

Тема 2. Особливості виконання земляних робіт

2.1. Загальні положення

При будівництві об'єктів різного призначення виконуються значні обсяги земляних робіт, які пов'язані з розробкою, переміщенням і вкладанням ґрунтів та наданням їм певних властивостей. Земляні споруди, що є результатом виконання земляних робіт бувають постійними та тимчасовими (рис. 2.1).

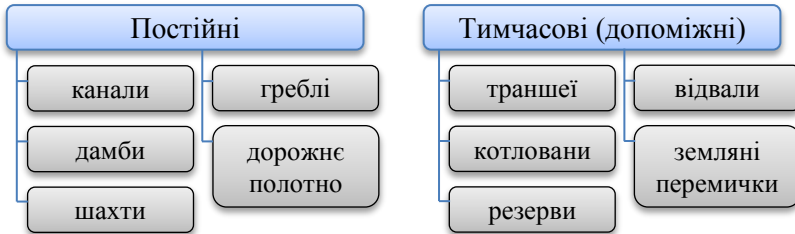


Рис. 2.1. Групи земляних споруд

Залежно від розміщення споруди відносно поверхні землі розрізняють насипи, виїмки та їх комбінації напіввиїмки та напівнасипи (рис. 2.2).

Земляні споруди значної протяжності – канали, дамби, земляні греблі, дорожнє полотно, резерви та кавальєри називають лінійними [3].

Канали – це відкриті, штучно створені водопровідні споруди, призначені для подачі води на безводні території (зрошувальні або обводнювальні канали), або для відводу надлишкової води з перезволожених територій (осушувальні канали) [4].

Греблі – *якісні насипи* висотою від 3 – 8 м та більше і довжиною від кількох десятків метрів до кількох кілометрів. Якісний насип – насип, що володіє хоча б однією з наступних властивостей: статично стійкий проти дії напору води; тривалий час зберігає проектну величину коефіцієнта фільтрації; в процесі експлуатації дає осадку в межах допустимої величини; укоси стійкі та захищені від дії хвиль, льоду, вітрової ерозії, є гарне сполучення з основою і водопровідними спорудами. Будівельним матеріалом для відсипання гребель служать ґрунти кар'єрів.

Кар'єри – концентровані виїмки з видобутку будівельних матеріалів.

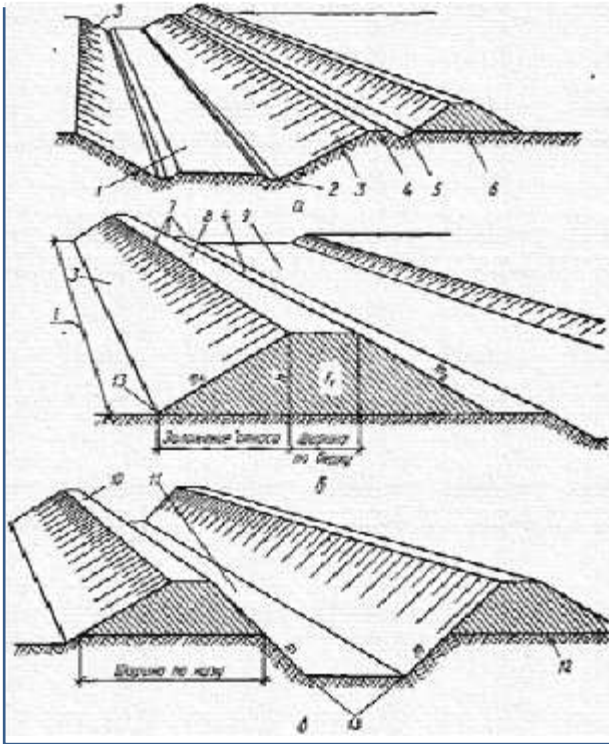


Рис. 2.2. Види земляних споруд та їх елементи:

- а – виїмка;
- б – насип;
- в – канал у напівна-
сипу;
- 1, 11 – дно виїмки;
- 2, 5 – водовідвідні
канави;
- 3 – укіс; 4 – берма;
- 6 – кавальєр;
- 7 – брівка;
- 8, 10 – гребінь наси-
пу;
- 9 – резерв;
- 12 – підшва насипу;
- 13 – підшва відкосу;
- m_1, m_2, m_3 – похил
укісів; F – площа
поперечного перері-
зу; h – глибина ви-
їмки, висота насипу;
- l – довжина насипу.

Дамби, вали – якісні насипи, що захищають землі від затоплення паводковими водами. Ґрунти для їх відсіпання беруть з резервів, розташованих зазвичай вздовж дамб і валів.

Резерв – місце розробки відсутнього ґрунту для насипу.

Траншеї – виїмки значної довжини шириною менше 3 м Влаштовуються для прокладання в них дренажу, трубопроводів, стрічкових фундаментів, кабелів.

Котловани – виїмки шириною більше 3 м, призначені для зведення в них підземних частин споруд.

Шурф (зумпф, колодязь) – виїмка з розмірами в плані меншими, ніж по глибині.

Відвал – насип із зайвого ґрунту, що не має правильної форми.

Кавальєр – насип правильної форми з зайвого ґрунту.

В водоутримуючих (напірних) насипах розрізняють *верховий*, або *мокрій* (з боку верхнього б'єфу), ті *низовий*, або *сухий* (з боку

нижнього б'єфу), укоси.

Насипи є *профільні* (якісні) та *непрофільні* (постійні та тимчасові відвали і кавальєри, зворотні засипки).

2.2. Основні властивості та будівельна класифікація ґрунтів.

Гірські породи і ґрунти, що складають верхню частину землі, називаються ґрунтами. У будівництві ґрунти служать основою для споруд, середовищем для їх влаштування і будівельним матеріалом. Усі ґрунти умовно можна розділити на дві групи: тверді і м'які. Тверді ґрунти бувають скельні і напівскельні. До скельних ґрунтів відносяться граніти, піщаники, вапняки та інші ґрунти, що мають жорсткий зв'язок між частками. Якщо твердий ґрунт у водонасиченому стані руйнується від навантаження 50 кг/см^2 і менш або розм'якшується і розчиняється у воді, то він називається напівскельним. До таких ґрунтів відносяться мергель, рихлі піщаники, гіпс та ін. [4].

М'які ґрунти, які частіше зустрічаються у природі, поділяються на сипучі (гравій, пісок) і зв'язні (глина, суглинок, лес, торф). Вони складаються з трьох основних складових частин: твердих мінеральних часток (зазвичай більше 50% за об'ємом), рідини і газів. Властивості ґрунтів залежать від кількісного вмісту в них цих частин.

Для визначення і оцінки властивостей ґрунтів використовується ряд фізичних характеристик, які розділяються на основні і похідні.

Основні характеристики ґрунту – це гранулометричний (механічний) склад, щільність, вагова вологість. Їх визначають дослідним шляхом в лабораторіях.

Похідними характеристиками ґрунтів є щільність скелета ґрунту, пористість, міра вологості. Їх можна розрахувати за формулами, знаючи основні характеристики ґрунтів.

Гранулометричний склад ґрунту характеризує відсотковий вміст за вагою ґрунтових часток різної величини в одиниці об'єму ґрунту.

За розміром (діаметром d) ґрунтові частинки прийнято поділяти на наступні фракції:

більше 200 мм	валуни і камені
від 20 до 200	галька і щебін
від 5 до 20	гравій
від 0,05 до 5.....	пісок

від 0,005 до 0,05..... піл
менше 0,005..... глина

У природі ґрунти можуть складатися зі змішаних фракцій. Тоді міняється і назва ґрунтів. Вони можуть називатися гравійно-піщані, супіщані, суглинні, глини з валунами і з гравієм і т. д.

Властивості ґрунтів багато в чому залежать від вмісту в них тої чи іншої фракції. Кількість кожної фракції в ґрунті прийнято виражати у відсотках як результат ділення ваги фракції на вагу усього скелета ґрунту в одиниці об'єму.

Глинисті ґрунти класифікують за утриманням в них частинок розміром менше 0,005 мм (в % маси сухого ґрунту): глина - 30; суглинок - 30...10; супісок - 10...3.

Головними будівельними властивостями ґрунтів, що впливають на стійкість земляних споруд, трудомісткість і вартість земляних робіт є кут природного укосу, щільність, вологість, зчеплення, міцність, розпушеність [1].

Кут природного укосу φ - це кут, утворений похилою поверхнею (укосом) насипаного ґрунту і горизонтальною площиною, котрий знаходиться в стані критичної рівноваги. Його значення залежить від кута внутрішнього тертя, сил зчеплення між частинками та тиску верхніх шарів ґрунту. В сухого піску кут природного укосу складає 25...30°, супіску – 30...35°, суглинку – 40...50°, глині – 45...50°.

Враховуючи кут природного укосу ґрунту визначається крутизна укосів земляних споруд, котра виражається відношенням висоти укосу h до його закладення a :

$$\operatorname{tg} \alpha = h/a = 1/(a/h) = 1/m, \quad (2.1)$$

де m – коефіцієнт закладення укосу.

Найбільша допустима крутизна укосів виїмок і насипів в залежності від глибини (висоти) та виду ґрунту визначається будівельними нормами.

Щільність ґрунтів ρ – це маса одиниці об'єму ґрунту, включаючи масу води в його порах.

Вологість ґрунтів ω – це ступінь насичення ґрунту водою. Виражається відношенням маси води в ґрунті до маси сухого ґрунту в долях одиниці або процентах. Так ґрунти при вологості до 5% вважаються сухими, при вологості 5...30% - вологими, понад 30% - мокрими.

Знаючи приведені величини, розрахунком можна визначити фізичний стан ґрунту (табл. 2.1), де ρ_s – щільність частинок ґрунту (залежить від мінералогічного складу частинок); ρ_w – щільність води.

Міцність ґрунтів характеризується їх здатністю чинити опір зовнішньому силовому впливу. Зчеплення визначається початковим опором зрушенню і залежить від виду ґрунту та ступеня його вологості.

Розпушеність - здатність ґрунту збільшуватися в об'ємі при його розробці в порівнянні з об'ємом в природному стані; характеризується коефіцієнтами початкового і залишкового розпушення.

Таблиця 2.1

Визначення характеристик фізичного стану ґрунту [1]

№п /п	Назва показника	Розрахункова формула
1	Щільність сухого ґрунту	$\rho_d = \rho / (1 + \omega)$. (2.2)
2	Шпаруватість	$n = (1 - \rho_d / \rho_s) 100$. (2.3)
3	Коефіцієнт шпаруватості	$\varepsilon = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d$. (2.4)
4	Ступінь вологості	$S = \omega \rho_s / \varepsilon \rho_w$. (2.5)

Коефіцієнт початкового розпушення K_p – це відношення об'єму розпушеного ґрунту до його об'єму в природному стані. Для піщаних ґрунтів він складає 1,1...1,17, глинистих – 1,18...1,3, скельних – 1,3...1,5.

Коефіцієнт залишкового розпушення $K_{z,p}$ – це відношення об'єму розпушеного ґрунту після його ущільнення до об'єму в природному стані. Для піщаних ґрунтів цей коефіцієнт складає 1,02...1,05, для суглинистих – 1,03...1,09, скельних – 1,15...1,3.

Фізичні властивості ґрунтів визначають їх основну якість – складність розробки, яка покладена в основу класифікації ґрунтів у будівельному виробництві. ДБН Д.2.2-1-99 на земляні роботи ґрунти розділені на групи залежно від виду застосованих засобів механізації (додаток 1). Спосіб виконання робіт і режими роботи машин вибираються залежно від властивостей ґрунту і його вологості.

У виробничих нормах ґрунти розподілені на групи залежно від їх

стану (талиий, мерзлий) і способу розробки (ручний, механізований) (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Групи ґрунтів залежно від способу розробки [1]

Спосіб розробки	Ґрунти		
	незв'язні і зв'язні, що розроблюються без розпушення	щільні зв'язні і напівскельні, які потребують розпушення	скельні, що розроблюються після розпушення
Вручну	I - III	IV	V – XI
Землерийними машинами	I - III	IV - VI	VI після розпушення вибухом
Гідро-механізацією	I - III	-	-

2.3. Підготовчі роботи та розмічування земляних споруд

Перед початком земляних робіт будівельний майданчик, або територію будівництва очищують від деревинно-чагарникової рослинності, пнів та великого каміння.

Після проведення розчищення проводиться винесення проекту в натуру (розмічувальні роботи). При розмітці розташовують на місцевості і закріплюють опорними знаками точки плану, координати і відмітки яких задані проектом споруди. Розрізняють *планове* і *висотне* розмічування. Розмічування виконують наступним чином: спочатку переносять в натуру осі споруди (основні розмічувальні роботи), а далі роблять детальне робоче розмічування, тобто переносять в натуру і закріплюють розмічувальними знаками усі точки та розміри споруд. Розмітку осей споруд ведуть від опорних пунктів геодезичної мережі, встановлених на місцевості в період геодезичної зйомки. Детальну розмітку ведуть від закріплених на місцевості осей споруди. Усі розміри при розмітці переносять з плану на місцевість – але не на похилу поверхню землі, а в горизонтальному положенні [3].

Роботи з розмітки мають велике значення і від ретельності їх виконання значною мірою залежить якість будівництва.

Необхідна точність розмітки залежить від типу, призначення і матеріалу споруди (наприклад, для земляних споруд відхилення, що допускаються, в плані складають 0,05, а по вертикалі — 0,01м).

На основі опорних і знаків розмітки безпосередньо перед початком будівництва на кожній ділянці виконують робочу розмітку земляних робіт, встановлюють планове і висотне положення елементів земляних споруд, кавальєрів і резервів, закріплюючи знайдені на місцевості точки тимчасовими знаками розмітки. Вихідними даними служать план, подовжній і поперечний профілі споруди, а також відомості(виписки), що складаються перед робочим розмічуванням, в які додатково вносять дані з робочих креслень(ширина каналів по верху, ширина дамб і земляних гребель по основі, ширина подушок по верху і основі, ширина резервів і кавальєрів).

