волочіння. Напівкругла ріжуча крайка більш міцна в порівнянні з прямокутною, а, отже, й більш тонка. Завдяки цьому ківш краще вкорінюється в ґрунт, який безперервним потоком заповнює його.

Процес різання ґрунту робочим органом машини для земляних робіт неминуче супроводжується тертям останнього по ґрунту, взаємним тертям ґрунту та переміщенням призми волочіння. Тертя відбувається й по робочій поверхні ріжучого інструменту при заповненні ємності, розгоні ґрунту до швидкості його переміщення, а також при вкоріненні ріжучого інструменту в ґрунт. Сума всіх вказаних опорів складає опір ґрунту копанню (сукупність процесів, які містять у

собі різання ґрунту, переміщення його по робочому органу, всередині нього та перед ним і ін.):

$$P_к = P_{01} + P_{тр} + P_{пр} + P_з + P_4 + P_в,$$

де $P_{01}=k \cdot в \cdot h$;

k – питомий опір ґрунту різанню,

$в$ – ширина пласта,

h – товщина пласта;

$P_{тр}$ – опір тертя робочого органу по ґрунту;

$P_{пр}$ – опір переміщенню призми волочіння;

$P_з$ – опір, який виникає при заповненні ґрунтом ємності робочого органу;

$P_и$ – опір ґрунту розгону, обумовлений інерційними навантаженнями;

$P_в$ – опір вкоріненню в ґрунт ріжучого інструменту.

Докладніше опір ґрунту копанню для різних видів робочих органів буде розглянуто нижче при описі робочих процесів різних типів машин для земляних робіт.

1.9. Класифікаційні ознаки землерийних машин

Найбільш поширені класифікації землерийних машин за:

- способом агрегатування;
- типом основного робочого органу;
- типом ходового обладнання;
- способом маневрування;
- місцем у технологічному потоці;
- циклічністю робочого процесу машини.

За способом агрегатування розрізняють:

- причіпні машини, тобто машини, що повністю спираються на власне ходове обладнання (колеса, вальці чи гусениці), але не мають ходової трансмісії та рушія;

- напівпричіпні машини, тобто машини, що спираються частково на своє ходове обладнання, а частково – на ходове обладнання тягача і не мають автономної ходової трансмісії та рушія;

• самохідні машини, тобто машини, що спираються тільки на власне ходове обладнання і оснащені ходовою трансмісією та рушієм.

Робочі органи розрізняють за характером їхнього впливу на середовище, що обробляється.

Органи, що руйнують середовище:

Зуб порушує структуру та міцність середовища.

Відвал порушує структуру та міцність середовища, збирає його в призму волочіння та переміщає по поверхні непорушеного масиву.

Ківш порушує структуру та міцність середовища, зачерпує і переміщує його ізольований обсяг на якусь відстань.

Газ порушує структуру та міцність середовища та відкидає певну його кількість від місця взаємодії із середовищем.

Вода порушує структуру та міцність середовища та утворює з його частинок завись (пульпу), яку можна перекачувати на будь-яку відстань.

Органи, що консолідують середовище:

Плита ущільнює середовище, впливаючи на нього енергією удару при своєму падінні.

Валець ущільнює середовище, передаючи на нього навантаження різного характеру від інших елементів машини.

За типом ходового обладнання розрізняють гусеничні, пневмоколісні та жорстковальцеві машини.

Пневмоколісний рушій має добрі амортизуючі якості, малі внутрішні втрати, забезпечує будь-які швидкісні режими, невимогливий до обслуговування, відрізняється низькою трудомісткістю ремонту. Його недоліки – високі тиски на ґрунт, невисока стійкість до механічних ушкоджень. Пневмоколісний рушій найбільш підходить для машин, експлуатація яких пов'язана з рухом у широкому діапазоні швидкостей за довільною траєкторією та достатньо міцній опорній поверхні (тверде покриття, щільний ґрунт і т. п.). До таких машин відносяться пневмоколісні бульдозери, екскаватори-навантажувачі, катки, скрепери, автогрейдери, грейдер-елеватори, одноківшові фронтальні навантажувачі, дорожні фрези.

Самохідні ущільнюючі машини оснащуються жорсткими (металевими) вальцями, які за принципом дії відносяться до коліс. Часто поверхня жорсткого вальця оснащена виступами (кулачками), що підвищують інтенсивність ущільнення матеріалу. Ходовим обладнанням такого роду оснащуються причіпні та самохідні ґрунтові катки та бульдозери-ущільнювачі, що працюють на полігонах побутових відходів.

Гусеничний рушій характеризується низьким тиском на опорну поверхню, малою еластичністю по вертикалі, хорошими тягово-зчіпними якостями та маневреністю. Водночас він порівняно важкий, шумний, відносно тихохідний, ушкоджує дорожні покриття та ґрунтовий шар, більш трудомісткий при обслуговуванні та ремонті. Деякі з перерахованих недоліків можуть бути усунені застосуванням гумових гусеничних стрічок, гумових траків та опорних котків, міжтракових шарнірів з підвищеним терміном служби.

Розрізняють гусеничні візки з овальним та трикутним контуром гусеничного ланцюга (рис. 1. 7). Традиційний овальний контур забезпечує меншу масу та простішу конструкцію гусеничного візка. Ділянка гусениці трикутного контуру, котра лежить на ґрунті, обмежена переднім і заднім котками, а ведуча зірочка піднята над опорною поверхнею.

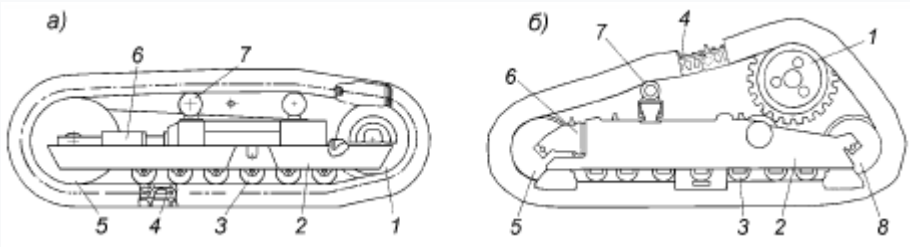

Рис. 1.7 – Гусеничні візки з овальним (а) та трикутним (б) контуром ланцюга: 1 – ведуча зірочка; 2 – коткова рама; 3 – опорні котки; 4 – гусеничний ланцюг; 5 – натяжний напрямний коток; 6 – механізм натягу гусениці; 7 – підтримуючий ролик; 8 – задній опорний коток

Гусеничним ходовим обладнанням оснащуються кущорізи, корчувачі, розпушувачі, бульдозери, траншеєкопачі, частина фронтальних одноківшових навантажувачів і більша частина одноківшових екскаваторів.

За місцем у технологічному потоці розрізняють машини для підготовчих та основних земляних робіт.

Технологія виконання земляних робіт у будівництві передбачає проведення підготовчих та основних операцій.

Підготовчі земляні роботи мають на меті підготовку ґрунту та/або території до розробки чи спорудження об'єкта будівництва й містять, як правило, розчищення смуги відведення від дерев, чагарнику, дернового покриву, гумусного шару, пнів, каміння, осушення перезволожених і заболочених територій та розпушування дуже міцних ґрунтів. Для виконання цих робіт можуть використовуватись як машини загального призначення, так і спеціальні машини, до яких відносять:

Кущорізи – зрізують дерева, чагарник і підлісок, а також дерен, укладаючи зрізаний матеріал у бічні валки вздовж смуги, що розчищається.

Корчувачі – викорчовують великі пні, коріння та каміння, а корчувачі-збирачі викорчовують об'єкти меншого розміру та зсувають їх разом із матеріалом, зібраним кущорізами, на межі ділянки. Для зрізання та корчування рослинності може використовуватися й бульдозерне обладнання загального призначення.

Розпушувачі – руйнують міцні ґрунти перед розробкою. Зазвичай вони не є самостійними машинами, а складають частину бульдозерно-розпушувальних агрегатів.

Екскаватори (траншейні або одноківшові), що входять до групи машин для основних робіт, а також різні *насосні установки* використовують для водозниження чи осушення.

Основні земляні роботи становлять переважну частку загального обсягу земляних робіт і полягають у розробці, переміщенні, укладанні та ущільненні ґрунтів в інженерних спорудах і надання їм проєктних розмірів.

Бульдозери розробляють та переміщують ґрунти на відстань до 100÷150 м, розрівнюють матеріал перед ущільненням, попередньо профілюють ґрунтові споруди. Їх також використовують для збільшення сили тяги інших машин.

Скрепери розробляють ґрунти самостійно чи з допомогою бульдозерів, транспортують ґрунт у своєму ківші на відстань до 5÷7 км і відсипають його шарами.

Автогрейдери споруджують невисокі насипи з ґрунту, що зрізається в бічних резервах, вирівнюють ґрунтові поверхні перед ущільненням і стабілізацією та після них, доводять до проєктних позначок поздовжні та поперечні профілі ґрунтових споруд.

Грейдери-елеватори відсипають ґрунтові насипи з бічних резервів або розробляють ґрунт і завантажують його в транспортні засоби.

Одноківшеві екскаватори будівельних розмірів розробляють нескельні ґрунти будь-якої міцності та вантажать їх у транспортні засоби.

Траншеєкопачі відривають траншеї для меліоративних систем, трубопроводів і комунікаційних мереж.

Ґрунтозмішувальні машини підвищують міцність і несучу здатність ґрунту, змішуючи його з органічними або мінеральними добавками.

Ущільнююче обладнання (ґрунтові катки, трамбівки та штампи) ущільнюють ґрунт, укладений в транспортні споруди, підвищуючи їх водонепроникність, несучу здатність і міцність.

За циклічністю робочого процесу розрізняють машини з безперервним і циклічним робочими процесами.

Безперервний робочий процес є однією операцію, під час якої машина працює при постійному навантаженні в сталому режимі, зупиняючись тільки з організаційних або технічних причин (зміна персоналу, огляд, технічне обслуговування, аварія тощо).

Циклічний робочий процес складається з робочих, підготовчих і допоміжних операцій, які чергуються.

1.10. Основні параметри землерийних машин

Продуктивність – кількість продукції, виготовленої за допомогою машини в одиницю часу:

$$П = \frac{Q}{T};$$

де Q – кількість продукції, виготовленої за допомогою машини за час T.

Теоретична продуктивність розраховується в припущенні, що машина працює безперервно, на межі своїх технічних можливостей. Теоретична продуктивність машини залежить лише від її технічних характеристик.

