

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

М. М. Балака, Д. О. Міщук

СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЙ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ У ТРАНСПОРТНОМУ БУДІВНИЦТВІ

*Рекомендовано вченою радою Київського національного
університету будівництва і архітектури як навчальний посібник
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за
спеціальностями G9 «Прикладна механіка», G11 «Машинобудування»
та G19 «Будівництво та цивільна інженерія»*

Київ 2025

УДК 624.13:625.7/.8(075.8)

Б20

Рецензенти: *А. М. Онищенко*, д-р техн. наук, професор,
Національний транспортний університет;
І. І. Назаренко, д-р техн. наук, професор,
Академія будівництва України;
Ю. О. Ромасевич, д-р техн. наук, професор,
Національний університет біоресурсів і
природокористування України

Затверджено на засіданні вченої ради Київського національного університету будівництва і архітектури, протокол № 36 від 24 вересня 2025 року.

Балака М. М.

Б20 Системи технологій земляних робіт у транспортному будівництві: навч. посіб. / М. М. Балака, Д. О. Міщук. – Київ: Компринт, 2025. – 224 с.

ISBN 978-617-8571-98-6

Містить систематизований виклад теоретичних та прикладних аспектів виконання земляних робіт у транспортному будівництві. Розглянуто класифікацію та властивості ґрунтів, принципи організації та механізації земляних процесів, технології виконання основних і спеціалізованих робіт, особливості зведення земляних споруд у складних умовах, а також сучасні технічні рішення, спрямовані на автоматизацію процесів і підвищення екологічної ефективності будівництва.

Призначено для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за технічними спеціальностями з транспортного будівництва, механізації та експлуатації спеціалізованої техніки.

УДК 624.13:625.7/.8(075.8)

© М. М. Балака,
Д. О. Міщук, 2025

ISBN 978-617-8571-98-6

© КНУБА, 2025

Зміст

Передмова	5
Розділ 1. Земляні роботи у транспортному будівництві	7
1.1. Призначення та класифікація земляних споруд	7
1.2. Організація земляних робіт	13
1.3. Основні характеристики ґрунтів	16
1.4. Машини для земляних робіт	20
1.5. Потокова організація і комплексна механізація	22
Запитання для самоконтролю	29
Розділ 2. Технології виконання земляних робіт	30
2.1. Підготовчі та допоміжні роботи	30
2.2. Технологія бульдозерних робіт	46
2.3. Технологія скреперних робіт	58
2.4. Технологія грейдерних робіт	71
2.5. Технологія екскаваторних і навантажувальних робіт	80
Запитання для самоконтролю	97
Розділ 3. Зведення земляних споруд	99
3.1. Вертикальне планування площадок	99
3.2. Розробка котлованів і траншей	103
3.3. Насипи із зв'язних ґрунтів	117
3.4. Методи ущільнення ґрунтів	120
Запитання для самоконтролю	124
Розділ 4. Земляні роботи в особливих умовах	125
4.1. Земляні роботи при реконструкції об'єктів	125
4.2. Буропідривна розробка ґрунтів	133
4.3. Безтраншейні технології прокладання трубопроводів	139
4.4. Гідромеханічна розробка ґрунтів	145
4.5. Роботи у мерзлих ґрунтах	147
Запитання для самоконтролю	156
Розділ 5. Основи дорожнього будівництва	157
5.1. Загальна характеристика дорожньо-будівельних робіт	157

5.2. Поліпшення стану ґрунтових доріг і основ	168
5.3. Технології улаштування дорожніх покриттів	170
Запитання для самоконтролю	180
Розділ 6. Сучасні та перспективні технології	181
6.1. Геосинтетичні матеріали в земляних спорудах	181
6.2. GPS-контроль і автоматизовані системи керування	188
6.3. Технології сталого розвитку у транспортному будівництві ..	202
Запитання для самоконтролю	211
Список літератури	213
Глосарій	218

Передмова

Розвиток транспортної інфраструктури є одним із ключових чинників соціально-економічного зростання держави, інтеграції в міжнародний простір, забезпечення мобільності населення та ефективного функціонування логістичних систем. У цьому контексті особливого значення набуває підготовка висококваліфікованих інженерних кадрів, здатних приймати технічно обґрунтовані, екологічно безпечні й економічно доцільні рішення під час реалізації інфраструктурних проєктів.

Земляні роботи становлять основу більшості процесів транспортного будівництва. Вони передують зведенню майже всіх інженерних споруд: автомобільних доріг, залізниць, аеродромів, мостів, трубопроводів, мереж водо-, газо- та електропостачання, каналізаційних систем тощо. Масштаби і складність цих процесів, а також їхній вплив на подальші етапи будівництва зумовлюють високі вимоги до технологічного проєктування, організації та механізації.