Робоче розмічування лінійних виїмок і насипів виконують однаковими методами. Після перевірки правильності винесення подовжньої осі, пікетних і плюсових точок на ній і відновлення відсутніх кілочків на точках розмічають поперечники по перпендикулярах до осі. Поперечні профілі каналів розбиваються через кожні 50 м на прямих ділянках траси і через кожні 20 м на закругленнях і на усіх плюсових точках Прямі кути будують теодолітом, а при простому розбитті гоніометром і еккером, напрями поперечників закріплюють тимчасово вішками. По провішених поперечниках роблять розмітку. За відсутності поперечного ухилу місцевості в обидві сторони від осьового кілочка послідовно відкладають півширину виїмки по дну(чи насипу – по верху) і потім півширину її по верху (насипу – по основі). У відмічених на поверхні землі точках поперечника забивають кілки з відповідними написами. Для відмірювання відстаней користуються сталевією стрічкою При поперечному розмічуванні виїмок або насипів на узгір'ї з одноманітним поперечним ухилом, величина якого відома, горизонтальні відстані від осі до бровки укусу виїмки або підшви укусу насипу беруться з поперечних профілів. При значних поперечних розмірах насипу або виїмки розмічування поперечників можна виконувати мірною стрічкою, встановлюючи її в горизонтальне положення на око (при ретельному виконанні роботи кутова помилка не перевищує $\pm 2^0$, а лінійна похибка – 10 см). Стрічку необхідно натягувати, щоб не допускати

її провисання.

Провівши розмічування усіх поперечників ділянки насипу або виїмки, їх крайні точки закріплюють кілками, проводять плугом контурні борозни, виконують винесення осьових точок за межі робочої зони. На поворотах осі виїмки розбивають кругові криві способами координат або продовжених хорд.

Особливості проведення розмічування при виконанні земляних робіт машинами. Щоб не заважати роботі будівельних машин, опорні знаки і знаки розмітки, що закріплюють на місцевості положення трас і основних осей споруд, а також висотні репери виносять за межі робочої зони виїмок і насипів.

При розмічуванні враховують типи землерийних машин і механізмів. При механізованому виконанні земляних робіт кілки розмітки замінюють високими вішками, що здалеку добре видно машиністу. При розробці широких виїмок встановлюють додаткові вішки по осях крайніх проходів машин на кожному повороті траси (а на прямих ділянках не менше, ніж через 100 м).

При роботі екскаватора вішки встановлюють у виїмках по осях забоїв в створах руху екскаваторів. Вішками також позначають повороти траси невеликих каналів і траншей при розробці їх багатокішчевими екскаваторами і каналокопачами. Якщо лінія руху машин не співпадає з віссю виїмки, що розробляється, або споруджуваного насипу (наприклад, при будівництві каналу однокішчевими екскаваторами за поперечною схемою), лінія ставиться по осі проходу тягового трактора або землерийної машини. У всіх вказаних випадках обов'язково виносити пікетаж по осі лінійної споруди в сторону, за межі робочої зони.

При роботі землесосних снарядів вісі прокопів, їх ширину, довжину і вісь ходу снарядів означають береговими створовими знаками а також буйками, високими вішками, що надійно закріплюються щоб не змістити під час виконання робіт.

2.4. Види земляних робіт та способи їх виконання

Під час будівництва земляних споруд виконуються різні види будівельних процесів, зокрема, процеси, які пов'язані з переробкою ґрунту і одержанням будівельної продукції називають **основними**:

- розробка ґрунту, а при необхідності його розпушення;
- переміщення ґрунту у відвали, насипи і зворотні засипки;

- пошарове розрівнювання та ущільнення ґрунту;
- доведення земляної споруди до проектних розмірів;
- планування площ.

Вказаним будівельним процесам передують так звані *підготовчі процеси*, що виконуються на початку освоєння будівельного майданчика:

- винесення проекту в натуру та геодезичне розмічування;
- розчищення території в межах відводу землі під забудову (зрізання та видалення деревинно-чагарникової рослинності, прибирання каміння, очищення від снігу та льоду та ін.);
- перекладання інженерних комунікацій;
- обладнання тимчасовими будівлями та спорудами;
- забезпечення будівництва тимчасовими інженерними комунікаціями - водопостачання, енергопостачання, зв'язок, тимчасові дороги.

Основні будівельні процеси супроводжуються *допоміжними*, які виконуються для забезпечення нормальних умов виконання основних процесів та вимог техніки безпеки і залежать від конкретних умов будівельного майданчика. Зокрема, при необхідності, виконується видалення води з виїмок, зниження рівня ґрунтових вод, укріплення стінок траншей і котлованів, стабілізація ґрунтів (створення водонепроникних завіс, підвищення несучої здатності).

Земляні роботи виконуються різними машинами та механізмами залежно від групи ґрунтів, розмірів виїмок та прийнятого способу виконання робіт.

Ґрунт транспортують скреперами, бульдозерами, грейдерами, автосамоскидами, тракторними причепами, залізничним і гідравлічним транспортом.

Ґрунт в насипи укладають бульдозерами, скреперами, однокішчевими екскаваторами. Насипи ущільнюють котками, вібраційними і трамбуючими машинами, гідравлічним способом; розпушення проводять розпушувачами різних типів і вибухами; розрівнювання – бульдозерами і грейдерами; зволоження – автоцистернами, поливальними машинами; планування – бульдозерами, скреперами, грейдерами та планувальниками.

2.5. Визначення обсягів земляних робіт

Обсяги земляних робіт розраховують для визначення кошторисної вартості споруд, складання календарних планів і технологічних карт, визначення часу роботи машин і робітників. Обсяги земляних робіт визначають за формулами об'ємів геометричних тіл, до яких призводять споруди або їх частини. Розрахунки проводяться для ґрунту в щільному тілі, тобто в стані природної щільності [3].

Розрізняють проектні та виробничі обсяги земляних робіт. Проектні (профільні або геометричні) обсяги встановлюють за проектними кресленнями споруд, тобто за їх геометричними розмірами. Для споруд в насипу і напівнасипу (рис. 2.2, а і б) проектний об'єм розраховується за геометричними розмірами насипних частин з додаванням об'ємів заміщення зрізання рослинного шару під якісними насипами.

Необхідна точність обчислення проектних об'ємів земляних робіт наступна:

Обсяг робіт	до 1000 м ³	1000...10000 м ³	понад 10000 м ³
точність	до 1 м ³	до 10 м ³	до 100 м ³

Виробничі (робочі) обсяги визначають для всіх земляних робіт, які фактично виконуються на будівництві, з врахуванням всіх переміщень ґрунту (наприклад, для земляної дамби встановлюють об'єми насипу, резерву, підготовки основи, розрівнювання і ущільнення ґрунту, планування верха, укосів і т. д.). Окремо розраховують обсяги виїмок і насипів, що виконуються різними машинами (наприклад, верхня частина виїмки каналу виконана скрепером, нижня - екскаватором), з поділом ґрунтів за групами, їх вологості, розрахунковими відстанями переміщення ґрунту (при роботі скреперів, бульдозерів, грейдерів) і т. п. Значення виробничих обсягів використовують при нормуванні робіт при їх обмірі і прийманні від бригад, при складанні нарядів, технологічних карт і календарних графіків робіт.

При визначенні об'єму ґрунту, що підлягає розробці і доставці з кар'єру, резерву або проектною виїмки в якісні насипи (греблі, подушки, дамби), враховують коефіцієнти ущільнення, усадки і втрати ґрунту при транспортуванні.

Необхідна точність обчислення робочих обсягів – до 1 м³ (1м²),

точність обчислення проміжних величин – до 0,01 м для лінійних розмірів, до 0,1 м³ і 0,1 м² – для обсягів і площ.

Обсяг котловану з похилими стінками

$$V = \frac{h}{6} [ab + a_1b_1 + (a + a_1)(b + b_1)], \quad (2.6)$$

де a і b – ширина і довжина котловану поверху; a_1 і b_1 – те ж, по ну; h – глибина котловану.

Обсяг лінійної насипу чи виїмки для гідротехнічних споруд:

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} \ell, \quad (2.7)$$

де F_1 і F_2 – площі сусідніх поперечних перерізів (рис. 2.1, б); ℓ – відстань між двома поперечними профілями.

Площі поперечних перерізів обчислюються на кожній точці перелому рельєфу по трасі споруди (на кожному пікеті і плюсовій точці).

Баланс ґрунтових мас – служить основним технічним документом в якому встановлені: 1) порядок і місце розміщення ґрунту з виїмок в насипи; 2) потреба в кар'єрах і резервах; 3) найкоротший шлях переміщення ґрунту з виїмок в насипи [4].

При складанні балансу ґрунтових мас необхідно зробити так, щоб кожен 1 м³ ґрунту з ділової виїмки, по можливості, повністю використати для зведення якісних насипів, тобто щоб робоча кубатура ґрунту виходила вдвічі менше профільної.

Однак виконання цієї умови ускладнюється причинами:

- не всі ґрунти з ділових виїмок придатні для якісних насипів;
- терміни розробки ґрунту в виїмках не завжди збігаються з терміном зведення насипів;
- деякі ділові виїмки так далеко розташовані від якісних насипів, що для останніх вигідніше брати ґрунт з кар'єрів або резервів.

Прийнято наступний порядок складання балансу ґрунтових мас.

У відомість балансу ґрунтових мас записують обсяги якісних насипів і ділових виїмок. Обсяги непридатних ґрунтів виписують в графу «Постійні відвали».

Встановлюють напрямок переміщення ґрунту з виїмок в насипи з урахуванням терміну розробки, відсипання і якості ґрунту.

З обсягу якісних насипів віднімають об'єми придатного ґрунту з ділових виїмок і отримують необхідний об'єм ґрунту з кар'єрів або резервів для якісних насипів.

Встановлюють технологічну послідовність виконання робіт,

ув'язану з термінами їх виробництва. Якщо ґрунт з ділових виїмок не можна відразу укласти в якісних насип, то його укладають у тимчасові відвали.

2.6. Продуктивність землерийних машин та шляхи її підвищення

Продуктивністю машини – це робота, що виконує машина в одиницю часу ($\text{м}^3/\text{годину}$, $\text{м}^2/\text{годину}$).

Продуктивність землерийних машин залежить від наступних чинників [4]:

незмінні: - від конструктивних особливостей машини (потужності двигуна, конструкції робочого органу, швидкості переміщення, системи управління, надійності машини та зручності її обслуговування);

змінні: - від виробничих умов. Для всіх машин - типу споруди, виду роботи і атмосферних умов. Для окремих машин, приміром для самохідних - рельєф місцевості і якість доріг; для землерийних машин - група ґрунту, висота вибою, дальність переміщення ґрунту і т. д.;

- кваліфікації і майстерності машиністів, підтримання машини в робочому стані;

- організації і технології виконання робіт: застосуванні поточних методів в організації робіт, забезпечення машин фронтом робіт, будівельними і паливно-мастильними матеріалами, правильне комплектування машин за робочими параметрами, за продуктивністю, підбору кількості робочих змін упродовж доби і т. д.

При збільшенні продуктивності машин суттєвим чинником є скорочення тривалості і кількості перерв у їх роботі. Причини перерв в роботі машини можуть бути різні:

- технологічна необхідність (очікування зниження рівня води по трасі каналу або котловану, очікування в ході зволоження або підсушування ґрунту, при його вкладанні в греблю або дамбу, очікування надходження на завантаження транспортних засобів при роботі екскаватора, перехід на іншу ділянку або переміщення в заборі т. д.);

- організаційні причини (відсутність паливно-мастильних матеріалів, відсутність фронту робіт, відсутність узгодженості в роботі машин, низька дисципліна праці робітників, несвоєчасне і погане

технічне обслуговування машин);

- випадкові причини (сильний дощ, мороз, вітер, вихід машини з ладу, хвороба машиніста і т. д.).

Розрізняють три види продуктивності машин - конструктивну, технічну та експлуатаційну.

Конструктивна продуктивність характеризує конструктивні можливості машини і застосовується для порівняння варіантів машин при їх проектуванні. При її розрахунку враховують конструктивні особливості машин: параметри і швидкості руху робочих органів, потужність двигуна, швидкість пересування машини. При цьому не враховуються технологічні і організаційні перерви, кваліфікацію машиніста, особливості технічного обслуговуванні машини, вплив шуму і вібрації в кабіні на стомлюваність машиніста і т. д.

$$P_k = 60 \cdot q \cdot n, \text{ м}^3/\text{год}; \quad (2.8)$$

де q – геометричний обсяг ковша екскаватора, скрепера, або обсяг призми ґрунту перед відвалом бульдозера;

q – кількість циклів роботи машини за 1 хвилину;

60 – кількість хвилин в годині.

Технічна продуктивність характеризує технічні можливості машини в конкретних виробничих умовах. Крім конструктивних властивостей машини, при її розрахунку враховуються: умови виконання робіт (група ґрунту, висота вибою, коефіцієнт наповнення ковша, кут повороту, дальність переміщення і т. д.) і технологічні перерви в роботі. Як і в конструктивній не враховуються організаційні перерви. Технічна продуктивність застосовується для порівняння машин між собою і використовується для розрахунку експлуатаційної продуктивності машини. Чисельно вона дорівнює обсягу роботи, виконаної за 1 год. робочого часу в конкретних виробничих умовах.

$$P_m = P_k \cdot K_n = 60 \cdot q \cdot n \cdot K_n, \text{ м}^3/\text{год}; \quad (2.9)$$

де K_n – коефіцієнт наповнення ґрунтом робочого органу машини;

$q \cdot K_n$ – об'єм ґрунту, який переміщується робочим органом машини за один цикл.