Експлуатаційна продуктивність розраховується з урахуванням реально допустимих швидкостей, можливостей робочих органів, нерівномірності робочих навантажень, рівня організації виробництва, кваліфікації оператора, кліматичних умов, надійності машини. Перелічені фактори носять випадковий характер, тому експлуатаційна продуктивність є випадковою величиною, що оцінюється математичним очікуванням і ймовірністю. Вплив випадкових факторів під час розрахунку експлуатаційної продуктивності машини, як правило, враховують за допомогою коефіцієнтів:

• $k_в$ – коефіцієнт використання машини за часом впродовж зміни (50 робочих хвилин на годину – 0,83; 45 – 0,75; 40 – 0,67);

• $k_{кв}$ – коефіцієнт урахування кваліфікації оператора (високий – 1,00, середній – 0,75, низький – 0,60);

• $k_{вид}$ – коефіцієнт впливу видимості (при дощі та снігу, в тумані, темряві чи пилу $k_{вид}$=0,8);

• $k_{тр}$ – коефіцієнт впливу типу трансмісії (для автоматичної коробки передач $k_{тр}$=1, для коробки з ручним перемиканням передач $k_{тр}$=0,8).

При порівнянні технічних можливостей машин одного призначення доцільно користуватися їхньою теоретичною продуктивністю.

Технічна характеристика – набір властивостей, які характеризують як машину загалом, так і її окремі агрегати. Склад технічної характеристики досить докладний і визначений ДЕСТ. На практиці для зіставлення машин одного типу зазвичай використовують головний параметр, що дає загальне уявлення про технічні можливості порівнюваних машин. Його ж використовують для об'єднання машин одного типу в розмірні групи. Бульдозери, кущорізи, корчувачі, розпушувачі ділять за силою тяги, скрепери та навантажувачі – за обсягом ківша, автогрейдери та одноківшові екскаватори – за масою.

Маса визначає тягові можливості та стійкість землерийної машини, а також її вартість.

Розрізняють конструктивну, відвантажувальну та експлуатаційну маси. Конструктивна маса – маса повністю зібраної, оснащеної, але не заправленої машини. ДЕСТ також визначає поняття відвантажувальної та експлуатаційної маси.

Потужність встановлених на машині двигунів визначає швидкість виконання машиною основних та допоміжних операцій.

Для порівняльного аналізу ефективності їх використання можна скористатися питомою потужністю $E_{пит}$, тобто часткою від ділення потужності двигуна N_e на інший параметр машини, наприклад, на її теоретичну продуктивність $П_{теор}$:

$$E_{\text{пит}} = \frac{N_e}{\text{П}_{\text{теор}}}.$$

Розміри визначають мобільність, маневреність, транспортабельність і здатність машини працювати в стиснених умовах (рис. 1. 8), і навіть її виробничі можливості.

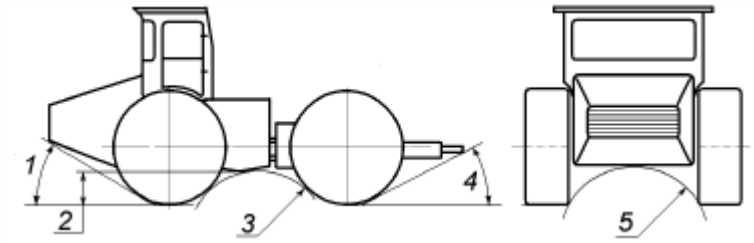

Рис. 1.8 – Розміри, що визначають прохідність машини:
1 – кут в'їзду; 2 – дорожній просвіт; 3 – радіус поздовжньої прохідності; 4 – кут з'їзду; 5 – радіус поперечної прохідності

Розміри робочого органу землерийної машини пов'язані з її продуктивністю. Для екскаватора, скрепера, навантажувача це – ємність ківша; для бульдозера, автогрейдера, кущоріза – довжина, висота та форма відвалу; для розпушувача та корчувача – кількість та виліт зубів.

Габаритні розміри (довжина, ширина, висота) визначають, головним чином, транспортабельність машин, тобто можливість їх перевезення транспортними магістралями загального призначення.

Робочі розміри визначають можливість використання машин у стиснених умовах. З цих позицій найважливіші колія та база ходового обладнання, радіуси повороту по колії та виступаючої точки.

Розміри робочої зони додатково характеризують виробничі можливості одноківшових екскаваторів і фронтальних навантажувачів. Для одноківшових екскаваторів суттєвими є:

• максимальний виліт ківша;

• максимальний виліт ківша лише на рівні землі;

• максимальна глибина копання;

• максимальна висота копання;

• максимальна висота розвантаження;

• максимальна глибина при копанні траншеї з дном, плоским на довжині 610 мм;

• мінімальний виліт робочого обладнання.

Для одноківшових фронтальних навантажувачів суттєвими є:

• кут перекидання ківша при розвантаженні;

• кут закидання ківша на максимальній висоті підйому;

• кут закидання ківша у транспортному положенні;

• кут закидання ківша на рівні землі;

• висота днища ківша, піднятого на максимальну висоту;

• висота вивантаження при максимальному куті перекидання;

• глибина копання;

• максимальний виліт ківша під час транспортування матеріалу;

• виліт ківша, перекинутого на максимальній висоті підйому.

Для кожного типу машин і робочих органів існує досить вузький діапазон значень маси, потужності та розмірів, у яких машина найефективніша.

1.11. Основи тягового розрахунку землерийних машин

Взаємодія колісного чи гусеничного рушія (рушій – елемент ходового обладнання, що створює силу тяги) з опорною поверхнею (рис. 1. 9) призводить до виникнення сили тяги, котру використовують для корисної роботи.

Рівняння тягового балансу встановлює відповідність вільної сили тяги машини $T_{віл}$ сумі опорів на її робочих органах $W_{роб}$:

$$T_{віл}=W_{роб}.$$

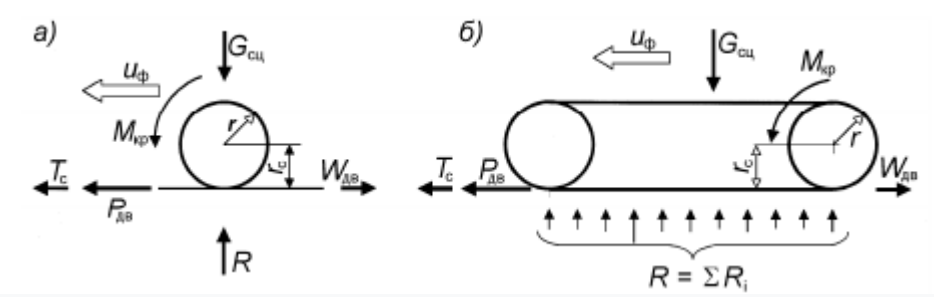

Рис.1.9 – Схема до тягового розрахунку колеса (а) та гусениці (б)

Вільну силу тяги та фактичну швидкість руху машини, котрі необхідні при оцінці її продуктивності, визначають з допомогою тягового розрахунку.

Вільну силу тяги $T_{віл}$ розраховують за формулою

$$T_{\text{віл}} = \left(P_{\text{дв}} - W_{\text{дв}}\right),$$

де $P_{дв}$ – рушійна сила (сила, можлива за величиною крутного моменту, що розвивається рушієм);

$W_{дв}$ – власний опір машини руху по опорній поверхні.

Рушійну силу $P_{дв}$ визначають за формулою

$$P_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{кр}}}{r_c},$$

де $M_{кр}$ – крутний момент, що розвивається рушієм;

r_c – силовий радіус рушія (відстань по вертикалі від осі обертання колеса чи зірочки до плями контакту).

Працездатність землерийної машини в тяговому режимі забезпечена, якщо вільна сила тяги більша від сили тяги, можливої за зчепленням (тобто машина має запас сили тяги за потужністю), чому відповідає нерівність

$$T_{віл} \geq G_{зч} \cdot \varphi_{зч},$$

де $G_{зч}$ – зчіпна сила ваги (частина загальної сили ваги машини, що припадає на її рушій – гусениці чи ведучі колеса);

$\varphi_{зч}$ – коефіцієнт зчеплення рушія з опорною поверхнею.

Приблизне значення крутного моменту $M_{кр}$, що розвивається рушієм, розраховують за формулою

$$M_{\text{кр}} = \frac{30 \cdot N_e \cdot i_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{тр}}}{\pi \cdot n_e},$$

де $i_{тр}$ – передатне число ходової трансмісії на нижчих передачах;

$\eta_{тр}$ – ККД ходової трансмісії;

N_e – потужність двигуна при номінальних оборотах;

n_e – частота обертання валу двигуна, при якій він розвиває номінальну потужність, $с^{-1}$.

Силовий радіус гусеничного рушія дорівнює радіусу початкового кола ведучого зубчастого колеса. Для пневмоколісного рушія його розраховують за формулою

$$r_c = \xi \left(b_{\text{ш}} + \frac{d_{\text{ш}}}{2} \right),$$

де ξ – коефіцієнт еластичності пневматичного колеса (для шин низького тиску ξ=0,935, для шин високого тиску ξ=0,950);

$b_ш$ – ширина профілю шини;

$d_ш$ – посадочний діаметр ободку колеса ($b_ш$ і $d_ш$ входять до умовного позначення шини).

Власний опір руху машини по опорній поверхні $W_{руху}$ розраховують за формулами:

$$W_{руху}=W_f+W_\beta+W_j+W_w,$$

$$W_f=G \cdot f_{руш} \cdot cos\beta_{від},$$

$$W_\beta=G\ sin\beta_{від},$$

$$W_j = \chi \frac{G}{g} \cdot \frac{u_{\text{т}}}{t_{\text{роз}}},$$

$$Ww = k_W (h_{габ} - e) b_{габ} \cdot V_ф^2,$$

де W_f – опір коченню рушія по опорній поверхні, Н;

W_β – опір руху вгору або вниз по укосу, Н;

W_j – сили інерції, що виникають при рушанні з місця, Н;

W_w – аеродинамічний опір повітря (при швидкостях 10÷15 км/год становить приблизно 0,3% сили тяги), Н;

G – частина сили ваги, що припадає на ходове обладнання, Н;

$f_{руш}$ – коефіцієнт опору коченню рушія по опорній поверхні;

$\beta_{від}$ – кут між швидкістю та горизонтом, град (вгору «+», вниз «-»);

χ – коефіцієнт урахування обертових мас агрегатів машини (χ=1,3);

u_m – теоретична швидкість руху машини в сталому режимі, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2;

$t_{роз}$ – прискорення, що розвивається машиною на початку руху та при переході на вищу передачу (залежно від маси машини та величини зовнішніх опорів, які долаються, $t_{роз}$=0,2÷1,5 с);

k_w – аеродинамічний коефіцієнт (0,6÷0,7 Н·с^2/м^4);

$h_{габ}$ – габаритна висота машини, м;

e – дорожній просвіт, м;

$b_{габ}$ – габаритна ширина машини, м.