Експлуатаційна продуктивність на відміну від технічної визначається з урахуванням організаційних перерв в роботі машини (простої для заправки машин паливо-мастильними матеріалами, водою, перерви в роботі через зміну вибоїв, робочого обладнання, перерви для відпочинку машиніста і т. д.), які характеризуються

коефіцієнтом використання машини.

На відміну від конструктивної і технічної продуктивності, які обчислюють за 1 год. роботи машини, експлуатаційну продуктивність розраховують і за 1 год. роботи, і за зміну, місяць, рік.

При розрахунку експлуатаційної продуктивності враховуються всі технологічні, організаційні та випадкові простой машини.

$$P_e = P_m \cdot K_e = 60 \cdot q \cdot n \cdot K_n \cdot K_e, \text{ м}^3/\text{год}; \quad (2.10)$$

де K_e - коефіцієнт використання машини в часі упродовж зміни.

Експлуатаційна продуктивність використовується для розробки проектів виконання робіт, організаційно-технічних заходів з виконання планів робіт, розробки календарних планів будівництва.

В будівництві також використовуються:

- **річна директивна норма виробітку** встановлюється на середньоспискову машину даного типу, що знаходиться на балансі в будівельній організації (наприклад, весь парк однокішових екскаваторів поділено на групи за ємкістю ковша, і відповідно на ці групи даються директивні норми річного виробітку). Директивні норми річного виробітку машин встановлюються на основі аналізу звітних даних будівельних організацій про використання машин за попередній рік і затверджуються Мінрегіонбудом України.

- **розрахункова експлуатаційна річна продуктивність** визначається за формулою

$$P_{e.pik} = N \cdot P_m K_{e.pik}, \quad (2.11)$$

де P_m - технічна продуктивність, $\text{м}^3/\text{год.}$;

N - розрахункова кількість годин роботи машини упродовж року;

$K_{e.pik}$ - коефіцієнт використання машини в часі упродовж року.

В будівництві реалізуються наступні **шляхи підвищення продуктивності машин**.

Загальні (для всіх землерийних машин): підвищення коефіцієнта використання машини упродовж зміни за рахунок ліквідації організаційних і технологічних перерв; організація багатозмінної роботи; ліквідація сезонності в роботі машин; використання машин за прямим призначенням; підвищення кваліфікації машиністів; своєчасне і якісне проведення планово-попереджувальних ремонтів, правильна організація технічного обслуговування машин і як наслідок підтримка високого технічного стану машин; створення спеціальних бригад технічного обслуговування механізмів, що працюють з виїздом на об'єкти за строго встановленими графіками; розпушування

важких ґрунтів, очищення робочих органів від налипають ґрунтів, попереднє осушення водонасичених ґрунтів і вибоїв, полив до оптимальної вологості пересушених.

Індивідуальні шляхи підвищення продуктивності (індивідуальні для кожного типу машин і моделей) пов'язані з пристосуванням робочих органів машин до виконання конкретних видів робіт, а також прийомів, що полегшують виробництво робіт у вибоях, для скорочення тривалості циклу.

Для **однокішневих екскаваторів** це: суміщення окремих робочих рухів у циклі (підйом ковша і поворот до місця вивантаження, поворот і опускання ковша); робота з найменшим кутом повороту стріли; при роботі в транспорт ємність кузовів повинна бути рівною 5-7 ємкостям ковша екскаватора; застосування змінних ковшів в ґрунтах різних груп.

Для **багатокішневих екскаваторів**: належна настройка екскаватора (вибір правильного співвідношення між розмірами виїмки, швидкістю руху ковшів і робочою швидкістю переміщення самого екскаватора).

Для **скреперів**: скорочення циклу (правильно вибрати робочу схему руху скрепера в конкретних умовах, проводити набір ґрунту під ухил до 20 °, вибір траси дороги з нахилами, що забезпечують найбільші швидкості руху скрепера); використання штовхача на важких ґрунтах, застосування раціональних прийомів зарізу ґрунту (уступами, шахматно-гребінчасте).

Для **бульдозерів**: застосування спеціальних бічних шік, уширювачів до відвалів, спеціальних відвалів ящикової форми; переміщення ґрунту при паралельному русі одночасно двома-трьома машинами на відстані 0,3-0,5 м одна від одної; розробка та переміщення ґрунту в траншеях, які нарізаються на відстані 0,5 м одна від одної, з наступним видаленням перемичок; влаштування на початку робіт поперечної траншеї на глибину до 1 м, а перпендикулярно їй - поздовжньої траншеї, подальша розробка ведеться шляхом зрізання ґрунту боковим краєм відвалу зі стінки подовжньої траншеї з постійним її розширенням (напівблоковане різання).

Для **грейдерів**: збільшення ширини захвату і глибини різання, застосування подовжувачів відвалу на легких ґрунтах; зменшення числа холостих проходів і поворотів шляхом збільшення довжини гону до 500-1000 м; застосування найбільших робочих швидкостей

переміщення машини.

Для *канавокопачів*: нарізка осушувачів до будівництва каналів вищого порядку; застосування робочих ходів в обох напрямках.

Тема 3. Виконання земляних робіт одноківшевими та багатоковшевими екскаваторами

В будівництві поширене використання екскаваторів для виконання земляних робіт. Зокрема ними виконується до 60% обсягів земляних робіт в гідротехнічному та меліоративному будівництві. Пояснюється це тим, що екскаватори є найбільш універсальними землерийними машинами, які можуть виконувати багато видів робіт, як результат різноманіття видів робочого та ходового обладнання, типорозмірів та потужності. Тому екскаватори є загальнобудівельними машинами.

3.1. Розробка ґрунту одноківшевими екскаваторами

Одноківшеві екскаватори класифікують за такими ознаками:

за видом робочого обладнання - пряма чи зворотна лопата, драглайн, грейфер; *типу ходового оснащення* - автомобільні, пневмоколісні, гусеничні, крокуючі; *системою управління* - механічні, гідравлічні, пневматичні, електричні; *місткістю ковша* - 0,15; 0,25; 0,4; 0,5; 0,65; 1,0; 1,25; 1,6; 2,5 м³.

На сьогодні діє наступна структура індексу одноківшевих універсальних екскаваторів (рис.3.1).

Екскаватори з гідравлічним приводом робочого органу порівняно з механічним мають підвищену на 15...20% продуктивність праці, ефективніші при розробці щільних і мерзлих ґрунтів.

Пряма лопата з поворотним ковшем в основному застосовується на екскаваторах 4 – 6 розмірних груп і призначена для розробки ґрунту як вище (переважно), так і нижче рівня свого стояння і найчастіше працюють з завантаженням в транспортні засоби. Сфера застосування – кар’єрні екскаватори. На заміну екскаваторам на навантажувальних роботах в більшості випадків використовуються фронтальні навантажувачі, які більш універсальні, маневрені та продуктивніші.

Зворотна лопата є найбільш поширеним видом робочого обладнання гідравлічних екскаваторів і використовується для розробки виїмок нижче рівня стояння екскаватора (розробка траншей і котлованів з навантаженням в транспортні засоби, або у відвал).

Екскаватори з робочим обладнанням **драглайн** призначені для розробки ґрунту в каналах, котлованах з вивантаженням його у відвал, насип чи в транспортні засоби.



Рис. 3.1. Структура індексу одноківшевих універсальних екскаваторів

Екскаватори з робочим обладнанням **грейфер** використовують при роботах в стиснутих умовах при ремонті або реконструкції будівель та споруд, влаштування глибоких виїмок (наприклад, колодязів), котлованів під опори, розробці глибоких (до 20м) вузьких траншей, зворотній засипці ґрунту, при вантажно-розвантажувальних роботах.

На гідравлічних екскаваторах встановлюють жорстко підвішені грейфери, у яких необхідний тиск на ґрунт при врізанні створюється примусово за допомогою гідроциліндрів робочого обладнання. Це дозволяє ефективно розробляти щільні ґрунти незалежно від ма-

си грейфера.

Навантажувальне обладнання застосовують для вантаження сипких і дрібнокускових матеріалів вище стояння екскаватора, розробки і вантаження в транспортні засоби (або відсипання у відвал) ґрунтів I і II категорій, а також для планувальних робіт на рівні стоянки машини. Місткість ковша навантажувача в 1,5 ... 2 рази більше місткості ковша зворотної лопати, що значно підвищує продуктивність екскаватора при використанні його на навантажувальних роботах.

Робота одноківшового екскаватора має циклічний характер. Робочий цикл складається з наступних операцій: набір ґрунту, підйом ковша, поворот стріли, вивантаження ґрунту, поворот стріли, опускання ковша.

Екскаватор працює у вибої. **Вибій** - це робоча зона екскаватора де знаходиться місце його стояння, з якого розроблюється масив ґрунту. Послідовне переміщення екскаватора при розробці ґрунту з одного місця стояння до наступного називають проходкою.

3.1.1. Розробка ґрунту екскаватором з робочим обладнанням пряма лопата

Робота екскаваторів з робочим обладнанням пряма лопата характеризується такими параметрами:

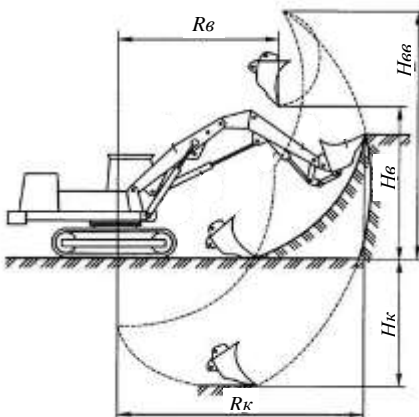


Рис.3.2. Робочі параметри екскаватора пряма лопата

$R_к$, $H_к$ – найбільший радіус і глибина копання; $R_в$, $H_в$ – найбільший радіус і висота вивантаження; $H_вс$ – найвища точка ножа ковша (рис. 3.2).

При роботі екскаватора, обладнаного прямою лопатою, розпізнають два види вибоїв: лобовий (торцевий) і боковий (бічний) (рис. 3.3).

Лобовими вибоями розробляють піонерні траншеї, перші проходки та вузькі котловани, ширина котрих не перевищує $B \leq 3,5R_к$ (B - ширина виїмки).

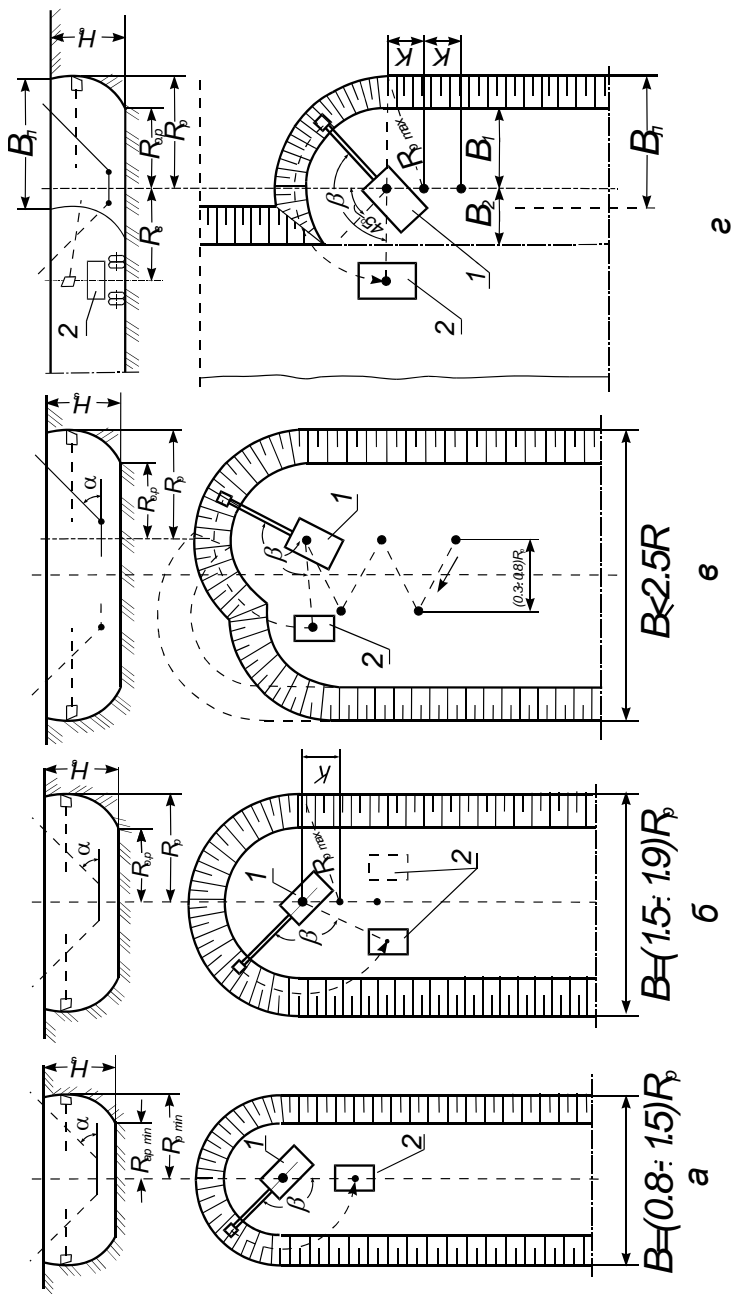


Рис. 3.3. Схеми роботи екскаватора з прямою лопатою вибоями: *а...в* – лобовим (*а* – при вузькому вибої; *б* – при вибої нормальної ширини; *в* – при розширеному вибої до $2,5R_p$); *г* – бічним: *1* – екскаватор; *2* – транспортні засоби

Крок переміщення екскаватора визначається як різниця між найбільшим і найменшим радіусами копання на рівні стояння екскаватора (див. рис. 3.3):

$$K = R_{max.cm} - R_{min.cm}. \quad (3.1)$$

де $R_{max.cm}$, $R_{min.cm}$ – найбільший та найменший радіус копання на рівні стояння екскаватора.