Фактичну швидкість руху $u_ф$ машини розраховують за формулами:

$$u_{\text{ф}} = \frac{60 \cdot \omega_e \cdot r_c}{i_{\text{тр}}}(1 - \delta),$$

$$\delta = A\frac{W_{\text{роб}} + W_{\text{рух}}}{G_{\text{зч}} \cdot cos\beta_{\text{від}}} + B\left(\frac{W_{\text{роб}} + W_{\text{дв}}}{G_{\text{зч}} \cdot cos\beta_{\text{від}}}\right)^m,$$

де δ – коефіцієнт буксування рушія по опорній поверхні;

A, B, m – емпіричні коефіцієнти, залежні від типу та властивостей рушія та виду та стану опорної поверхні;

$W_{роб}$ – проекція суми опорів на робочому органі машини на вектор її швидкості, Н;

$W_{рух}$ – власний опір руху машини по опорній поверхні Н;

$G_{зч}$ – зчіпна сила ваги;

$\beta_{від}$ – кут між швидкістю та горизонтом.

Рівняння балансу потужності встановлює відповідність вільної потужності двигуна $N_в$ сумі витрат потужності $N_Σ$, необхідних для подолання ймовірних опорів

$$N_в \cdot \eta_{заг} = N_Σ,$$

де $\eta_{заг}$ – загальний ККД всіх видів трансмісій машини.

Вільну потужність двигуна розраховують за рівнянням

$$N_в = N_e \cdot k_{реж} \cdot k_{від},$$

де N_e – потужність двигуна при номінальній частоті обертання колінвалу;

$k_{реж}$ – коефіцієнт, що враховує зниження потужності двигуна через невстановлений режим роботи (для будівельних і дорожніх машин приймають $k_{реж}$≈0,88);

$k_{отб}$ – коефіцієнт, що враховує відбір потужності двигуна на роботу допоміжних пристроїв та механізмів машини ($k_{отб}$≈0,7).

У загальному вигляді суму витрат потужності двигуна землерийної машини N_{Σ} можна описати рівняннями:

$$N_{\Sigma}=N_{роб}+N_{рух}+N_{\delta},$$

$$N_{роб}=W_{роб}\cdot u_{ф},$$

$$N_{рух}=W_{рух}\cdot u_{ф},$$

$$N_{\delta}=P_{дв}(u_{т}- u_{ф}),$$

де $N_{роб}$, $N_{рух}$, N_{δ}, – витрати потужності відповідно на подолання опорів, що виникають на робочому органі, опорів власному руху машини та роботу буксування.

1.12. Тенденції розвитку машин для земляних робіт

Технічне вдосконалення машин для земляних робіт має на меті підвищити їх ефективність за рахунок скорочення тривалості робочого циклу та зниження стомлюваності оператора. Це досягається за рахунок заходів, що групуються за такими напрямами:

• покращення умов праці: підвищення комфортності та безпеки кабін, автоматизація систем контролю та управління, зручніше розташування органів управління та зниження зусиль на рукоятках, збільшення оглядовості, опалення, примусова вентиляція та кондиціювання кабін, покращення звуко- та віброізоляції, захист кабіни конструкціями FOPS – при падінні важких предметів, і ROPS – при перекиданні машини;

• скорочення простоїв: підвищення надійності машин, покращення якості очищення та збільшення терміну служби робочих рідин, розширений контроль технічного стану машин, автоматична діагностика їх агрегатів та систем, зниження трудомісткості та збільшення періодичності технічних обслуговувань, збільшення заправних ємностей;

• розширення технічних можливостей: збільшення потужності силових установок, робочих та транспортних швидкостей, маневреності, тягових зусиль, тисків у гідросистемах, використання швидкодіючих захватів і швидкороз'ємних з'єднань для швидкої зміни робочих органів;

• підвищення екологічної безпеки: зниження токсичності вихлопу двигунів внутрішнього згорання, ізоляція інтенсивних джерел шуму, використання щадних опорну поверхню пневмоколіс зниженого тиску, гумових гусениць тощо, використання робочих рідин – нешкідливих або таких, що розкладаються на відкритому повітрі на нешкідливі компоненти, виключення витоків робочих рідин завдяки надійним швидкороз'ємним з'єднанням.

Для машин, які передбачається експлуатувати в районах з дуже холодним кліматом, необхідні утеплені кабіни, що обігріваються, з подвійним або потрійним склінням, робочі рідини, мастила та палива зі спеціальними присадками та гумотехнічні вироби з високим вмістом натурального каучуку, що не втрачають еластичності та міцності при низьких температурах.

1.13. Питання для самоперевірки

1. Назвіть три характеристики ґрунту, за котрими можна оцінити його міцність.
2. Назвіть основні види ґрунтових транспортних споруд.
3. Який показник характеризує категорію автомобільної дороги?
4. Чому теоретична продуктивність відрізняється від експлуатаційної?
5. Яка властивість землерийної машини повинна мати більше значення: тяга за потужністю чи тяга за зчепленням?
6. Чому фактична швидкість машини відрізняється від теоретичної?

2. МАШИНИ ДЛЯ ПІДГОТОВЧИХ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ

2.1. КУЩОРІЗИ ПАСИВНОЇ ДІЇ

Кущорізи використовують для очищення площ, що відводяться під земляні роботи, від чагарника та дрібнолісся з товщиною стволів на рівні землі до 10÷15 сантиметрів.

2.1.1. Класифікаційні ознаки

Кущоріз пасивної дії фактично є гусеничним бульдозером, оснащеним спеціальним кущорізним відвалом і механізмом його кріплення, тому головною класифікаційною ознакою таких машин є сила тяги базового промислового трактора у кН.

2.1.2. Конструкція

Відмінною особливістю кущорізу пасивної дії є особлива форма його відвалу (рис. 2. 1 і рис. 2. 2), створеного для зрізання дерну, чагарника та підліску.

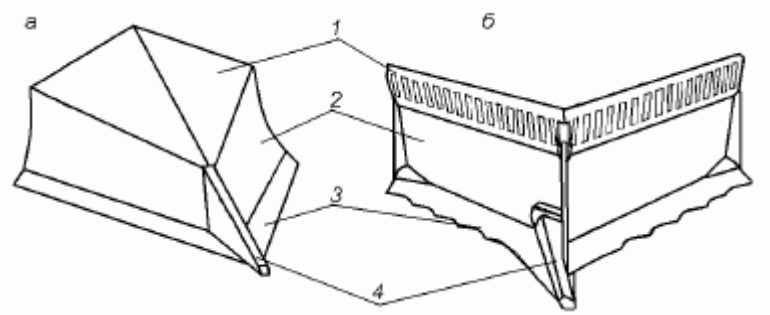

Рис. 2.1 – Клиноподібний (а) та двокорпусний (б) кущорізні відвали:
1 – захисна конструкція; 2 – відвальна поверхня; 3-ріжуча кромка; 4 – колун

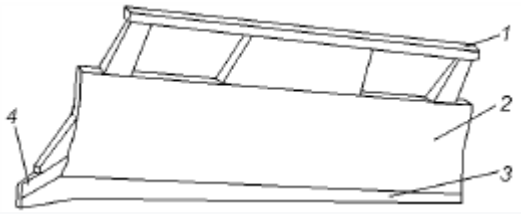

Рис. 2.2 – Однокорпусний кущорізний відвал:
1 – захисна конструкція; 2 – відвальна поверхня; 3-ріжуча крайка; 4 – колун

Незважаючи на відмінності у конструкції ці відвали обов'язково оснащені виступаючим вперед колуном.

Під час роботи трактор рухається вперед, причому розколюючи й розщеплюючи колуном дерев'яні стовбури, зрізуючи ріжучими крайками (рівними чи пилкоподібними) дерн, чагарник і підлісок, і згрібаючи відвальними поверхнями зрізаний матеріал з смуги, що очищається, і зрушуючи його в бічні валики. Рух зрізаного матеріалу вздовж відвалу можливий, якщо гострий кут між його ріжучою кромкою та швидкістю машини не менше 40°. Кабіна й капот тягача захищені від падаючих стовбурів і сучків конструкцією FOPS, а механізм кріплення відвалу до трактора закритий кожухом або захищений гратами.

Кущорізний відвал з'єднаний з тягачем універсальною штовхаючою рамою. Її кінці прикріплені до упряжних шарнірів гусеничних візків, а середня частина підвішена на гідроциліндрах підйому/опускання відвалу (рис. 2. 3).

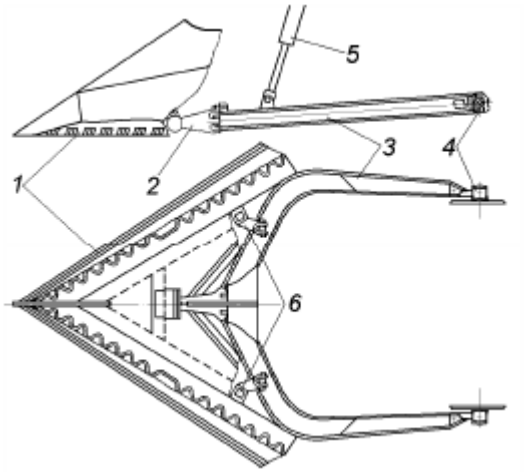

Рис. 2.3 – Робоче обладнання кущоріза:
1 – клиновидний кущорізний відвал; 2 – цапфа центрального сферичного шарніру; 3 – універсальна штовхаюча рама; 4 – упряжні шарніри; 5 – гідроциліндри підйому/опускання відвалу; 6 – амортизаційний пристрій

Між задніми стінками правого та лівого крил відвалу та штовхаючою рамою розміщені амортизаційні пристрої, що виключають їх удари один по одному й обмежують коливання відвалу в поперечній площині. Вони дозволяють відвалу трохи похитуватися відносно штовхаючої рами, пристосовуючись до рельєфу місцевості. Двокорпусні та однокорпусні відвали навішують на базовий тягач з використанням тих самих пристроїв і механізмів, що і клиноподібний відвал.

При робочому проході двокорпусний кущорізний відвал зсуває матеріал в обидві сторони від розчищеного проходу, а однокорпусний відвал, повернутий під кутом – в один бік. Остаточну евакуацію зрізаного матеріалу з майданчика, котрий очищається, здійснюють звичайними бульдозерами чи корчувачами-збирачами.

2.1.3. Розрахунок конструктивних і експлуатаційних параметрів

Розрахункові зусилля. Зусилля, небезпечне для міцності кущорізного обладнання, може виникнути, якщо під час прямолінійного рівномірного руху машини із замкненими гідроциліндрами кущорізний відвал, що знаходиться в робочому положенні, вдариться колуном у непереборну перешкоду.