В залежності від проектної ширини виїмки (B) лобові вибої бувають вузькими і нормальними. Вузький вибій має ширину $B \leq 1,5R_k$, нормальний – $B \leq (1,5 \dots 1,9)R_k$, при цьому екскаватор розробляє виїмку, рухаючись по її осі. Якщо ширина виїмки $B \geq 2R_k$, то екскаватор розроблює ґрунт розширеним вибоєм, але за різними схемами переміщення. При $B = (2,0 \dots 2,5)R_k$ екскаватор рухається у виїмці по «зигзагу», а при $B = (2,5 \dots 3,5)R_k$ – поперек виїмки.

Бічний вибій використовується при значних розмірах виїмки $B \geq 3,5R_k$. При такому вибої покращуються умови руху транспортних засобів для завантаження. Транспортні засоби можуть розміщуватися не тільки на рівні стояння екскаватора, але й вище його на уступі або на природній поверхні землі.

У всіх випадках висота уступу, на якому розміщуються транспортні засоби, не може бути більшою

$$h_y = H_{max b} - h_b - d, \quad (3.2)$$

де $H_{max b}$ – найбільша висота вивантаження екскаватора, м; h_b – висота від рівня стояння транспортного засобу до верха борта кузова, м; $d = 0,5 \dots 0,8$ м – запас над бортом кузова.

Розробка виїмки починається з влаштування піонерної траншеї лобовим вибоєм, а подальша розробка виконується бічними вибоями. Транспортні засоби необхідно розміщувати на деякій відстані від підшви укусу ($0,5 \dots 1,0$ м), а також поза межею обвалення ґрунту, якщо вони стоять на уступі вище екскаватора.

Якщо проектна глибина виїмки значно перевищує найбільшу висоту копання екскаватора, то розробку ведуть ярусами, кількість яких становить:

$$n = H / H_{max k}, \quad (3.3)$$

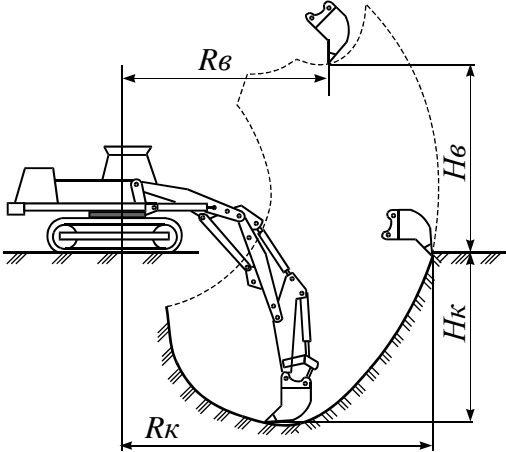
де H – глибина виїмки, м; $H_{max k}$ – найбільша висота (глибина) копання, м.

Вхід екскаватора в кожний ярус здійснюється прокладанням піонерних траншей, глибина яких визначається умовами навантаження ґрунту.

При виборі схеми роботи екскаватора перевага віддається розробці ґрунту лобовими вибоями, тому що при розробці бічним вибоєм ширина виїмки завжди менша ніж при торцевому, і не перевищує одного радіуса копання, при цьому екскаватор розроблює ґрунт у положенні найменшої стійкості, що небезпечно.

3.1.2. Розробка ґрунту екскаватором з робочим обладнанням зворотна лопата

Екскаватори з робочим обладнанням зворотна лопата застосовуються, головним чином, для розробки ґрунту в нешироких каналах, невеликих котлованах, траншеях з крутими укосами.



Робота екскаваторів з робочим обладнанням зворотна лопата характеризується такими параметрами: $R_к$, $H_к$ – найбільші радіус і глибина копання; $R_в$, $H_в$ – найбільші радіус і висота вивантаження ковша.

Рис. 3.4. Робочі параметри екскаватора зворотна лопата

Екскаваторами оснащеними зворотною лопатою виконують розробку ґрунту лобовим та бічним вибоями.

В лобовому вибої екскаватор розроблює ґрунт “на себе”, рухаючись вздовж осі котловану чи траншеї, і послідовно опускає ківш для набору ґрунту то в одну то в другу сторону від осі ($B \leq R_к$). Вивантаження ґрунту може виконуватися на дві сторони або в одну сторону. Такий спосіб застосовують для розробки траншей, нешироких каналів та котлованів (рис.3.5).

При розробці зв’язних ґрунтів укоси тимчасових траншей можуть бути вертикальними. Найменша можлива ширина виїмки рівна ширині ковша зворотної лопати.

Більш широкі виїмки можуть розроблятися паралельно-торцевими проходами ($B \geq 1,7 R_к$), або по зигзагу ($B = 3 \dots 3,5 R_к$), при цьому ширина вибою $B_з$ визначається за виразом (3.3):

$$B_3 = \sqrt{R_K^2 - K^2}, \quad (3.4)$$

де K – крок переміщення екскаватора.

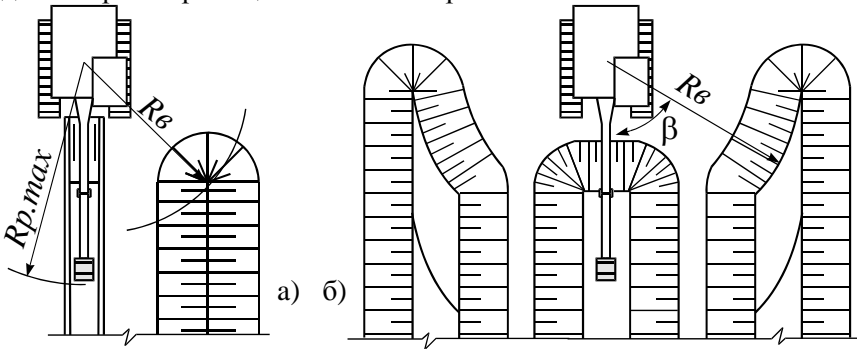


Рис. 3.5. Схеми виконання робіт екскаватором з зворотною лопатою: а – розробка траншеї з вкладанням ґрунту в одну сторону; б – розробка каналу з вкладанням ґрунту на дві сторони; $R_{p,max}$ – найбільший радіус копання; R_δ – найбільший радіус вивантаження; β – кут повороту стріли

3.1.3. Розробка ґрунту екскаватором з робочим обладнанням драглайн

Екскаватори з робочим обладнанням драглайн призначені для розробки ґрунту нижче рівня свого стояння з висипанням його безпосередньо у відвал. Це дозволяє розроблювати мокрі і водонасичені ґрунти без попереднього їх осушення або з під води. За необхідністю ці екскаватори можна використати для розробки ґрунту з завантаженням в транспортні засоби, але менш успішно ніж екскаватори з іншими видами робочого обладнання. Гнучка підвіска ковша затрудняє точне встановлення ковша над кузовом транспортного засобу, вимагає високої кваліфікації машиніста.

Глибина копання ґрунту драглайном залежить не тільки від довжини стріли і кута її нахилу, але й від розміщення екскаватора відносно виїмки і виду ґрунту.

Радіус копання драглайнів залежить від довжини і кута нахилу стріли. При необхідності радіус копання може бути збільшений за рахунок закидання ковша.

Робота екскаваторів з робочим обладнанням драглайн характеризується такими параметрами: R_K , H_K – найбільший радіус і глибина копання; R_δ , H_δ – радіус і висота вивантаження ковша.

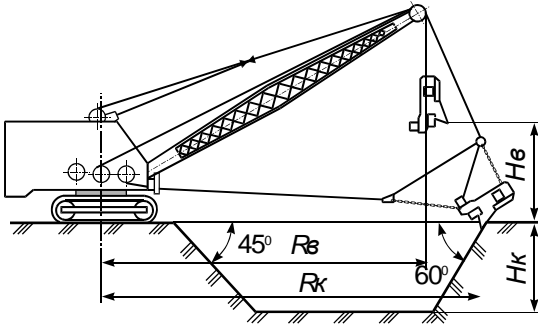


Рис. 3.6. Робочі параметри екскаватора драглайн

Екскаватори оснащені ковшами-драглайнми розробку ґрунту в залежності від розмірів виїмки можуть виконувати за різними схемами. Поздовжню

схему розробки ґрунту застосовують при влаштуванні нешироких виїмок, коли радіус вивантаження ковша перебиває відстань від осі виїмки до зовнішньої бровки кавальєру ґрунту (рис. 3.7, а).

Поперечну схему розробки застосовують за умови, що вся ширина смуги виїмки і кавальєру ґрунту менше суми значень радіусів копання і вивантаження (рис. 3.7, б).

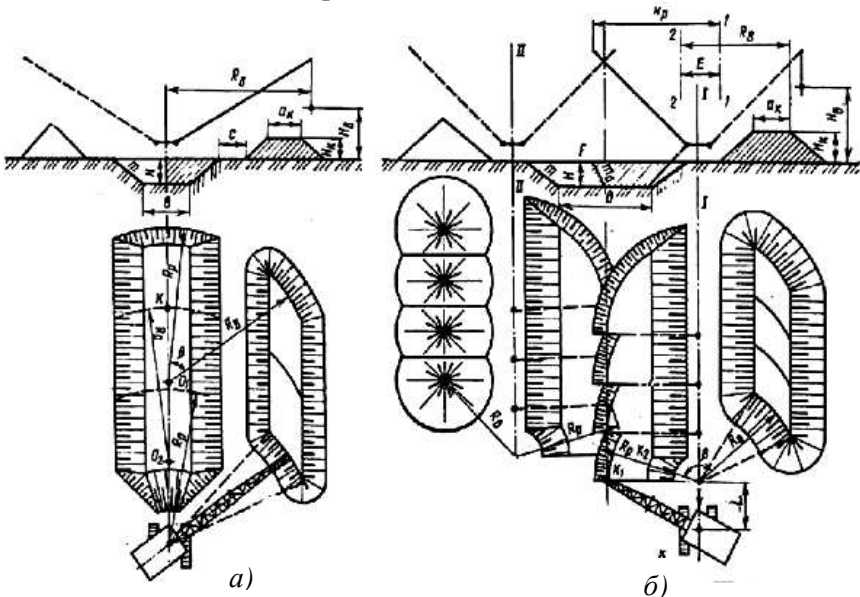


Рис. 3.7. Схеми розробки виїмок екскаватором з робочим обладнанням драглайн: а - поздовжня розробка; б - поперечна; I-I, II-II - осі першого і другого проходів

Особливості підбору схеми виконання для розробки лінійних ви-

їмок наведені в практичних роботах.

Глибина копання загально будівельних драглайнів може досягати до 20 м, а найбільший радіус копання на рівні стояння – 26 м. При розвантаженні ґрунту в транспортні засоби найефективнішими є поперечно-човникова і поздовжньо-човникова схеми роботи екскаватора, при чому автосамоскиди заїжджають у виїмку.

При виконанні планування укосів каналів, котлованів, насипів екскаватор оснащується ковшем з суцільною ріжучою кромкою, розроблюючи ґрунт боковим вибоєм.

3.2. Розробка ґрунту багатоківшевыми екскаваторами

Багатоківшеві екскаватори - це машини безперервної дії із ланцюговими чи роторним робочими органами. Екскаватори неперервної дії здійснюють копання та переміщення ґрунту одночасно та неперервно. Продуктивність даних екскаваторів вище, ніж в одноківшевих, які витрачають до 2/3 робочого часу на переміщення ґрунту та зворотне переміщення робочого органу.

Екскаватори неперервної дії поділяють на машини **повздовжнього копання** протяжних виїмок прямокутного і трапецевидного профілю - при влаштуванні каналів, водоводів, кюветів (каналопачі), траншей під інженерні комунікації, стрічкові фундаменти (траншейні екскаватори) і **поперечного копання** для кар'єрних, планувальних та меліоративних робіт - при влаштуванні котлованів і траншей великих розмірів, вирівнюванні укосів та розробці кар'єрів, **радіального копання** для розкривних і кар'єрних робіт великого обсягу.

Роторні траншейні екскаватори являють собою навісне або напівпричіпне до переобладнаного гусеничного трактора чи спеціального тягача землерийне обладнання і призначені для розробки траншей прямокутного і трапецевидного профілю в однорідних не мерзлих ґрунтах I-IV категорій, що не містять крупних кам'янистих включень (крупніше 300 мм), а також в мерзлих ґрунтах при різній глибині промерзання верхнього шару. Глибина траншеї, що відривається визначається діаметром ротора. Збільшення глибини копання пов'язано зі значним зростанням діаметру і маси ротора і тому раціональний межа глибини копання для ЕТР не перевищує 3 м.

Траншейні ланцюгові екскаватори ЕТЦ призначені для риття траншей для прокладання трубопроводів (водо-, газопроводів) та кабелів (електро-, зв'язку) в ґрунтах I-IV категорій, а також мерзлих

грунтах сезонного промерзання.

Багатокішшеві ланцюгові екскаватори дозволяють розробляти траншеї з вертикальними стінками. Для влаштування каналів або траншей з укосами використовують роторні екскаватори, або на екскаватор додатково монтують поперечні шнеки різної довжини.

Для влаштування меліоративних каналів малих розмірів ($v \leq 1,5 \text{ м}$, $H \leq 2,0 \text{ м}$) досить ефективним є застосування спеціалізованих екскаваторів - **каналокочачів**. При цьому треба мати на увазі, що двохроторні і шнекороторні екскаватори призначені для роботи в зоні зрошення на ґрунтах з достатньою несучою здатністю, а двофрезерні - в зоні осушення на торф'яних і легких мінеральних ґрунтах.