Остів відвалу, штовхаюча рама, підкоси, розкоси, тягові та упряжні шарніри, болтові та зварні з'єднання повинні витримати зусилля $W_{роз}$ (Н), спрямоване вздовж вектору швидкості машини

$$W_{\text{роз}} = G_{\text{зч}} \cdot \varphi_{max} + u_{\text{ф}}\sqrt{M \cdot C_{\Sigma}},$$

де $G_{зч}$ – зчіпна сила ваги машини, Н;

φ_{max} – коефіцієнт зчеплення, що відповідає початку повного буксування рушія (на щільному свіжозрізаному ґрунті при відносній вологості 0,7÷1,0 для гусениць φ_{max}=0,95÷1,0);

$u_ф$ – фактична швидкість машини в момент зіткнення з перешкодою, м/с;

M – загальна маса машини, кг;

C_Σ – сумарна жорсткість робочого обладнання та перешкоди, Н/м.

Сумарну жорсткість кущорізного обладнання та перешкоди C_Σ визначають за формулою

$$C_\Sigma = \frac{C_{ро} \cdot C_{пер}}{C_{ро} + C_{пер}},$$

де $C_{ро}$ – жорсткість робочого обладнання, Н/м;

$C_{пер}$ – жорсткість перешкоди, Н/м.

Приблизну жорсткість кущорізного обладнання відвального типу $C_{ро}$ (Н/м) розраховують за формулою

$$C_{ро} = \tau_ж \cdot G,$$

де $\tau_ж$ – питома жорсткість навісного обладнання ($\tau_ж$=90÷100 м$^{-1}$);

G – загальна сила ваги, Н.

При ударі в стовбур сосни діаметром 0,3 м на висоті 0,15 м від землі жорсткість перешкоди складе приблизно 170 Н/м, а при діаметрі 0,7 м в такій же ситуації – біля 900 Н/м.

Теоретичну продуктивність кущоріза $П_т$, м^2/с, розраховують за формулами:

• при роботі без холостих (під час холостого проходу машина повертається від кінця ділянки до його початку (звичайно заднім ходом), не виконуючи робочих операцій) проходів:

$$П_т = \frac{b_з \cdot L_з}{(2 \cdot t_р + t_{ман}) n_{пов} \cdot k_{пер}},$$

• при роботі з холостими проходами:

$$П_т = \frac{b_з \cdot L_з}{(t_р + t_х + t_{ман}) n_{пов} \cdot k_{пер}},$$

де $b_з$ – ширина полоси, котра очищується за один прохід, м;

$L_з$ – довжина полоси, котра очищається (захватки), м;

$t_р$, $t_х$, $t_{ман}$ – витрати часу (с) на відповідно розчищення проходу, холостий рух, маневрування в кінці проходу ($t_{ман}$≈10 с);

$n_{пов}$ – число повторних проходів по одному сліду, необхідне для повного видалення рослинності (табл. 2. 1);

$k_{пер}$ – коефіцієнт перекриття проходів, який враховує фактичне зменшення ширини захвату при перекритті сусідніх проходів, $k_{пер}$≈1,15.

Таблиця 2.1

Визначення числа проходів $n_{пов}$

Порода дерев	**Число проходів по одному сліду**		
	1	2	3
	Діаметр стовбурів у м		
Сосна	Менше 0,25	0,25÷0,30	0,35÷0,400
Береза	Менше 0,13	0,13÷0,25	0,25÷0,350
Дуб	Менше 0,08	0,08÷0,95	0,95÷0,125

Час розчистки одного проходу $t_р$ (с) визначають з виразу

$$t_р = \frac{d_{\text{дер}} \cdot n_{\text{дер}}}{u_{\text{зр}}} + \frac{L_{\text{з}} - d_{\text{дер}} \cdot n_{\text{дер}}}{u_{\text{ін}}},$$

де $d_{дер}$ – середній по ділянці діаметр дерева, м;

$n_{дер}$ – середнє по ділянці число дерев, які ростуть у полосі одного проходу;

$u_{зр}$ – швидкість руху кущоріза при зрізанні дерева, м/с;

$u_{ін}$ – швидкість кущоріза на інших операціях, м/с.

Швидкість кущоріза $u_{зр}$ при зрізанні дерева визначають з виразу

$$u_{\text{зр}} = u_{\text{т}}\left(1 - \delta_{\text{зр}}\right),$$

а швидкість $u_{ін}$ на інших операціях – з виразу

$$u_{\text{ін}} = u_{\text{т}}(1 - \delta_{\text{ін}}),$$

де $u_т$ – теоретична швидкість машини, м/с;

$\delta_{зр}$ – коефіцієнт буксування рушія при зрізанні дерева;

$\delta_{ін}$ – коефіцієнт буксування рушія при виконанні інших робіт, не зв’язаних із зрізанням стовбурів дерев.

Коефіцієнт буксування розраховують за формулою

$$\delta_{\text{зр}} = A\frac{W_{\text{заг}}}{R_z} + B\left(\frac{W_{\text{заг}}}{R_z}\right)^m,$$

де A, B і m – емпіричні коефіцієнти (для гусеничного тягача на щільному свіжозрізаному ґрунті A=0,05, B=1,76, m=12);

$W_{заг}$ – загальний опір, який долається кущорізом при роботі, Н;

R_Z – опорна реакція ґрунту на рушій машини, Н.

Загальний опір $W_{заг}$, який долається кущорізом з гідроциліндрами підйому/опускання відвалу, складається з опору стовбура дерева зрізанню $W_{зр}$, опору ґрунту різанню $W_{різ}$, опору призми волочіння переміщенню $W_{пр}$, сили тертя призми волочіння по відвалу $W_{тер}$, опору руху машини по опорній поверхні $W_{руху}$:

$$W_{заг}=W_{зр}+W_{різ}+W_{пр}+W_{тер}+W_{руху}.$$

На практиці величина кожного з перерахованих опорів не є постійною. Опір зрізанню дерева стрибкоподібно змінюється від нуля до максимуму й, навпаки, з частотою, котра визначається кількістю древесних стовбурів на шляху машини. Інші опори коливаються у відносно стабільному діапазоні значень.

Опір древесного стовбура зрізанню відвалом кущоріза визначають з виразу

$$W_{\text{зр}} = \frac{\sigma_{\text{зр}} \cdot \pi \cdot d_{\text{стов}}^2}{4},$$

де $\sigma_{зр}$ – межа міцності деревини на зріз впоперек волокон (для дубу $\sigma_{зр}$=49 МПа, для сосни $\sigma_{зр}$=4,9 МПа).

Для визначення інших складових загального опору, котрий долає кущоріз у робочому режимі, використовують вирази:

• для кущоріза з симетричним двокорпусним відвалом:

$$W_{різ}=K_{різ} \cdot b_з \cdot h_{кол},$$

$$W_{пр}=V_{пр} \cdot \rho_{пр} \cdot g \cdot \mu_{пр},$$

$$W_{тер}=V_{пр} \cdot \rho_{пр} \cdot g \cdot \mu_{гр} \cdot \mu_{ст},$$

• для кущоріза з косо поставленим однокорпусним відвалом:

$$W_{різ}=K_{різ} \cdot b_з \cdot h_{кол} \cdot sin\gamma,$$

$$W_{пр}=V_{пр} \cdot \rho_{пр} \cdot g \cdot \mu_{пр} \cdot sin\gamma,$$

$$W_{тер}=V_{пр} \cdot \rho_{пр} \cdot g \cdot \mu_{гр} \cdot \mu_{ст} \cdot cos\gamma,$$

і незалежно від типу відвалу

$$W_{руху}=G(f_{руху} \cdot cos\beta+sin\beta),$$

де $K_{різ}$ – питомий опір лобовому різанню ґрунту, Па (для ґрунту I категорії $K_{різ}$≈68 КПа, II категорії – 108 КПа, III категорії – 167 КПа);

$b_з$ – ширина полоси захвату, котра очищається, м;

$h_{коп}$ – глибина копання, м (до 0,2 м);

$V_{пр}$ – об'єм призми волочіння, м^3;

$\rho_{пр}$ – щільність матеріалу призми волочіння, кг/м^3;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2;

$\mu_{гр}$ – коефіцієнт тертя ґрунту призми волочіння по підстилаючому ґрунту (для зв'язних ґрунтів 0,5, для незв'язних 0,7÷1,0);

γ – кут захвату (γ=45÷50°);

$\mu_{ст}$ – коефіцієнт тертя сталі по ґрунту (для пісків і супісків 0,35, для легких суглинків 0,5, для важких суглинків 0,8);

$f_{руху}$ – коефіцієнт опору руху (табл. 2. 2);

β – кут нахилу місцевості до горизонту, град. (залежить від рельєфу місцевості, на схилах більше 10° робочі проходи рекомендується здійснювати, рухаючись під уклін).

Таблиця 2.2

Значення коефіцієнту опору руху

Опорна поверхня	**Коефіцієнт опору руху**	
	гусениці	шини
Ґрунтова суха дорога	0,07	0,06
Сухий або вологий пісок	0,15	

Об'єм призми волочіння перед кущорізним відвалом розраховують за формулою

$$V_{пр}=k_{зап}\cdot l_{кр}(h_{від}-h_{коп})^2,$$

де $k_{зап}$ – коефіцієнт заповнення відвалу ($k_{зап}$=0,7);

$l_{кр}$ – загальна довжина ріжучої крайки, м;

$h_{від}$ – загальна висота кущорізного відвалу, м;

$h_{коп}$ – середня глибина копання, м.

Призма волочіння, котра формується перед кущорізним обладнанням відвального типу, складається, як правило, з суміші деревинної маси та зрізаного ґрунту, тому її середню щільність розраховують за формулою

$$\rho_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i \cdot \rho_i,$$

де α_i – вміст і-го матеріалу в призмі волочіння, десяті частки загального об'єму призми;

ρ_i – щільність і-го матеріалу, кг/ м^3;

m – кількість матеріалів, які складають призму волочіння.

Щільність матеріалів, які можуть опинитися в призмі волочіння, складає, кг/м^3:

Деревина свіжозрубана……900

Пісок сухий……1420

Пісок і глина……...1600

Пісок вологий……1690

Пісок мокрий……..1840

Ґрунт звичайний сухий……..1500

Ґрунт звичайний вологий……..1600

Ґрунт звичайний мокрий……...1900

Гравій……...1600

Опір зрізанню $W_{зр}$ (Н), який кущоріз може подолати без зупинки, визначають за виразом

$$W_{зр}=G_{зч}\,\varphi_{опт}+u_{ф}\sqrt{M\cdot C_{\Sigma}}-\left(W_{\text{різ}}+W_{\text{пр}}+W_{\text{тер}}+W_{\text{руху}}\right).$$

Максимальний діаметр деревинного стовбура d_{max} (м), який кущоріз зріже, не зупиняючись, складе

$$d_{max}=2\sqrt{\frac{W_{\text{зр}}}{\sigma_{\text{зр}}.\pi}}.$$

2.1.4. Питання для самоперевірки

1. За якою ознакою класифікуються кущорізи?