При розробці траншей екскаватор рухається по її осі назустріч ухилу, починаючи з понижених місць для забезпечення стоку поверхневих вод. Глибину розробки траншеї чи каналу регулюють опусканням чи підйомом робочого органу. Для автоматизації цього процесу застосовують лазерні покажчики рівня.

3.3. Продуктивність землерийно-транспортних машин

Експлуатаційну продуктивність землерийно-транспортних машин визначають за формулами:

- *однокішшевого екскаватора*

$$P_e = 60 t_{3M} v_k n_{\text{ц}} \kappa_e \kappa_{\text{в}}, \text{ м}^3 / \text{ГОД}, \quad (3.5)$$

де $n_{\text{ц}}$ - кількість циклів екскавації за хвилину; t_{3M} - тривалість зміни; κ_e - коефіцієнт використання змінного часу; $t_{\text{ц}}$ - тривалість циклу розробки ґрунту; v_k - місткість ковша; $\kappa_{\text{в}}$ - коефіцієнт використання місткості ковша;

- *багатокішшевого екскаватора*

$$P_e = 60 t_{3M} v_k n_k \kappa_e \kappa_{\text{в}}, \text{ м}^3 / \text{ГОД}, \quad (3.6)$$

де n_k - число ковшів, що вивантажуються за хвилину, $n_k = 60 V / l$, V - швидкість руху ковша; l - відстань між ковшами.

Експлуатаційна продуктивність ланцюгових траншейних екскаваторів зі скребковим робочим органом:

$$P_e = 3600 b_c h_c V_{\text{ц}} k_n k_{\text{в}} / k_p, \text{ м}^3 / \text{ГОД}, \quad (3.7)$$

де b_c - ширина скребка, м; h_c - висота скребка, м; $V_{\text{ц}}$ - швидкість руху скребкового ланцюга, м / с; k_n - коефіцієнт наповнення екскаваційних ємностей (0,35 ... 0,75), залежить від характеру ґрунту, товщини стружку, довжини і форми забою, кута нахилу робочого ланцюга до горизонту; $k_{\text{в}}$ - коефіцієнт використання машини за часом (0,5 ... 0,65); k_p - коефіцієнт розпушення ґрунту в процесі розробки (1,1 ... 1,5).

Тема 4. Виконання робіт землерийно-транспортними машинами. Ущільнення ґрунту

Землерийно-транспортними машинами (ЗТМ) називають такі машини, які за рахунок тягового зусилля поширюють ґрунт від масиву і транспортують його до місця укладання (відсіпання) в процесі власного переміщення[8].

Класифікують ЗТМ за наступними параметрами:

- за режимом роботи – машини циклічної (бульдозери, грейдери, скрепери) і неперервної (грейдер-елеватори) дії;

- за конструкцією робочого обладнання – відвальні (робочий орган виконаний у вигляді відвалу, оснащеного в передній частині ножами (бульдозери, грейдери) або дискового плуга (грейдер-елеватори) і ковшові ЗТМ (скрепери);

- за агрегуванням – самохідні ЗТМ (бульдозери, скрепери, автогрейдери) та причіпні (скрепери, грейдери-елеватори).

Робочий процес ЗТМ циклічної дії складається з операцій відділення ґрунту від масиву, його транспортування до місця укладання, розвантаження та повернення машини на вихідну позицію. Ґрунт відділяють від масиву гладкими або оснащеними зубцями ножами за рахунок тягового зусилля тягача. В залежності від виду робочого обладнання відокремлений ґрунт накопичується перед відвалом (бульдозер) або надходить в ківш (скрепер), де він і транспортується до місця відсіпки. Швидкості переміщення ЗТМ вибираються залежно від наявних опорів. При копанні швидкості машини мінімальні, в транспортному режимі швидкості збільшуються, а при поверненні машини на вихідну позицію (порожньому ході) максимальні. Швидкості переміщення ЗТМ також обмежуються технологічними причинами, наприклад, при планувальних роботах.

ЗТМ особливо ефективні при значних обсягах розробки ґрунтів.

4.1. Розробка ґрунту бульдозерами

На долю бульдозерних робіт в будівництві припадають значні обсяги земляних робіт. Це пояснюється високою продуктивністю бульдозерів, їх високою маневреністю і прохідністю, можливістю застосовувати в різних ґрунтових умовах, низькою вартістю експлуатації. Бульдозери використовують при спорудженні виїмок і насипів, зворотній засипці траншей і котлованів, грубому плануванні земляний поверхні, розрівнюванні відвалів ґрунту при роботі екскаваторів та землевозів, влаштуванні терас на косогорах, штабе-

люванні і переміщенні сипких матеріалів, підготовчих роботах для звалювання окремих дерев, зрізанні кущів, корчуванні пнів, видавленні каміння, розчищенні поверхні від сміття, снігу, на розкривних роботах, а також в якості штовхачів скреперів.

Основні робочі параметри і продуктивність бульдозерів суттєво залежить від прохідності базового трактора і його тягово-зчіпних властивостей.

Цикл роботи бульдозера складається із трьох основних операцій: зрізування та набирання ґрунту, його переміщення та вкладання.

Зрізування та набирання ґрунту необхідно виконувати на горизонтальних ділянках або спусках, тому що при русі на підйом значна частина тягового зусилля витрачається на переміщення самого трактора. При постійній товщині стружки під час копання ґрунту тягово-зчіпні властивості машини реалізуються повною мірою лише в кінці копання. Тому доцільно на початковій стадії копання, коли опори на переміщення призми волочіння та підйому ґрунту вгору по відвалу ще малі, за короткий час максимально заглибити відвал до повного використання тягово-зчіпних властивостей машини. З накопиченням ґрунту перед відвалом і у зв'язку з цим зростанням згаданих опорів, поступово виглиблюють відвал, зменшуючи тим самим опір різанню. Така схема роботи дозволяє зменшити довжину ділянки копання і скоротити тривалість операції. Незначне, внаслідок цього, збільшення шляху транспортування суттєво не впливає на збільшення тривалості транспортної операції, яка виконується на більшій, в порівнянні з копанням, швидкістю. Отриману при цьому форму виїмки називають *раціональним поздовжнім профілем*. При сприятливих умовах довжина шляху набирання ґрунту в середньому становить 6...10 м.

При роботі в легких ґрунтах навіть в кінці копання при повному заповненні відвалу може залишатись резерв тягово-зчіпних властивостей трактора. У цьому випадку для підвищення продуктивності бульдозера його доцільно обладнати відвалами більших розмірів, (з бічними відкривками, подовжувачами та ін.). Для підвищення продуктивності ґрунт можна також розробляти двома спареними бульдозерами за рахунок примикання їх відвалів і усунення таким чином втрат ґрунту через внутрішні краї кожного відвалу (рис. 4.1 а). Якщо не пред'являється особливих вимозі до збереження поверхні шляху транспортування, то втрати ґрунту в бокові валики можна

компенсувати додатковою розробкою ґрунту по шляху транспортування при незначному заглибленні відвалу. Зменшити втрати в бокові валики можна переміщенням ґрунту траншейним способом (рис. 4.1 б). Для цього навантажені бульдозери переміщуються по одній і тій же трасі з трохи заглибленим відвалом. В наслідок послідовних проходів бульдозерів утвориться поздовжня виїмка (траншея) невеликої глибини, а також бічні валики з ґрунту, що просипається на попередніх проходках, які будуть знижувати втрати на шляху пересування. З тією ж метою вибирають оптимальний варіант траси переміщення ґрунту бульдозерами, вибираючи рух по горизонталі або під ухил.

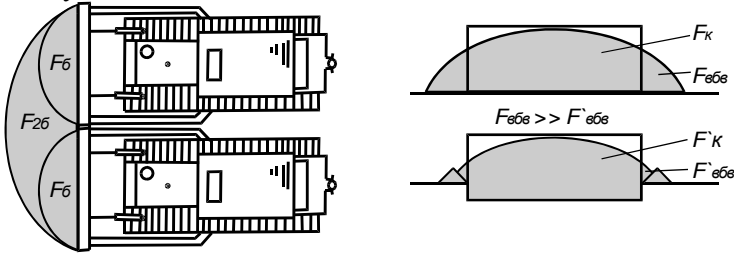


Рис. 4.1. Рациональні способи транспортування ґрунту: а – спареними бульдозерами; б – траншейним способом

В залежності від дальності транспортування ґрунту можуть застосовуватись різні схеми руху бульдозерів.

Зрізування і транспортування ґрунту на відстань до 50 м доцільно виконувати за **човниковою схемою**, при якій бульдозер після відсипання повертається в початкове положення заднім ходом (рис.4.2, а).

При переміщенні ґрунту на відстань 50...100 м рекомендується використовувати **еліптичну схему** розробки: після завершення робочого ходу бульдозер розвертається на 180^0 і повертається до місця набирання ґрунту переднім ходом на максимальній швидкості (рис. 4.2, б).

У випадку відсипання ґрунту на обидва боки від смуги розробки, при значній її ширині, вигідно виконувати розробку ґрунту при **робочому русі бульдозера у двох напрямках** (рис. 4.2, в). Для зменшення втрат ґрунту при його переміщенні застосовують **траншейний спосіб** виконання робіт. Розробку ґрунту на відстань до 50 м доцільно виконувати окремими траншеями глибиною 0,4...0,5м з гребес-

нями між ними шириною 0,4...0,6м, котрі після розробки основної маси ґрунту зрізують.

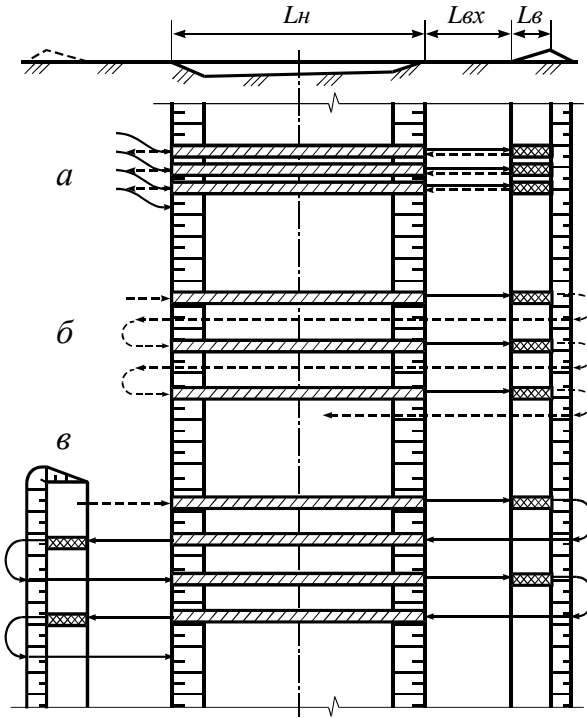


Рис. 4.2. Схеми поперечної розробки ґрунту бульдозером:

- а* – човникова;
- б* – еліптична з вкладанням ґрунту на одну сторону;
- в* – еліптична з вкладанням ґрунту на дві сторони

Для розробки і переміщення ґрунту на відстань до 100м доцільно використовувати два або три бульдозери, які з однаковою швидкістю на відстані

0,2...0,5м один від одного переміщують ґрунт одним суцільним валом, що забезпечує зменшення втрат ґрунту в 2...3 рази.

У гідромеліоративному будівництві широкі канали і виїмки на глибину до 1,5...2 м можна розроблювати бульдозерами при русі їх за поперечною схемою. Канали з малою шириною зверху не дозволяють використовувати поперечну схему. Якщо ширина каналу на дні не менше довжини відвалу бульдозера, то для розробки таких каналів доцільно використовувати поздовжньо-поперечну схему, при цьому поздовжніми проходами розроблюється і переміщується ґрунт до межі розроблюваних ділянок каналу, звідки ґрунт поперечними проходами переміщується за межі виїмки.

Бульдозери також використовують для зрізування рослинного шару ґрунту з будівельних майданчиків, для влаштування насипів із бокового резерву, переміщення ґрунту, що розроблений екскавато-

ром, розрівнювання ґрунту при влаштуванні якісних насипів, при плануванні поверхні дна і укосів каналів та котлованів, засипанні траншей з трубопроводами і дренажем.

При засипанні траншей доцільно застосовувати бульдозери з поворотним відвалом, причому ґрунт буде переміщатися не тільки вперед, а головним чином, в сторону.

Бульдозери з поворотним відвалом, що виконують планувальні роботи, а також очистку поверхонь від будівельного сміття, снігу, працюють як машини безперервної дії. В цьому випадку відокремлений від масиву ґрунт (або інші матеріали) переміщається по відвалу вгору і в бік його нахилу в плані. При цьому призма волочіння безперервно переміщується в бік нахилу відвалу за його край і вкладається у вигляді валика паралельно з напрямком руху машини. При цьому виникають додаткові опори переміщенню ґрунту вздовж відвалу, що вимагає більших тягових зусиль трактора.

При виконанні планувальних робіт для підвищення їх якості та скорочення внаслідок цього числа повторних проходів бульдозери обладнують автоматичними системами управління відвалом, заснованим на комплексних системах з використанням лазерних ротаційних нівелірів (задавачів площини) і (або) GPS – пристроїв.

4.2. Розробка і переміщення ґрунту скреперами.

Скрепер являється землерійно-транспортною машиною і призначений для пошарової розробки ґрунту тяговим зусиллям з переміщенням його та подальшим вкладанням в насипи або відвали. Розрізняють два основні види скреперів - причіпні до тракторів і самохідні на базі одновісних тягачів.

Причіпні скрепери з ковшами місткістю до 3м^3 доцільно використовувати при переміщенні ґрунту до 250м. Потужніші скрепери з місткістю ковша до 6м^3 використовують при переміщенні ґрунту на відстань до 350 м, відповідно при місткості $8...10\text{м}^3$ – до 550м; при 15м^3 – до 1000 м. Самохідні скрепери з ковшами місткістю $6...15\text{м}^3$ використовують для переміщення ґрунту на відстань до 5000м.

При розробці земляних мас використовують як одиночні скрепери, так і комплексні механізовані бригади.

На тривалість і довжину шляху наповнення ковша впливає спосіб різання ґрунту. *Тонкою стружкою* постійної товщини ($h=10...20\text{см}$) зрізують щільні зв'язні ґрунти. *Клиноподібну струж-*

ку використовують для розробки м'яких зв'язних ґрунтів на найбільшу глибину ($h=30\dots35\text{см}$). Різання клиноподібною стружкою є більш продуктивне, тому що скорочується шлях набирання ґрунту в ківш, але це потребує більших зусиль при наборі ґрунту. **Гребінчастий профіль** стружки використовують при розробці піщаних і сухих зв'язних ґрунтів.

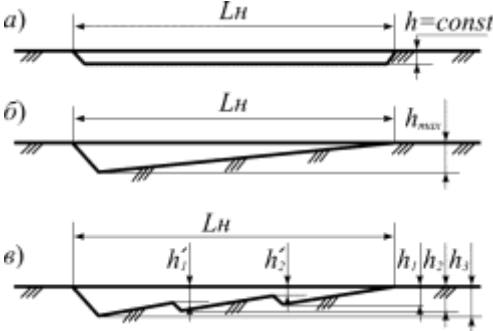


Рис. 4.3. Профілі стружки при різанні ґрунтів скрепером:
 а – тонка стружка постійної товщини;
 б – клиноподібна стружка;
 в – гребінчастий профіль стружки

На умови набирання ґрунту в ківш впливає також послідовність розробки виймки. Застосовують три основні схеми розробки ґрунту скреперами - послідовними та шаховими проходками, проходками через смугу.

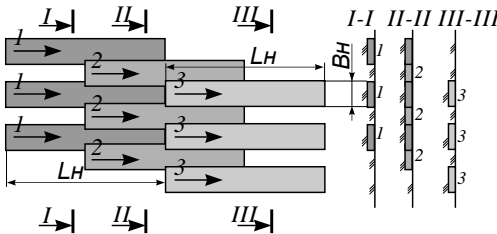


Рис. 4.4. Шахова схема різання ґрунту скреперами

Наповнення ковша скрепера необхідно виконувати тільки на прямолінійних ділянках довжиною, достатньою для розміщення довжини шляху наповнення ковша і скреперного агрегату.

Довжину шляху наповнення ковша скрепера і вивантаження ґрунту можна розрахувати за формулами, виходячи із умови рівності об'ємів розробленого або вкладеного ґрунту і ґрунту, який знаходиться в ківші.

Довжина (м) шляху наповнення ковша:

$$L_{\text{н}} = \frac{qk_{\text{н}}k_{\text{ем}}}{k_{\text{н}}h_{\text{н}}b_{\text{н}}k_{\text{р}}}; \quad (4.1)$$

довжина (м) шляху вивантаження ґрунту:

$$L_{\text{в}} = \frac{qk_{\text{н}}}{h_{\text{в}}b_{\text{в}}}; \quad (4.2)$$

де q – геометрична місткість ковша, м³; h_n – середня товщина стружки по довжині шляху наповнення ковша, м; b_n – ширина смуги різання ґрунту (ширина ковша), м; k_n – коефіцієнт наповнення ковша; k_n – коефіцієнт втрат ґрунту; k_h – коефіцієнт нерівномірності товщини стружки.

Товщина шару вкладання ґрунту залежить від конструктивних особливостей скрепера та вимог, які ставляться технологією наступного оброблення ґрунту. Якщо ґрунт вкладають до якісного насипу, то товщину шару вкладання визначають на підставі технічної характеристики ущільнюючих засобів.

Вибираючи для виконання робіт скрепери необхідно враховувати:

- ґрунтові умови – скрепери погано працюють при розробці сухих сипучих і важких глинистих ґрунтів; не можуть бути застосовані при розробці ґрунтів, що містять каміння, при наявності пнів і великого коріння;

- вологість ґрунтів – при розробці вологих і липких ґрунтів коефіцієнт наповнення ковша знижується до 0,3...0,5, а при наявності ґрунтових вод використання скреперів неприпустимо;

- відстань переміщення ґрунту;

- похили шляху на місцевості, виїздів із виїмки і на насип;

- розміри виїмки і насипу – скрепер повинен мати довжину ріжучої кромки не більше ширини виїмки по дну і вільно розташовуватися на насипу (з запасом не менше 0,5 м з кожної сторони);

- достатність місця для маневрування скрепера в межах виїмки і на насипу з врахуванням практичного радіусу повороту;

- загальний обсяг робіт і об'єм робіт, що припадає на один скрепер в реальних умовах роботи на об'єкті. При невеликих обсягах земляних робіт доцільно використовувати скрепери з малою місткістю ковша. При великих обсягах земляних робіт на одному об'єкті вигідно застосовувати скрепери з великою місткістю ковша.

Тривалість переміщення завантаженого і порожнього скрепера досягає 70% часу всього робочого циклу. Тому важливе значення має вибір раціональної схеми руху скрепера по найкоротшому шляху (рис. 4.5, а).

Схему руху по еліпсу застосовують при розробці виїмок з наступним вкладанням ґрунту в насип чи відвал, влаштуванні насипів із бокових резервів, вертикальному плануванні майданчиків при об-

меженому фронті переміщення скрепера (рис. 4.5, б, в, г, д).

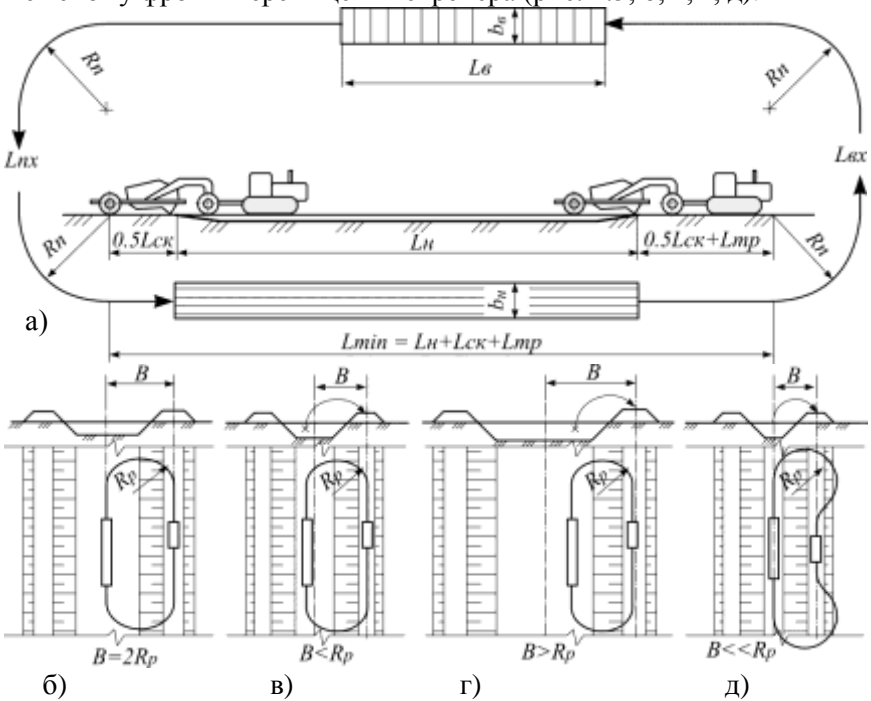


Рис. 4.5. Схеми роботи скрепера по еліпсу: а – схема руху скрепера з мінімальною відстанню переміщення; б...д – положення центрів ваги набору ґрунту в залежності від ширини виїмки і насипу

Схему руху по “вісімці” застосовують при виконанні тих самих робіт, що і по еліпсу, але при більшій довжині фронту робіт (рис. 4.6, а).

Схему руху по змійці застосовують при влаштуванні насипів із односторонніх і двосторонніх резервів великої протяжності, коли розробка ґрунту виконується декількома скреперами, що рухаються один за одним (рис. 4.6, б). При розробці ґрунту у вузькій виїмці і вкладанні його по обидва боки від неї застосовують поздовжньо-човникову схему руху скрепера (рис. 4.6, в), а при влаштуванні широких виїмок - поперечно-човникову схему (рис. 4.6, г).

Схема руху по спіралі ефективна при влаштуванні широких і невисоких насипів з пологими з’їздами та двосторонніми резервами, а також при вертикальному плануванні майданчиків (рис. 4.6, д).

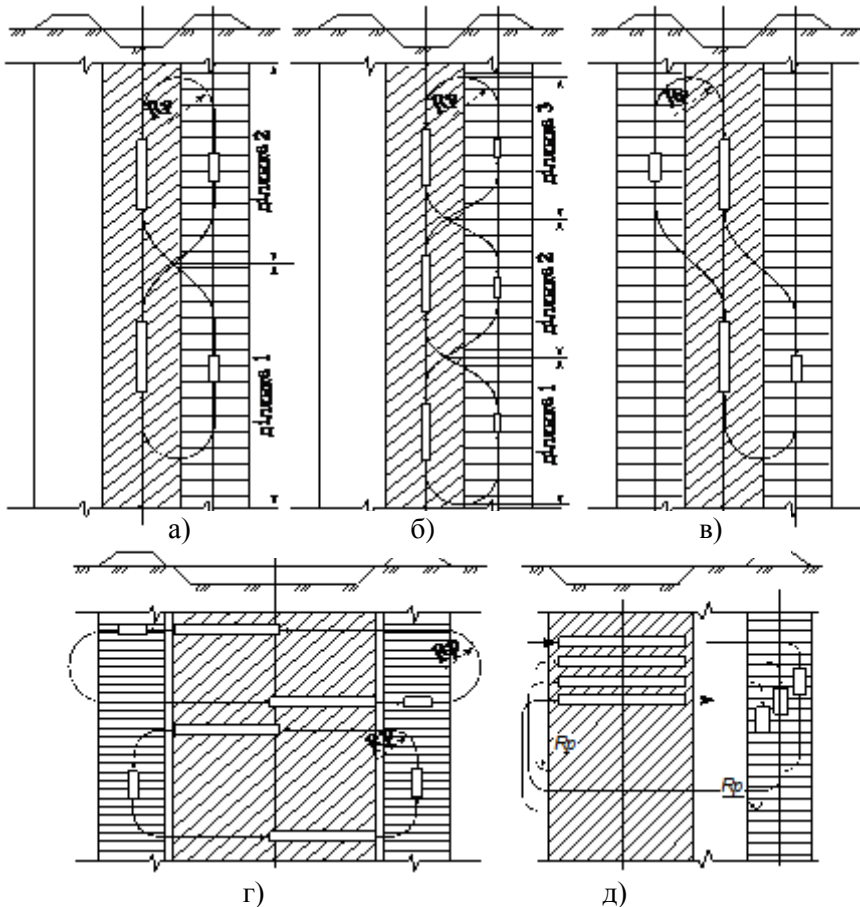


Рис. 4.6. Схеми роботи скрепера: а – “вісімка”; б – “змійка”; в – поздовжньо-човникова; г – поперечно-човникова; д – по спіралі

Для забезпечення рівномірної товщини шару відсіпання ґрунту ківш розвантажується тільки при русі скрепера. Найбільша товщина шару відсіпання становить 0,3...0,5м. Дорога для транспортування ґрунту повинна мати підйом не більше 15%.

При розробці скреперами котлованів або кар’єрів ґрунту для насипних гребель шляхи переміщення прокладають за умови найменшої відстані перевезення і з найменшими похилами шляху. Якщо повна висота підйому із виїмки або на насип невелика, то скрепери можуть долати ці підйоми без спеціальних виїздів. При знач-

ній різниці відміток місць розробки і відсипання ґрунту необхідно влаштувати спеціальні виїзди.

Продуктивність скрепера може бути підвищена за рахунок наступних факторів [5]:

- 1) скорочення тривалості циклу;
- 2) покращення заповнення ковша k_n ;
- 3) збільшення використання машини в часі K_g .

Скорочення часу циклу досягають шляхом обрання найбільш оптимальних шляхів руху скреперів (найкоротші, з мінімальними похилами) і русі на максимальних (з технологічних і технічних міркувань) швидкостях, чим пояснюється, зокрема, прагнення зменшити довжину шляху набору ґрунту, так як різання проводиться на найнижчій передачі.

Для збільшення коефіцієнта наповнення ковша застосовують наступні заходи:

- попереднє розпушення важких ґрунтів;
- набір ґрунту з використанням штовхачів;
- набір ґрунту з похилу;
- використання раціональних схем різання ґрунту і профілів стружки.

При розробці товстими стружками перезвожених суглинків, лесових ґрунтів, чорноземів і прирівнюваних до них ґрунтів скреперні ковші наповнюються «із шапкою.» ($k_n = 1,1 \dots 1,25$).

З підвищенням міцності ґрунтів ступінь наповнення ковшів знижується через необхідність знімати ґрунт тонкими стружками, а при розробці сухих сипучих пісків, з високим коефіцієнтом внутрішнього тертя, ківш вдається заповнити лише на 60 ... 70% його геометричної місткості.

Трактори-штовхачі доцільно застосовувати при груповій роботі скреперів для їх почергового обслуговування в зоні завантаження. Штовхачі використовують також для підштовхування скреперів при русі в гору.

Деякі самохідні скрепери з усіма провідними колесами можуть працювати по два–три в одній зчипці, завантажуючись черзі, з наступним роздільним переміщенням до місця відсипання ґрунту і назад. Виграш продуктивності в цьому випадку досягається за рахунок збільшеного об'єму ґрунту при збільшенні тривалості робочого циклу лише на час заповнення відповідно одного або двох скре-

перів.