2. Перерахуйте основні елементи кущорізного обладнання та відвалу.

3. Опишіть ситуацію, що розглядається при розрахунку критичних навантажень.

4. Чому при розрахунку критичних навантажень потрібно розраховувати сумарну жорсткість металоконструкції кущоріза та перешкоди?

5. Які фактори впливають на робочу швидкість кущоріза?

6. Перерахуйте операції, з яких складається робочий цикл кущоріза.

2.2. КОРЧУВАЛЬНИКИ ВАЖІЛЬНОГО ТИПУ

Корчувальники важільного типу призначені для вилучення з ґрунту великого каміння, коріння та пнів на площах, відведених під спорудження будівельних об'єктів.

2.2.1. Класифікаційні ознаки

Корчувальники важільного типу виготовляються дрібними серіями, тому загальновизнаних класифікаційних схем для них не створено. До найбільш очевидних класифікаційних ознак, за яким можна групувати машини цього типу, можна віднести їх масу, що визначає розміри та міцність робочого обладнання, та потужність силової установки, що визначає величину створюваного корчувального зусилля.

2.2.2. Конструкція

Навісним корчувальним обладнанням важільного типу (рис. 2. 4) комплектують промислові гусеничні трактори.

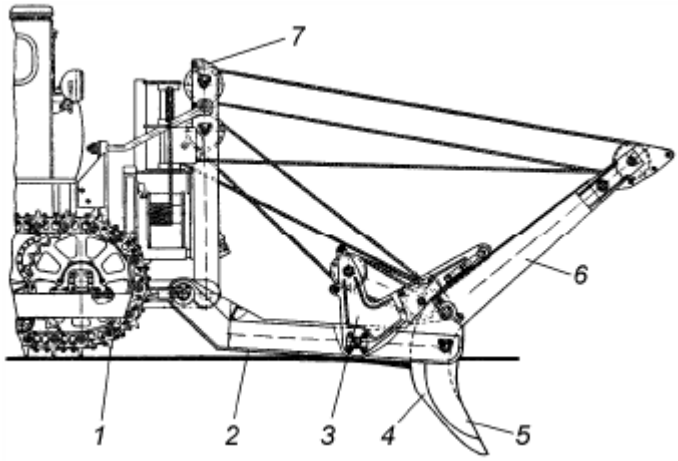

Рис. 2.4. – Корчувальник важільного типу з канатно-блочним приводом корчувального обладнання:
1 – базовий трактор; 2 – рама; 3 – малий важіль; 4 – зуб корчувального важеля; 5 – ікло-збирач; 6 - корчувальний важіль; 7 – поліспаст приводу корчувального обладнання

Корчувальне обладнання з канатно-блочним приводом складається з корчувального важеля з двома зубами, що корчують, двох іклів-збирачів, закріплених на робочій рамі, котра з'єднана з заднім мостом тягача зчіпним пристроєм, лебідки, стійки з набором шківів та малого двоплечого важеля, з'єднаного віссю з робочою рамою. На короткому плечі малого важеля розташований шків поліспаста, а довгий важіль ковзає по напрямним,

закріпленим на корчувальному важелі. Така схема дозволяє повертати корчувальний важіль за допомогою канатно-блочного поліспаста у вихідне для корчування положення.

Корчувальний важіль – зварна конструкція з двох поздовжніх балок, з'єднаними між собою поперечками. Малі плечі балок мають форму корчувальних зубів. Корчувальний важіль може вільно повертатися на осі, закріпленій у вухах робочої рами. Зусилля, котре корчувальник може завдяки співвідношенню плечей корчувального важеля розвивати на зубах, дозволяє викорчовувати пні діаметром понад 1 м.

Перед корчуванням важіль, що корчує, повертають по годинниковій стрілці, щоб контури його зубів співпали з контурами іклів-збирачів. За 1÷1,5 м до об'єкту обладнання опускають на ґрунт і при русі заднім ходом зуби корчувального важеля й ікла-збирачі врізаються в ґрунт і підводяться під корчований об'єкт. Робоча рама корчувальника при цьому лягає на землю. Потім корчувальний важіль повертають поліспастом і його зуби витягують об'єкт, що викорчовується, на поверхню. Виникають при цьому навантаження через раму і ікла-збирачі передаються на ґрунт, минаючи остов базового тягача, а занурені в ґрунт ікла-збирачі утримують машину на місці. При корчуванні пнів невеликого діаметру чи зі слабкою кореневою системою корчувальні зуби та ікла-збирачі заглиблюють під пень, після чого зсувають його штовхаючим зусиллям трактора без підйому чи з одночасним підйомом робочої рами разом із корчувальним важелем. У вихідне для корчування положення корчувальний важіль повертається малим важелем.

2.2.3. Розрахунок конструктивних та експлуатаційних параметрів

Розрахункові зусилля. Єдиними вузлами корчувача, які під час роботи піддаються руйнівним навантаженням, є корчувальні зуби, корчувальний важіль, а також пальці та вуха шарнірних з'єднань важеля з робочою рамою та елементами силового приводу. Найбільш небезпечною для їхньої міцності є зустріч зубів корчувального важеля з непереборною перешкодою (рис. 2. 5). Максимальні напруження в небезпечному перетині корчувального важеля створюються силою $P_{пр}$, яка розвивається приводом його повороту, а опір корчуванню $W_{кор}$, який долається важелем, розраховують за рівністю моментів

$$W_{кор} \cdot a = P_{пр} \cdot b,$$

де a і b – плечі дії сил $W_{кор}$ і $P_{пр}$.

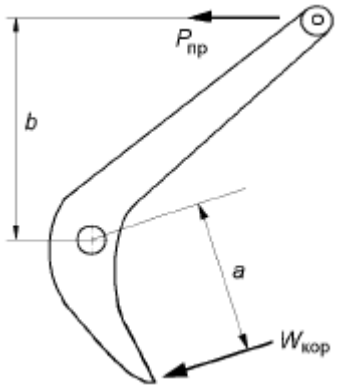

Рис. 2.5 – Схема до визначення розрахункової сили корчувального зубу

Теоретична продуктивність корчувача важільного типу $П$ залежить від кількості об'єктів, що викорчовуються на відведеній території $n_{об}$, тривалості корчування одного об'єкта $t_{кор}$ і часу $t_{ман}$ підходу до кожного об'єкта:

$$П = n_{об}(t_{кор} + t_{ман}).$$

Відомо, що корчувальник важільного типу потужністю 75 кВт з канатно-блочним приводом обладнання за годину викорчовує на важкому суглинку близько 80÷90 пнів діаметром 0,35÷0,75 м при засміченості 700 пнів/га чи до 18 м^3 каміння об'ємом 0,75÷2,0 м^3 кожного при засміченості 300 каменів/га.

2.3. КОРЧУВАЧІ-ЗБИРАЧІ

Корчувачі-збирачі призначені для корчування пнів і розчищення ґрунту від коріння та великого каміння з частковим розпушуванням ґрунтів, а також видалення повалених дерев, зрізаного чагарника та викорчуваних кореневищ. Корчувальники-збирачі видаляють пні, розриваючи коріння за рахунок штовхаючого зусилля трактора та одночасного підйому робочого обладнання гідроциліндрами. При корчуванні, згрібанні та переміщенні викорчувана чи зрізана кущорізами деревина переміщається у валки та купи разом із зрізаним ґрунтом.

2.3.1. Класифікаційні ознаки

Як і кущорізи пасивної дії, корчувачі-збирачі являють собою гусеничний бульдозер, оснащений спеціальним відвалом і механізмом його кріплення до базового тягачі. Тому головною класифікаційною ознакою цих машин є сила тяги базового промислового трактора у кН.

2.3.2. Конструкція

Робоче обладнання корчувача-збирача монтують перед капотом трактора на штовхаючій рамі. Найбільш проста конструкція (рис. 2. 6) є відвалом з робочою балкою, в прорізах якої кріплять розпушувальні зуби.

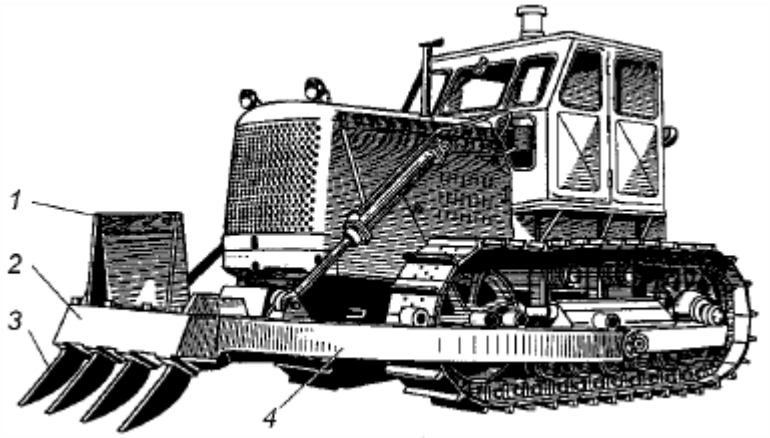

Рис. 2.6 – Гусеничний корчувач-збирач:
1 – відвал; 2 – робоча балка; 3 – корчувальні зуби; 4 –штовхаюча рама

Ґратчасті відвали з нерухомими (рис. 2. 7) чи шарнірно закріпленими зубами (рис. 2. 8) дозволяють знизити робочий опір і підвищити продуктивність машин.

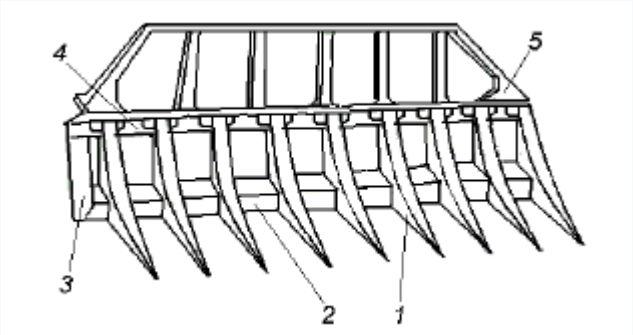

Рис. 2.7 – Ґратчастий відвал корчувача-збирача:
1 – корчувальні зуби; 2 – опорний брус; 3 – бічна стінка; 4 – несучий брус;
5 – захисні грати

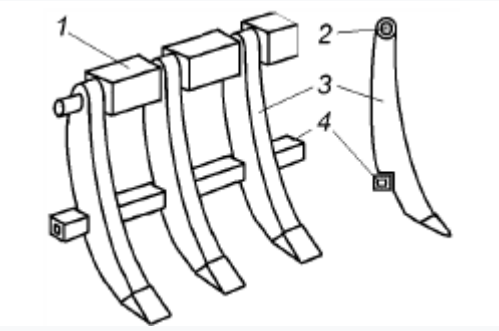

Рис. 2.8 – Шарнірне кріплення зубів ґратчастого відвалу корчувача-збирача:
1 – несучий брус; 2 – шарнір; 3 – корчувальні зуби; 4 – опорний брус

Коріння та дрібні пні викорчовуються із землі корчувальними зубами, заглибленими в ґрунт, зрізана рослинність та викорчувані об'єкти збираються відвальною поверхнею та переміщуються на межу ділянки.