Експлуатаційна продуктивність землерийно-транспортних машин визначається за формулами:

- *бульдозер*

$$P_e = 60 t_{зм} V_k K_c K_g / t_u, \quad (4.3)$$

де $t_{зм}$ – тривалість зміни; V_k – об'єм призми перед ножем; K_c – коефіцієнт збереження ґрунту; $K_g = 1 - 0,005 \cdot L$; L – відстань переміщення ґрунту; K_g – коефіцієнт використання змінного часу; t_u – тривалість циклу розробки ґрунту;

- *скрепер*

$$P_e = 60 t_{зм} V_k K_n K_g / t_u, \quad (4.4)$$

де V_k – місткість ковша; K_n – коефіцієнт наповнення ковша.

Більш повно визначення експлуатаційної продуктивності землерийно-транспортних машин різними способами, аналіз їх особливостей наведено в практичній частині.

4.3. Ущільнення ґрунту

При будівництві земляних гребель і дамб, ґрунтового полотна дороги, засипки пазах котлованів виникає необхідність одержати ґрунти з заданими фізико-механічними властивостями. Крім того для збільшення міцності ґрунту в основі будівель і споруд або для зменшення втрат води на фільтрацію ґрунт ущільнюють також в стані природного залягання. Таким чином, при створенні основи споруди з достатньою несучою здатністю, або створенні якісного насипу ґрунту доводять до проектної щільності. Зі збільшенням щільності ґрунту зростає його міцність, водонепроникність, опір розмиванню, збільшується статична стійкість споруди.

Існує ряд способів отримання заданого ущільнення ґрунту: статичним природним самоущільненням ґрунту; механічними машинами статичної дії (котки), машинами динамічної дії (ущільнюючі плити), машинами вібраційної дії (вібратори).

Природне самоущільнення (під дією власної ваги споруди), без суттєвих витрат дозволяє ущільнити нижні шари земляної споруди. Однак природне самоущільнення не дозволяє досягти необхідного ступеня ущільнення всієї споруди, що може призвести до її руйнування.

Одним з відомих заходів для інтенсифікації процесу ущільнення є **замочування** насипів, який засновано на зволоженні ґрунту до повного насичення водою, при якому агрегати ґрунту розпадаються,

мікропори опливають і в результаті досягається більший ступінь ущільнення. Замочуванням, крім насипів, можна ущільнювати канали, пропускаючи по них з малими швидкостями витрати води, достатні для компенсації втрат на фільтрацію. Однак замочування супроводжується значними деформаціями, а по крупним пустотам можливе розмивання споруди, для запобігання чого необхідно проводити спеціальні заходи.

Також використовується спосіб щільного укладання ґрунту **відсипанням в воду** (або при транспортуванні водою), при якому забезпечується розпад агрегатів ґрунту та ліквідація мікропористості, внаслідок чого отримується монолітна структура з високою щільністю та водонепроникністю [5].

Однак в значній кількості випадків вказані способи або неможливі через різні причини – відсутність достатньої кількості води, неможливість досягти даним способом проектної щільності, неможливість сформувати споруду заданого профілю та ін. Тому часто для ущільнення ґрунтів до проектної щільності використовують різні спеціальні машини та механізми.

В процесі ущільнення ґрунту за допомогою машин та механізмів, в більшості випадків вони впливають на ґрунт багаторазовим прикладанням навантаження на кожен елемент площі чергового шару ґрунту. При цьому інтенсивність ущільнення максимальна при перших прикладаннях навантаження, а надалі поступово зменшується, і при досягненні ґрунтом певної граничної щільності стає рівною нулю (рис. 4.7). У більшості випадків для досягнення проектної щільності необхідно 6...8 кратне прикладання ущільнюючого навантаження.

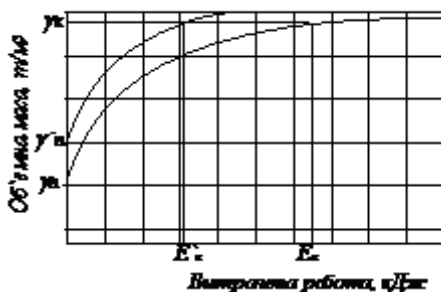


Рис. 4.7. Залежність об'ємної ваги ґрунту від витраченої на його ущільнення роботи

На ущільнення ґрунту впливають ряд факторів:

- механічний склад та зв'язність частинок ґрунту;
- початкова щільність і вологість ґрунту;
- товщина шарів ґрунту, що ущільнюються;

- число проходів механізмів по одному сліду;
- спосіб ущільнення та параметри ущільнюючих машин.

Звичайно більш інтенсивно і легко ущільнюються незв'язні ґрунти, між частинками котрих немає цементацийних зв'язків.

Процес ущільнення в значній мірі залежить від вологості ґрунту. Наявність води в ґрунті супроводжується створенням водяної плівки навколо частинок, що знижує тертя між ними. Але зі збільшенням вологості щільність ґрунту буде зростати до певної межі, вище якої щільність буде зменшуватися, що пояснюється не стисканням води в порах розпушеного ґрунту (рис. 4.8).

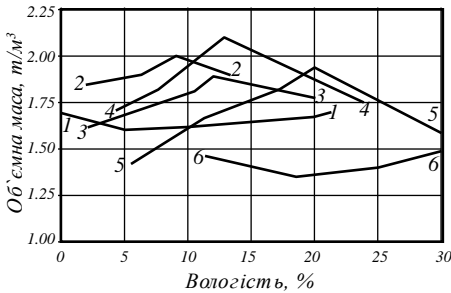


Рис. 4.8. Залежність об'ємної ваги ґрунту від його вологості при однаковій витраченій на ущільнення роботі:

- 1, 2 – однорідний та різномірний пісок;
 3, 4, 5 – легкий, середній та важкий суглинки;
 6 – глина

З рис. 4.8 також видно, що:

- початкова щільність ґрунтів зменшується із зменшенням зв'язності ґрунту;
- щільність при однаковій витраченій роботі більше для незв'язних та неоднорідних ґрунтів;
- оптимальна вологість збільшується при збільшенні зв'язності ґрунту.

Ущільнення ґрунту до проектної щільності з найменшими енергетичними витратами можна досягнути при відповідній вологості, котру називають оптимальною і яку рекомендується витримувати з точністю $\pm 2\%$. Тому для ефективного використання ущільнюючих машин сухі ґрунти дозволяють, а перезволожені підсушують до оптимальної вологості. Її точне значення визначають шляхом пробного ущільнення. Для попередніх розрахунків оптимальну вологість (%) приймають для ґрунтів: піщаних – 7...10, супіщаних – 9...14, суглинистих – 13...19, важких суглинків та глинистих – 18...24 [5].

Необхідну кількість води для дозволення ґрунту до оптимальної вологості визначають за виразом

$$g = \frac{(\omega_0 - \omega_n + \omega_e)\rho_n}{100\rho_e}, \quad (4.5)$$

де ω_0 , ω_n , ω_e – відповідно оптимальна вологість, природна вологість ґрунту, втрати вологості при вкладанні і ущільненні ґрунту, %; ρ_n , ρ_e – відповідно проектна щільність ґрунту і щільність води, кг/м^3 .

При виборі ущільнюючого засобу необхідно враховувати характер взаємодії його робочого органу з ґрунтом.

Основними показниками, що характеризують роботу ущільнюючих машин являються: товщина ущільненого шару; рівномірність ущільнення по глибині шару; необхідна кількість проходів (ударів) по одному сліду для досягнення проектної щільності.

4.3.1. Ущільнення ґрунту машинами статичної дії

Машини статичної дії представлені котками, які переміщуються по поверхні ґрунту, що ущільнюється, за декілька проходів по одному сліду для досягнення необхідної щільності ґрунту на визначеній ділянці.

Котки для ущільнення ґрунтів випускають різної форми і конструкції: циліндричні гладкі, змінного профілю (наприклад, кулачкові, з гранями та ін.), на пневмоколісному ході. Котки є самохідні та

причіпні. Перевагою причіпних котків є більша продуктивність та краща прохідність, можливість зміни кількості у зчипці.

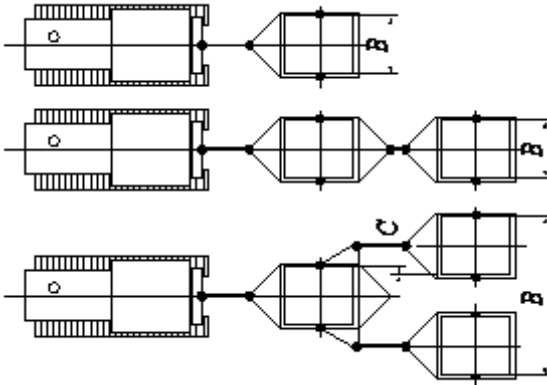


Рис. 4.9. Зчіпки котків: а – одиночна; б – подвійна; в – потрійна; B – ширина смуги ущільнення, $B=3B-2C$; C – перекриття смуг ($C=0,1 \dots 0,2$ м)

Кожному проходу котка відповідає усадка ґрунту h_n та горизонтальна проекція опорної поверхні частини окружності перетину циліндра – b_n . Ці значення при збільшенні числа проходів поступово

зменшуються.

Середній питомий тиск на ґрунт дорівнює

$$q_n = \frac{Q}{b_n B}, \text{ Н/см}^2 \quad (4.6)$$

де Q – сила ваги котка, Н;

b_n – горизонтальна проекція опорної поверхні, см;

B – ширина котка (довжина утворюючої циліндра), см.

В зв'язку з тим, що середній тиск на ґрунт змінюється, то як характеристика котка прийнята сила ваги віднесена до довжини котка – лінійна сила ваги

$$q_n = \frac{Q}{B}, \text{ Н/см} \quad (4.7)$$

В площі обпирання розподіл тиску нерівномірний. Епюри тиску різник котків на ґрунт наведено на рис. 4.10.

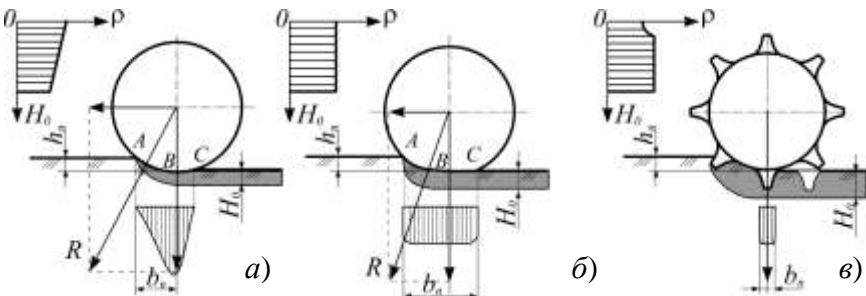


Рис. 4.10. Схеми взаємодії котка з ґрунтом: а – гладкий коток; б – пневмоколісний коток; в – кулачковий коток: H_0 – товщина шару ущільнення, R – результуюче зусилля тиску на ґрунт

Оптимальна товщина шару ущільненого ґрунту залежить від виду котків, їх параметрів, вологості ґрунту і визначається за формулами:

для гладких котків:

$$H_o = A \frac{\omega}{\omega_0} \sqrt{qR}, \quad (4.8)$$

для пневмоколісних котків:

$$H_o = A \frac{\omega}{\omega_0} \sqrt{\frac{Qp}{1-\xi}} \quad (4.9)$$

для кулачкових котків:

$$H_o = 0,65(L - 0,25b - h_1) \quad (4.10)$$

де ω , ω_0 – відповідно вологість ґрунту, що ущільнюється і оптимальна вологість, %; q – лінійний тиск котка, кН/см; R – радіус котка; Q – сила ваги одного колеса пневмоколісного котка, кН; p – тиск в шині, Н/см²; ξ – статичний коефіцієнт жорсткості шини, $\xi = f(p)$, $\xi = 0,6 \dots 0,16$ ($p = 10 \dots 60$ Н/см²); L – довжина котка; b – товщина кулачка; h_1 – товщина розпушеного шару після проходження кулачкового котка; A – експериментальний коефіцієнт (для гладких котків – 0,28 для зв’язних ґрунтів і 0,35 – для незв’язних; для пневмоколісних котків – 0,2).

При використанні гладких циліндричних котків ґрунт необхідно вкладати і розрівнювати шарами малої товщини.

Для збільшення глибини ущільнення на гладкі котки за допомогою болтів закріплюють бандажі із закріпленими на них кулачками. Сумарна опорна поверхня кулачків складає 4...5% поверхні циліндра, і, як наслідок, суттєве збільшення питомих тисків на ґрунт і більша глибина від поверхні ущільненого шару. Найбільша глибина ущільненого шару ґрунту наближена до подвійного значення висоти кулачка і величина її приблизно в два рази більше товщини шару при ущільненні ґрунту гладким котком тієї ж ваги.

Однак застосування кулачкових котків на незв’язних ґрунтах не ефективно через їх незначне ущільнення та податливість руйнуванню при вдавлюванні кулачка.

Схеми руху котків повинні бути ув’язані з розмірами поперечної перетину створюваних насипів. Залежно від ширини насипу ущільнення ґрунту може виконуватись з розворотом на насипу (при ширині насипу $a \geq 2R_{нов}$) і з розворотом зі з’їздом з насипу (при ширині насипу $a \leq 2R_{нов}$). В останньому випадку для розвороту котка за межами насипу необхідно влаштовувати з’їзди і виїзди.

При створенні якісного насипу земляну споруду розбивають на окремі ділянки (карти), на яких після вкладання і розрівнювання проводиться ущільнення ґрунту. Товщина шару розрівнювання ґру-

нту залежить від ущільнюючої спроможності котка і визначається за його технічною характеристикою.

Довжину ділянки приймають 100...300 м. Ущільнення повинно проводитись шарами від країв земляної споруди до її середини. При ущільненні ґрунту кожна наступна смуга ущільнення повинна перекривати на 0,1...0,2 м попередню ущільнену смугу.

Від краю насипу котки проходять не ближче 0,5 м, що призводить до появи неущільненої зони вздовж укосу. Не ущільнений ґрунт зрізується і направляється в насип.

4.3.2. Ущільнення ґрунту машинами динамічної дії

При ущільненні ґрунту машинами динамічної дії робочим органом ущільнюючих машин являються плити різних розмірів, ваги і форми, що скидаються на поверхню ґрунту з різної висоти. Явище удару плити по поверхні ґрунту протікає за короткий проміжок часу. За цей проміжок часу кінетична енергія падаючої плити передається частинкам ґрунту, викликаючи їх щільну укладку. Тому машинами динамічної дії можна ущільнювати ґрунти на більшу глибину, ніж котками.

Найпростішим обладнанням машин динамічної дії є кран з трамбуючою плитою. Плити є металічними або залізобетонними, круглої або квадратної форми. Багаторазове скидання плит на одне місце призводить до глибокого локального ущільнення ґрунту, після чого поворотом платформи на невеликий кут плита переноситься на нову позицію. Після закінчення ущільнення однієї смуги екскаватор переміщується на нову позицію. Крок дорівнює ширині плити мінус перекриття. Сила удару прямо пропорційна масі плити (G), висоті скидання (H) і обернено пропорційна тривалості удару і глибині занурення плити за один удар (h). Технологія ущільнення ґрунту машинами динамічної дії приведена на рисунку 4.11.

Однак швидке скидання плити призводить до значних динамічних навантажень у вузлах крана (опорні ролики поворотного пристрою та гусеничного ходу) і це призводить до підвищеного зношування машини [5].

При зворотному засипанні котлованів поблизу фундаментів та інших підземних споруд в умовах недоступних для роботи ущільнюючих машин, ґрунт ущільнюють за допомогою ручних пневматичних або електричних трамбівок.

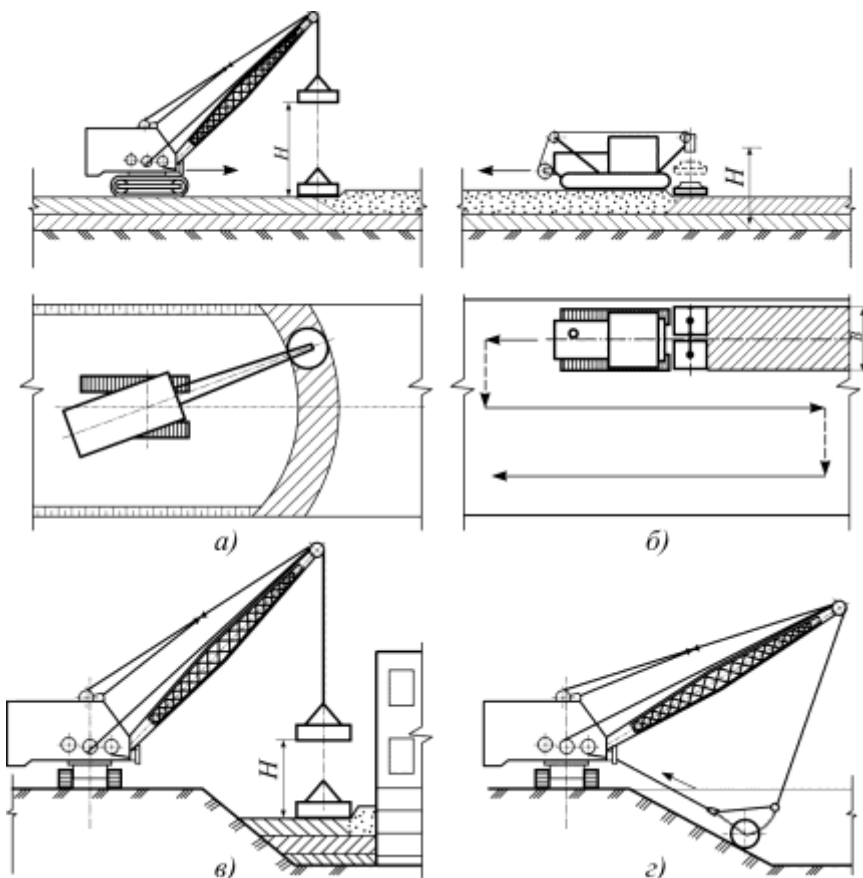


Рис. 4.4. Ущільнення ґрунту машинами динамічної дії: *a* – плитами на базі крана-екскаватора; *б* – ущільнюючою машиною на базі трактора; *в* – при засипанні котлованів; *г* – при закріпленні укосів

4.3.3. Ущільнення ґрунту машинами вібраційної дії

Машини і механізми вібраційної дії передають ґрунту частий коливальний рух. В результаті порушуються зв'язки між частинками, що спонукає їх взаємному руху і більш щільній укладці.

Ефективність вібрації залежить від механічного складу ґрунту (краще різномірний), вологості ґрунту, тривалості вібрації. Під дією вібрації значно змінюється коефіцієнт внутрішнього тертя (K_m) ґрунту. Так сухий пісок до вібрації мав $K_m=0,5$, під час вібрації – $K_m=0,07$, після вібрації – $K_m=0,85$. Інтенсивність ущільнення підвищується зі

збільшенням частоти коливань. В виробничих умовах використовують віброплити, віброущільнювачі поверхневі і глибинні, віброкотки.

Машина для ущільнення ґрунту вибирають з врахуванням лінійних розмірів, площі і форми поверхонь, що потребують ущільнення, обсягів і інтенсивності робіт, виду і властивостей ґрунтів, характеру дії ущільнюючих засобів на ґрунт і економічних показників.

Котки і ущільнюючі машини слід вибирати так, щоб напруга, що виникає в ґрунті не була руйнівною:

$$\sigma_{max} = (0,8 \dots 0,9) \sigma_{руйн}. \quad (4.11)$$

При використанні котків максимальний питомий тиск (МПа) на ґрунт не повинен перевищувати для мало зв'язних ґрунтів (легкі та середні супіски) 0,5...0,7 МПа; для ґрунтів середньої зв'язності (важкі супіски та легких суглинки) 0,7...1,0; для ґрунтів високого степеню зв'язності (середні, важкі та пилуваті суглинки) 1,0...1,4; дуже зв'язні (важкі суглинки і глини) 1,4...1,8 [5]. У всіх випадках товщина шару ґрунту, яку необхідно ущільнювати, не повинна перевищувати максимальної ущільнюючої здатності машини за технічною характеристикою.

Продуктивність машин для ущільнення оцінюється в одиницях площі (м²/год) або в одиницях об'єму (м³/год):

- для машин безперервної дії (котки, віброплити):

$$P_F = \frac{V(B-c)}{n} k_e, \quad (4.12)$$

де V - швидкість переміщення машини, м/год; B - ширина ущільненої смуги, м; c - ширина смуги перекриття, м; n - число проходів по одному сліду; k_e - коефіцієнт використання машини в часі;

- для машин циклічної дії:

$$P_F = 60 \frac{F m k_{nep}}{n} k_e, \quad (4.13)$$

де F - площа ударної поверхні плити, м²; m - число ударів за хвилину; k_{nep} - коефіцієнт перекриття, 0,8; n - число ударів необхідних для ущільнення, щоб досягнути проектної щільності.

Продуктивність в одиницях об'єму визначається за виразом

$$P_W = P_F H_y, \quad (4.14)$$

де H_y - товщина шару ґрунту в ущільненому стані, м.

Література

1. Технологія та організація гідромеліоративного будівництва: Підручник/ Кір'янов В.М., Білецький А.А., Кубишкін С.О., Москоченко В.Ф., Ольховик О.І., І.О. Соляной. За ред. В.М. Кір'янова.– Рівне: НУВГП, 2004 – 296 с.
2. Ткачук М.М. Організація водогосподарського будівельного виробництва. Рівне: РДТУ, 1998. – 243 с.
3. Роговский Т.Т. Организация и производство гидротехнических работ. К.: «Вища школа», 1981. – 303 с.
4. Громов В.И., Иванов Е.С. Организация и производство гидротехнических работ. М.: «Колос», 1974. – 432 с.
5. Ясинецкий В.Г., Фенин Н.К. Организация и технология гидромелиоративных работ.- Москва: Агропромиздат, 1986.- 352с.
6. ДБН А.3.1.5–2009. Організація будівельного виробництва. К.,2009.
7. ДБН Д.2.2–1–99. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Збірник 1. Земляні роботи.
8. Строительные машины Д. П. Волков, Н. И. Алешин, В. Я. Крикун, О. Е. Рынсков. Под ред. Д. П. Волкова. М.: «Высшая школа», 1988. – 319 с.

Розподіл ґрунтів на групи залежно від складності їх розробки

Найменування і коротка характеристика ґрунтів	Середня щільність в природному заляганні кг/м ³	Механізована розробка ґрунтів								Розробка ґрунтів вручну	Розпушення мерзлих ґрунтів	
		екскаваторами			скреперами	бульдозерами	ґрейдерами	ґрейдер-елеваторами	бурильно-крановими машинами			
		однокішевіми	траншейними ланцюговими	траншейними роторними								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1 Сезонномерзлі ґрунти:												
а) рослинний шар, торф, заторфовані ґрунти	1150	1	–	–	–	–	–	–	–	1М	1М	
б) піски, супіски, суглинки і глини без домішок	1750	2	–	–	–	–	–	–	–	1М	1М	
в) піски, супіски, суглинки і глини з домішкою гравію, гальки, щебеню в кількості до 20% і валунів до 10%	1950	3	–	–	–	–	–	–	–	2М	2М	
2 Гравійно-галечникові ґрунти(окрім морених) при розмірі часток :												
а) до 80 мм	1750	1	–	2	2	2	3	–	–	2	–	
б) понад 80 мм	1950	2	–	3	–	3	–	–	–	3	–	
в) понад 80 мм, зі змістом валунів до 10%	1950	3	–	4	–	3	–	–	–	3	–	
3 Глина												
а) м'яко і тугопластична без домішок	1800	2	2	2	2	2	2	2	1	2	3М	
б) м'яко і тугопластична, з домішкою щебеню, гальки, гравію або будівельного сміття до 10 %	1750	2	2	2	2	2	3		1	2	3М	
в) м'яко і тугопластична з домішкою більше 10 %	1900	3	–	3	2	2	–	–	–	3	4М	
г) м'яка карбонатна	1950	3	–	3	2	3	3	3	2	3	4М	

продовження додатка 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	д) тверда карбонатна, важка тяглова сланцева	1950 -2150	4	-	4	-	3	-	-	2	4	4м
4	Грунт рослинного шару :											
	а) без коренів кущів і дерев	1200	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1м
	б) з коренями кущів і дерев	1200	1	2	2	1	2	-	-	1	2	1м
	в) з домішкою щебеню, гравію або будівельного сміття	1400	1	2	2	1	2	-	-	-	2	2м
5	Лес:											
	а) м'якопластичний	1600	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2м
	б) тугопластичний з домішкою гравію або гальки	1800	1	2	2	2	1	2	-	-	2	2м
	в) твердий	1800	4	-	-	2	3	-	-	-	3	3м
6	Пісок:											
	а) без домішок	1600	1	2	2	2	2	2	3	1	1	1м
	б) з домішкою щебеню, гальки, гравію або будівельного сміття до 10%	1600	1	2	2	2	2	2	3	1	1	2м
	в) те ж, з домішкою більше 10%	1700	1	-	2	2	2	-	-	-	2	2м
	г) барханний і дюнный	1600	2	-	-	-	3	3	-	-	2	-
7	Суглинки:											
	а) легкі і лесовидні, м'якопластичні без домішок	1700	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2м
	б) теж, з домішкою гальки, щебеню, гравію або будівельного сміття до 10% і тугопластичні без домішок	1700	1	2	2	1	1	1	-	1	1	3м
	в) легкі і лесовидні, м'якопластичні з домішкою гальки, щебеню, гравію, або будівельного сміття більше 10% тугопластичні з домішкою до 10%, а також важкий напівтверді і тверді без домішок і з домішкою до 10%	1750	2	-	2	2	2	-	-	-	2	3м
	г) важкі, напівтверді і тверді з домішкою щебеню, гальки, гравію або будівельного сміття більше 10%	1950	3	-	4	-	2	-	-	-	3	3м

закінчення додатка 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8	Супісок:											
	а) легкий, пластичний без домішок	1650	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1м
	б) твердий без домішок, а також пластичний і твердий з домішкою щебеню, гальки, гравію або будівельного сміття до 10%	1650	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2м
	в) те ж, з домішкою до 30%	1800	1	–	2	2	2	–	–	–	2	2м
	г) те ж, з домішкою більше 30%	1850	1	–	2	2	2	–	–	–	3	2м
9	Торф:											
	а) без деревних коренів	800– 1000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2м
	б) з деревними коренями завтовшки до 30 мм	850– 1050	1	1	1	1	1	–	"	1	2	2м
	в) те ж, більше 30 мм	900– 1200	2	–	1	–	2	–	–	–	2	2м
10	Чорнозем і каштановий ґрунт:											
	а) м'який, пластичний	1300	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2м
	б) те ж, з коренями кущів і дерев	1300	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2м
	в) твердий	1200	2	2	2	2	2	3	3	2	3	2м
11	Щебінь:											
	а) при розмірі часток до 40 мм	1750	2	–	–	–	3	–	–	–	2	–
	б) при розмірі часток до 150 мм	1950	2	–	–	–	3	–	–	–	3	–