2.3.3. Розрахунок конструктивних і експлуатаційних параметрів

При корчуванні великих пнів і каменів корчувальні зуби за 0,5÷0,7 м до об'єкта заглиблюються на максимальну глибину, а потім відвал разом з штовхаючою рамою починає плавно підніматися. Процес корчування полегшується, якщо одночасно з підйомом відвалу можна зменшувати і кут його нахилу до горизонту.

Розрахунок робочого обладнання на міцність виконується для випадку, коли корчувальник, рухаючись уперед, прагне підняти відвал разом з об'єктом, що викорчовується (рис. 2. 9).

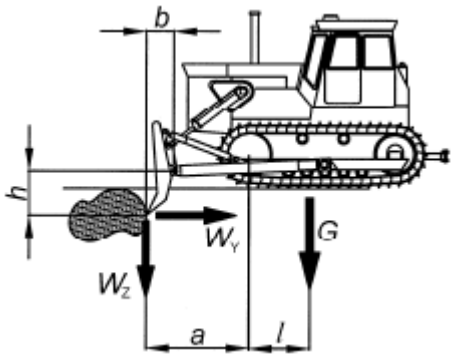

Рис. 2.9 – Схема до розрахунку руйнівного зусилля

Найменш міцним вважають перетин зуба у місці його контакту з штовхаючим брусом. Згинаючий момент у небезпечному перетині $M_{зги}$ розраховують за формулами:

$$M_{зги}=W_Z \cdot b+W_Y \cdot h; \qquad W_Z=\frac{G \cdot l}{a}; \qquad W_Y=G_{зч} \cdot \varphi_{max} \cdot k_{дин},$$

де W_Z – вертикальна складова сили робочого опору, шо діє в площині креслення (визначається з рівняння моментів, які діють на корчувальник відносно передньої грані);

b, h, l, a – відстані між точками прикладання сил, які діють на агрегат;

W_Y – максимальна сила тяги, що розвивається агрегатом;

G – загальна сила ваги агрегату;

$G_{сц}$ – зчіпна сила ваги агрегату;

φ_{max} – максимальний коефіцієнт зчеплення;

$k_{дин}$ – коефіцієнт динамічності ($k_{дин}$≤2,0).

Теоретичну продуктивність корчувача-збирача розраховують за рівняннями, що використовуються для кущоріза.

Суму опорів $W_{заг}$ (Н), що долаються агрегатом при розчищенні території визначають за формулами:

$$W_{заг}=W_{роз}+W_{пр}+W_{кор}+W_{тер}+W_{рух},$$

$$W_{роз}=K_{роз}\cdot b_{зах}\cdot h_{роз},$$

$$W_{пр}=V_{пр}\cdot\rho_{пр}\cdot g\cdot\mu_{пр},$$

$$V_{пр}=k_{зап}\cdot l_{від}\cdot h_{від}^2,$$

$$W_{тер}=G_{ро}\cdot\mu_{ст},$$

$$W_{рух}=G(f_{рух}\cdot\cos\beta+\sin\beta),$$

де $W_{роз}$ – опір ґрунту розпушування, Н;

$W_{пр}$ – опір переміщення призми волочіння, Н;

$W_{кор}$ – поздовжня складова опору пнів корчуванню, Н (табл. 2. 3);

$W_{тер}$ – сила тертя робочого обладнання корчувача про ґрунт, Н;

$W_{рух}$ – опір руху, Н;

$K_{роз}$ – питомий опір ґрунту розпушування зубами агрегату, Па (для ґрунту з корінням чагарника $K_{роз}$=117,72 КПа);

$b_{зах}$ – ширина захвату, м;

$h_{роз}$ – глибина розпушування, м;

$V_{пр}$ – обсяг призми волочіння, м^3;

$\rho_{пр}$ – щільність матеріалу призми волочіння, кг/м^3;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2;

$\mu_{пр}$ – коефіцієнт тертя ґрунту призми волочіння по ґрунтовій поверхні;

$k_{зап}$ – коефіцієнт заповнення відвалу ($k_{зап}$ – 0,7);

$l_{від}$ – довжина відвалу, м;

$h_{від}$ – висота відвалу, м;

$G_{ро}$ – сила ваги робочого обладнання, Н;

$\mu_{ст}$ – коефіцієнт тертя сталі по ґрунту;

G – загальна сила ваги агрегату, Н;

$f_{рух}$ – коефіцієнт опору руху корчувача:

β – кут нахилу оброблюваної ділянки до горизонту.

Таблиця 2.3

Опір пнів корчуванню

Порода дерева	**Опір пнів корчуванню, кН, при діаметрі, м**				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Ялина та піхта	17,7	39,2	88,3	147,2	196,0
Осина	18,6	49,1	73,6	152,1	206,0
Береза	19,6	54,0	93,2	157,0	215,8

2.3.4. Запитання для самоперевірки

1. Для чого корчувальнику важільного типу потрібні ікла-збирачі?
2. Яку деталь корчувача важільного типу використовують для корчування?
3. Чому робочі навантаження практично не передаються на кістяк базового трактора корчувача важільного типу?
4. Перерахуйте операції, що становлять робочий цикл корчувальника важільного типу.
5. Опишіть конструкції різних типів відвалів корчувача-збирача та призначення елементів відвалу.
6. Корчувальник-збирач: схема та опис розрахункового положення.
7. Перерахуйте операції, що становлять робочий цикл корчувача-збирача і розрахуйте їхню тривалість.

2.4. РОЗПУШНИКИ

Розпушники призначені для пошарового розпушування сезонно- та вічномерзлих ґрунтів і слабких скельних порід і складаються з базової машини та заднього розпушувального обладнання. При розпушуванні використовується тягове зусилля базової машини. Розпушники застосовують, коли розробка ґрунту іншими типами землерийних машин неможлива чи небажана через низьку продуктивність. Розпушники можуть використовуватися для руйнування дорожніх покриттів, а також, поряд з корчувальниками, для видалення кореневої системи, що залишається після валки великих дерев.

2.4.1. Класифікаційні ознаки

Тип ходового обладнання

Гусеничне – базовою машиною розпушувача є гусеничний трактор.

Колісне – базовою машиною розпушувача є колісний тягач.

Вид розпушувального обладнання

Триланковий – при опусканні та підйомі зуби повертаються відносно точки кріплення рами до базової машини.

Чотирьохланковий – при опусканні та підйомі зубів їх поздовжня вісь може лише трохи відхилятися від свого первісного положення.

Паралелограмне – чотириланкове обладнання, у котрого поздовжня вісь зубів постійно залишається паралельною відносно свого первісного стану.

З регульованим кутом розпушування – оснащене пристроєм регулювання кута розпушування.

З нерегульованим кутом розпушування – пристрої регулювання кута розпушування не передбачені.

Спосіб кріплення розпушувальних зубів

З шарнірним кріпленням зубів – кріплення зубів допускає їх поворот у горизонтальній площині відносно поздовжньої осі розпушувача.

З жорстким кріпленням зубів – кріплення зубів виключає можливість їх повороту в горизонтальній площині відносно поздовжньої осі розпушувача.

Кількість розпушувальних зубів

Однозубий розпушник – машина з одним розпушувальним зубом.

Багатозубий розпушник – машина більш ніж з одним розпушувальним зубом.

2.4.2. Конструкція

Як правило, обладнання розпушника монтують на гусеничних бульдозерах, а отримані в результаті машини називають бульдозерно-розпушувальними агрегатами (рис. 2. 10).

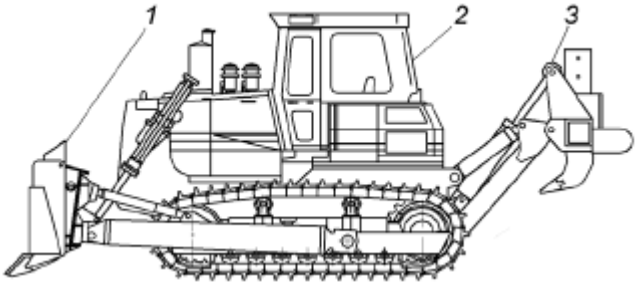

Рис. 2.10 – Бульдозерно-розпушувальний агрегат:
1 – бульдозерне обладнання; 2 – промисловий трактор; 3 – розпушувальне обладнання

Робота розпушувача складається з таких операцій: вкорінення робочого органу (розпушувальних зубів) у ґрунт або породу, робочий хід з розпушуванням по довжині оброблюваної ділянки, рух заднім ходом у вихідне для наступного робочого ходу положення (при роботі за човниковою схемою), розворот, зупинка та маневрування. Кожен наступний робочий хід виконується на певній відстані від попереднього.

При розпушуванні однорідного за міцністю ґрунту зуби, як правило, заглиблюють у ґрунт після початку поступального руху машини. При руйнуванні міцних шарів (замерзлий ґрунт, тверде покриття), що покривають м'який ґрунт, зручно працювати з попередньо відритого приямка, в який зуби розпушника опускають до початку руху машини [8].

У цивільному будівництві найбільш широко використовують розпушники тягових класів 10, 15, 25 і 35. Практикується оснащення розпушників буферним пристроєм, який дозволяє вдаватися до допомоги бульдозера-штовхача для підвищення сили тяги розпушника при розпушуванні дуже міцних порід.

Розрізняють трьох- і чотириланкове розпушувальне обладнання (рис. 2. 11). Трьохланковий навісний пристрій є найбільш простим. При підйомі чи опусканні розпушувальний зуб повертається відносно шарнірів кріплення до опорної рами, а кут розпушування змінюється.

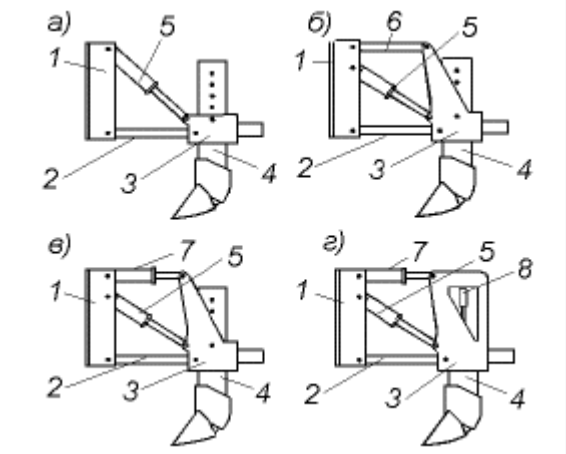

Рис. 2.11 – Тири розпушувального обладнання:
а) – трьохланкове; б), в), г) – чотириланкове; 1 – опорна рама; 2 – нижня тягова рама; 3 – робоча балка; 4 – розпушувальний зуб; 5 – гідроциліндри підйому та опускання робочої балки; 6 – верхня тягова рама; 7 – гідроциліндри нахилу зуба; 8 – механізм зміни вильоту зуба

На невеликій відстані наконечника зуба від поверхні землі кут розпушування близький до 90°, а передня грань його стійки нахилена до поверхні. При цьому опір розпушуванню збільшується, задня частина тягача розвантажується, з-за чого погіршуються його тягові характеристики, заглиблення зубу в ґрунт на початковому етапі утруднюється.

Більш популярні розпушники з чотирьохланковим робочим обладнанням і гідравлічним керуванням. У них орієнтація розпушувальних зубів у просторі не залежить від глибини розпушування, а при заміні верхньої тягової рами гідроциліндрами дозволяє регулювати кут розпушування в межах до 30°. Установка додаткових гідроциліндрів дозволяє дистанційно регулювати виліт зубу (виліт зубу – відстань по вертикалі від його наконечника до робочої балки), траєкторію його руху, трансформувати механізм з трьохланкового в чотирьохланковий і навпаки.

Зуби розпушника кріплять до робочої балки. Число зубів залежить від тягового класу трактора, міцності ґрунту та глибини розпушування. Однозубі розпушники монтують на тягачах з великим тяговим зусиллям і використовують при руйнуванні скельних, вічномерзлих і міцних ґрунтів. Багатозубі розпушники використовують при роботі з слабшими породами, штучними дорожніми покриттями, ґрунтами сезонного промерзання тощо.

Зуби або жорстко кріплять у гніздах робочої балки пальцями чи клинами, або шарнірно – за допомогою флюгерів. Зуб розпушника (рис. 2. 12) являє собою металеву стійку з отворами (як правило) для фіксації у робочій балці. Передня грань нижньої робочої частини стійки захищена від зношування накладкою та наконечником. Для кріплення накладки та наконечника до стійки зуба найчастіше застосовують пальцеві з'єднання зі стопорними пристроями.

Зуби розпушників працюють в умовах значних динамічних навантажень і підвищеного абразивного зношування. Ефективність і продуктивність розпушників, насамперед, визначаються працездатністю наконечників зубів. Їхня стійкість до ударних навантажень повинна поєднуватися з підвищеною зносостійкістю та здатністю зберігати міцність при сильному нагріванні (за

деякими даними при розпушуванні міцних порід наконечники можуть нагріватися до 700°С).

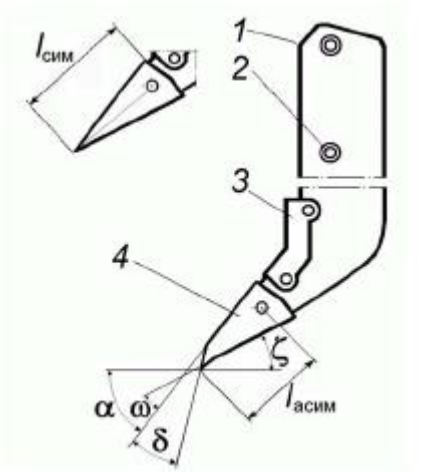

Рис. 2.12. – Елементи та параметри зуба розпушувача:
1 – стійка зуба; 2 – отвори під пальці кріплення; 3 – захисна накладка; 4 – змінний наконечник; $l_{сим}$ – довжина симетричного наконечника; $l_{асим}$ – довжина асиметричного наконечника; α – кут розпушування; δ – кут відгину наконечника (для симетричного наконечника 0°); ω – кут загострення; ζ – задній кут

Важливим для зубів розпушника є самозаточування їх наконечників. Завдяки їй розпушник зберігає високу працездатність навіть при зношуванні наконечників на 45%, тоді як їх затуплення знижує ефективність машини вже при 30%-ому зношуванні наконечників. Самозаточуваність наконечника забезпечується меншою порівняно зі швидкістю зношування основи швидкістю зношування ріжучої грані.

Довжину змінного наконечника вибирають за умовами його роботи. Для усереднених умов роботи вона становить 2,5÷3,0 довжини його ріжучої крайки; для роботи зі значними динамічними навантаженнями – 1,0÷2,5 довжини крайки; для роботи в умовах підвищеного абразивного зношування – 1,0÷3,0 довжини крайки.

Короткі наконечники призначені для роботи при значних динамічних навантаженнях і при роботі з штовхачем. Довгі наконечники кращі при роботі в відносно слабких абразивних матеріалах, наконечники середньої довжини найбільш універсальні, їх застосовують для роботи в умовах середньої тяжкості. Довжина симетричних наконечників $l_{сим}$ – це відстань від ріжучої крайки до отвору стопорного пальця, асиметричних $l_{асим}$ – відстань від ріжучої крайки до

заднього кінця передньої грані. Задня грань наконечника може бути плоскою, але вигнута вгору форма полегшує використання зуба в міцних ґрунтах.

Якщо регулювання кута розпушування не передбачено, він не повинен перевищувати 45°, інакше діапазон регулювання становить близько 30° (до 20° у бік збільшення та до 10° – у бік зменшення). Збільшення кута розпушування більше 45° при заглибленні полегшує вкорінення зуба в ґрунт, зменшує час циклу, а зменшення кута розпушування полегшує розпушування ґрунтів сезонного промерзання та розбірних скельних ґрунтів шаруватої структури [8].

При куті розпушування 45° задній кут не повинен бути меншим 8°. Його збільшення супроводжується зниженням сил тертя по задній грані наконечника, але при цьому зростають зусилля, що діють на передню грань наконечника.

Максимальну глибину розпушування h_{max} для чотириланкових розпушників без урахування висоти ґрунтозачепів гусениць розраховують за рівнянням регресії

$$h_{max} = A \cdot N^m,$$

де A=0,042, m=0,62 для однозубих розпушувачів;

A=0,039, m=0,68 для багатозубих;

N – номінальна потужність двигуна розпушника, кВт.

Найменшій енергоємності процесу пошарового розпушування відповідає оптимальна глибина розпушування $h_{опт}$:

$$h_{\text{опт}} = (3 \div 5) b_{\text{зуб}},$$

де $b_{зуб}$ – ширина наконечника зуба. Найменші значення числового коефіцієнта застосовуються для глинистих ґрунтів, великі – для ґрунтів з великою кількістю крижаних лінз і прошарків та мерзлих пісковиків.

Відстань від нижчої точки нижньої тягової рами до опорної поверхні має становити:

• (0,6÷0,8)$h_{опт}$ – для розпушників тягового класу до 10;

• (0,3÷0,6)$h_{опт}$ – для розпушників тягового класу понад 10.

Виліт зубів K (рис. 2. 13) має перевищувати максимальну глибину розпушування (щоб рама розпушника вільно проходила над поверхнею розпушеного ґрунту): $K \geq h_{max}$+0,3 м.

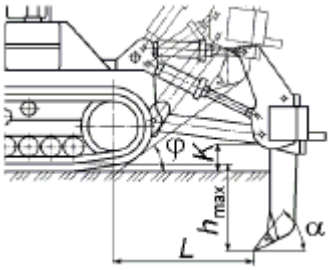

Рис. 2.13. – Геометричні співвідношення розпушувального обладнання та тягача

Висота підйому зубів над опорною поверхнею в транспортне положення має становити не менше:

• 0,3 м – для легких машин;

• 0,6 м – середніх машин;

• 0,7 м – важких машин.

Задній кут в'їзду φ повинен бути не менше 20°.

Кількість зубів у розпушників (1, 3 або 5) залежить від призначення та типорозміру машини. На гусеничних тракторах потужністю не більше 100 кВт, які використовуються при руйнуванні дорожніх покриттів і щільних талих ґрунтів, встановлюють 3 або 5 зубів. При розробці мерзлих і розбірних скельових ґрунтів на тракторах потужністю більше 100 кВт встановлюють 1÷3 зуба.

Бокові зуби в будь-якому випадку встановлюють симетрично до поздовжньої осі трактора.

2.4.3. Розрахунок конструктивних і експлуатаційних параметрів

Крок розстановки зубів $r_{зуб}$ – відстань між однойменними точками сусідніх зубів у напрямку, перпендикулярному до поздовжньої осі машини. Його визначають з рівняння регресії

$$r_{зуб}=0{,}57\ lgN-0{,}25,$$

де N – номінальна потужність двигуна, кВт. Вважають, що для більшості ґрунтів оптимальним є співвідношення

$$r_{зуб}=(1{,}5\div 2{,}0)h_{роз},$$

де $h_{роз}$ – глибина розпушування, м.

Існує думка, що заклинювання шматків розпушуваного матеріалу між стойками виключається, якщо крок розстановки зубів складає не менше, ніж 2÷3 ширини зуба. Для легких розпушників при п'яти зубах рекомендується крок

розстановки 0,3÷0,5 м, при трьох зубах – 0,8÷1,0 м, для середніх розпушників рекомендується крок розстановки 0,9÷1,3 м, для важких – до 1,4 м.

Крок розстановки зубів $t_{зуб}$ зв'язаний з шириною захвату $b_{зах}$, шириною наконечника зуба $b_{зуб}$ і числом зубів $n_{зуб}$ (без урахування властивостей ґрунту та особливостей процесу розпушування) співвідношенням

$$b_{зах}=(n-1)t_{зуб}+n_{зуб}\, b_{зуб},$$

де значення $b_{зуб}$ коливається в межах 1,1÷1,4 товщини стойки зуба.

Збільшення відстані між сусідніми зубами збільшує нерівності на дні полоси розпушування та знижує однорідність розпушеного ґрунту. Уникнути цього допомагають уширювачі – трикутні металеві пластини, закріплені на бокових поверхнях стойки позаду наконечника, котрі підвищують ефективність розпушування маломіцних мерзлих ґрунтів. Уширювачі в вигляді дисків, які обертаються (рис. 2. 14), знижують сили тертя в зоні розпушування та підвищують його ефективність.

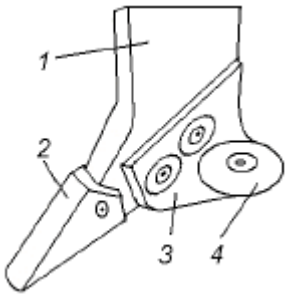

Рис. 2.14 – Дисковий уширювач:
1 – стойка зуба; 2 – змінний наконечник; 3 – кронштейн уширювача; 4 – дисковий уширювач, який обертається

Кількісні співвідношення між масою обладнання розпушника $M_{ро}$ і потужністю тягача N описуються рівняннями регресії:

• для однозубих розпушників – $M_{ро}\approx 1{,}82\ N$,

• для багатозубих розпушників – $M_{ро}\approx 2{,}3\ N$,

де $M_{ро}$ – маса розпушувального обладнання, кг;

N – потужність двигуна тягача, кВт.

Розрахункові зусилля, котрі здатні зруйнувати деталі обладнання розпушника, оцінюють за розрахунковими положеннями.

Розрахункове положення №1. Розпушник рухається прямо, швидкість і глибина розпушування постійні, гідроциліндри робочого обладнання заперті. Не

знижуючи швидкості, він упирається кінцем зуба в нездоланну перешкоду (рис. 2. 15).

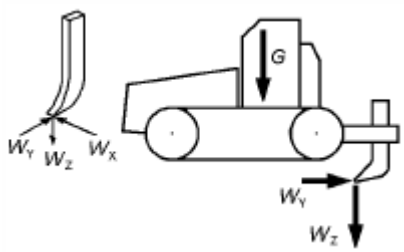

Рис. 2.15. – Схема до розрахункового положення №1

Значення сил, які діють у цій ситуації на елементи робочого обладнання, визначають за формулами:

$$W_Y = G_{\text{зч}} \cdot \varphi_{max} \cdot k_{\text{дин}}^{Y},$$

$$W_X = \pm\left(0{,}4 \cdot G_{\text{зч}} \cdot \varphi_{max} \cdot k_{\text{дин}}^{X}\right),$$

$$W_Z = W_Y \cdot tgv \cdot k_{\text{дин}}^{Z},$$

$$G_{\text{зч}} = G + W_Z,$$

де W_Y – поздовжня складова сили опору розпушуванню;

$G_{зч}$ – зчіпна сила ваги машини;

φ_{max} – максимальний коефіцієнт зчеплення, котрий відповідає початку повного буксування;

$k_{\text{дин}}^{Y}$, $k_{\text{дин}}^{X}$, $k_{\text{дин}}^{Z}$ – коефіцієнти динамічності, $k_{\text{дин}}^{Y}$=3, $k_{\text{дин}}^{Z}$=1,8, $k_{\text{дин}}^{X}$=1,5;

W_X – бокова складова сили опору розпушуванню, котра виникає з-за неоднорідності ґрунту, відхилення геометричних розмірів зуба від ідеальних і курсового рискання агрегату;

W_Z – вертикальна складова сили опору розпушуванню;

v – кут нахилу сили опору розпушуванню до горизонталі (для талих ґрунтів – 0°, для мерзлих – 20°, для скельових – 30°);

G – загальна сила ваги машини, Н.

Розрахункове положення №2. Розпушник рухається прямо з постійною швидкістю, заглиблюючи розпушувальні зуби в ґрунт (рис. 2. 16). Ланки гусениці, котрі розташовані під ведучою зірочкою, починають втрачати контакт з опорною поверхнею.

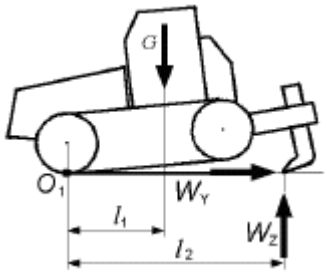

Рис. 2.16. – Схема до розрахункового положення №2

Значення сил, які діють у розрахунковому положенні №2 на елементи робочого обладнання, визначаються за формулами, котрі справедливі для розрахункового положення №1, а також за залежностями:

$$W_Z = \frac{k_{\text{дин}}^Z \cdot G \cdot l}{l_2},\ W_Y = (G - W_Z)\varphi_{max},$$

де W_Z і W_Y – вертикальна та поздовжня складові сили, котра діє на розпушувальний зуб;

l_1 и l_2 – плечі дії сил;

φ_{max} – максимальний коефіцієнт зчеплення.

Розрахункове положення №3. Розпушник рухається прямо з постійною швидкістю, глибина розпушування зменшується (рис. 2. 17). Ланки гусениці, котрі розташовані під переднім натяжним катком, починають втрачати контакт з опорною поверхнею.

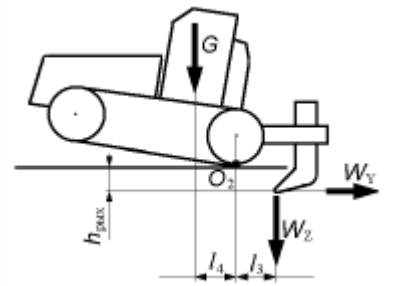

Рис. 2.17. – Схема до розрахункового положення №3

Значення сил, які діють у розрахунковому положенні №3 на елементи робочого обладнання, визначаються виразами, котрі справедливі для розрахункових положень №1 і №2, а також виразом

$$W_Z = \frac{k_{\text{дин}}^2 (G \cdot l_4 + W_Y \cdot h_{\text{роз}})}{l_3}.$$

Теоретичну продуктивність розпушника $П$, м^3/с, розраховують за формулами:

$$П = \frac{b_{роз} \cdot h_{роз} \cdot L_з}{k_{пер}\left(\frac{L_з}{u_ф} + t_{ман}\right)},$$

$$b_{роз}=b_{зах}+2\ h_{роз}\ ctg\psi_{ск},$$

де $b_{роз}$ – ширина полоси розпушування, м;

$h_{роз}$ – глибина розпушування, м;

$L_з$ – довжина ділянки, котра розпушується, м;

$k_{пер}$ – коефіцієнт перекриття сусідніх проходів, $k_{пер}$=1,33;

$u_ф$ – фактична швидкість розпушування, м/с;

$t_{ман}$ – час маневрування впродовж одного проходу, $t_{ман}$=20 с;

$\psi_{ск}$ – кут між горизонтом і поверхнею раковини зколу ґрунту (для мерзлих ґрунтів 15°, для талих 60°).

Фактична швидкість розпушування $u_ф$ визначається з урахуванням загального опору $W_{заг}$, який долається розпушником:

$$W_{заг}=W_{роз}+W_{рух},$$

$$W_{роз}=K_{роз}\ b_{роз}\ h_{роз},$$

де $W_{роз}$ – опір ґрунту розпушуванню;

$W_{рух}$ – опір руху розпушника по опорній поверхні;

$K_{роз}$ – питомий опір ґрунту розпушуванню, (категорія I – 24,5 кПа, категорія II – 58,9 кПа, категорія III – 98,1 кПа, категорія IV – 137,3 кПа; для мерзлих ґрунтів – табл. 2. 4);

$b_{роз}$ – ширина полоси розпушування;

$h_{роз}$ – глибина розпушування.

Таблиця 2.4

Питомий опір мерзлих ґрунтів розпушуванню, кПа

Ґрунт	**При вологості 10÷17% і температурі:**				
	-1°С	-3°С	-5°С	-10°С	-15°С
Важка супісь	4900	6400	9800	15700	18100
Суглинок	3500	3700	3900	4400	4900
Глина	3900	8300	11300	16700	19600

2.4.4. Питання для самоперевірки

1. За якими ознаками класифікують розпушники?
2. Перерахуйте типи розпушувального обладнання.
3. Опишіть конструкцію розпушувального зуба.

4. Перерахуйте схеми та опис розрахункових положень.

5. З яких операцій складається робочий цикл розпушника?

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.3-4:2015, 2015

2. Машини для земляних робіт: Навчальний посібник / Хмара Л.А., Кравець С.В., Нічке В.В., Назаров Л.В., Скоблюк М.П., Нікітін В.Г. Під загальною редакцією проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. Рівне-Дніпропетровськ-Харків. – 2010. – 557 с.

3. Машини для земляних робіт: підручник / Баладінський В.Л., Гаркавенко О.П., Кравець С.В. та ін. – Рівне: РДТУ, 1999. – 288 с.

4. Машини для земляних робіт. Приклади розрахунку : навч. посібник для студ. спец. «Підйомно-транспортні, будівельні і дорожні машини та обладнання» / Ю.О. Вєтров, В.В. Власов ; ІСДО, Київський технічний ун-т будівництва та архітектури. – К. : 1995. – 304 с.

5. Наукові основи створення високоефективних землерийно-транспортних машин / Кириченко І.Г., Назаров Л.В., Нічке В.В. та ін.; під ред. І.Г. Кириченка. – Х: ХНАДУ, 2003. – 588 с.

6. Синтез землерийної і дорожньої техніки: підручник / За ред. д.т.н., проф. М.К. Сукача. – К: Видавництво Ліра-К, 2017. – 376 с.

7. Якименко О.В. Земляні роботи : навч. посібник / О.В. Якименко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. – 157 с.

8. Режим доступу: http://um.co.ua/11/11-6/11-68894.html

ЗМІСТ

1. Загальні відомості……3
1.1. Основні види земляних робіт у будівництві……..3
1.2. Об’єкти транспортного будівництва……..4
1.3. Екологічні аспекти будівництва та експлуатації транспортних споруд……....9
1.4. Відомості про ґрунти……..10
1.5. Фізико-механічні властивості ґрунтів……..10
1.6. Способи розробки ґрунтів……11
1.7. Типи робочих органів машин для земляних робіт……..14
1.8. Опір ґрунтів різанню та копанню……15
1.9. Класифікаційні ознаки землерийних машин……...20
1.10. Основні параметри землерийних машин……24
1.11. Основи тягового розрахунку землерийних машин……...27
1.12. Тенденції розвитку машин для земляних робіт……31
1.13. Питання для самоперевірки……32
2. Машини для підготовчих земляних робіт……...32
2.1. Кущорізи пасивної дії……32
2.1.1. Класифікаційні ознаки……32
2.1.2. Конструкція……..33
2.1.3. Розрахунок конструктивних і експлуатаційних параметрів……...34
2.1.4. Питання для самоперевірки……39
2.2. Корчувальники важільного типу……...40
2.2.1. Класифікаційні ознаки……40
2.2.2. Конструкція……..40
2.2.3. Розрахунок конструктивних та експлуатаційних параметрів……41
2.3. Корчувачі-збирачі……...42
2.3.1. Класифікаційні ознаки……42
2.3.2. Конструкція……..43
2.3.3. Розрахунок конструктивних і експлуатаційних параметрів……...44
2.3.4. Запитання для самоперевірки……46
2.4. Розпушники……46

2.4.1. Класифікаційні ознаки……46
2.4.2. Конструкція……..47
2.4.3. Розрахунок конструктивних і експлуатаційних параметрів……...52
2.4.4. Питання для самоперевірки……56
Література……...58