Висока трудомісткість земляних робіт потребує ефективного застосування машинно-механізованих комплексів, сучасних технічних рішень. Недостатній рівень механізації чи організаційні прорахунки призводять до перевитрат ресурсів, порушення графіків будівництва та зниження якості споруд. Натомість впровадження інновацій – геосинтетичних матеріалів, GPS-моніторингу, автоматизованих систем керування, безтраншейних і гідромеханічних методів тощо – суттєво підвищує ефективність і надійність робіт.

Для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальностями G9 «Прикладна механіка», G11 «Машинобудування», G19 «Будівництво та цивільна інженерія» знання технологій земляних робіт є важливою складовою професійної підготовки. Поєднання теоретичних засад механіки ґрунтів, будівельної техніки, організації виробництва, економічних розрахунків і питань охорони праці формує цілісне розуміння процесів транспортного будівництва та забезпечує міждисциплінарний підхід.

Посібник має універсальний характер і спрямований на розвиток комплексних компетентностей, інтегруючи знання інженерних, технічних і організаційно-економічних аспектів земляних робіт, що забезпечує практичну готовність магістрів до професійної діяльності у транспортному будівництві та суміжних галузях.

Метою посібника є формування у здобувачів цілісного уявлення про теоретичні та прикладні аспекти виконання земляних робіт у транспортному будівництві. Зміст охоплює класифікацію і властивості ґрунтів, вибір та застосування машин і обладнання, основні та спеціалізовані технологічні процеси, особливості робіт у складних інженерно-геологічних умовах, а також сучасні технічні рішення для автоматизації та підвищення екологічної ефективності будівництва.

Підготовка навчального посібника ґрунтується на матеріалах конспекту лекцій, розробленого авторським колективом кафедри будівельних машин КНУБА у попередні роки. Автори щиро вдячні колегам за змістовну методичну базу, що стала надійною відправною точкою для створення оновленого і адаптованого до сучасних освітніх вимог навчального видання.

Матеріал викладено у логічній послідовності, що відповідає етапам формування професійних компетентностей здобувачів. Така структура сприяє ефективному засвоєнню змісту та полегшує самостійне опрацювання матеріалу завдяки контрольним запитанням після кожного розділу та глосарію ключових термінів.

Посібник може бути використаний як основний навчальний ресурс під час вивчення курсу, виконання розрахунково-графічних і проектних завдань, а також у процесі професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі транспортного будівництва, механізації та експлуатації спеціалізованої техніки.

Внесок авторів

Балака М. М. підготував передмову, підрозділи 2.4–2.5, розділи 3 і 5 та підрозділи 6.2–6.3, а Міщук Д. О. – розділ 1, підрозділи 2.1–2.3, розділ 4 та підрозділ 6.1. Загальне редагування та узгодження матеріалів, а також підготовку списку літератури та глосарію здійснено спільно.

Розділ 1

Земляні роботи у транспортному будівництві

1.1. Призначення та класифікація земляних споруд

Транспортне будівництво посідає вагоме місце в структурі економіки держави та є основою розвитку промислових і логістичних систем. Ефективне функціонування транспортної інфраструктури залежить від якісного проєктування, належного технічного забезпечення та раціональних інженерних рішень. Одним із ключових етапів у реалізації проєктів транспортного будівництва є земляні роботи, які формують геометричну та конструктивну основу для подальшого зведення земляних споруд. Їх виконання потребує точних інженерних розрахунків, урахування властивостей ґрунтів і застосування техніки.

Земляні споруди створюються шляхом виїмки ґрунту в природному масиві з подальшим його видаленням або відсіпанням з ґрунту, добутого у спеціально відведених резервах або кар'єрах.

Залежно від тривалості експлуатації земляні споруди поділяються на постійні (виїмки та насипи автомобільних доріг, дамби, греблі, кювети тощо) та тимчасові (траншеї під фундаменти будівель і споруд, прокладання трубопроводів та кабельних ліній, котловани тощо).

Постійні споруди забезпечують виконання функцій упродовж тривалого періоду. Тимчасові споруди підлягають ліквідації після завершення будівельних робіт. Їх основне призначення – забезпечення захисту будівельного майданчика або споруди, що зводиться, від дії поверхневих і ґрунтових вод, а також облаштування підземних частин споруд або інженерних комунікацій.

Форма, вид та розміри земляних споруд визначаються їх функціональним призначенням і можуть змінюватися залежно від рельєфу місцевості. До таких споруд належать: сплановані площадки, котловани, траншеї, дамби, канали, греблі, дорожні виїмки й насипи.

Земляна споруда, утворена внаслідок розробки ґрунту нижче рівня земної поверхні з його подальшим видаленням, називається виїмкою. Споруда, що формується шляхом відсіпання ґрунту на поверхню, називається насипом. Проміжним типом між виїмкою та

насипом є напівнасип-напіввиїмка, що характерна, наприклад, для створення земляної споруди на крутому схилі.

Раціональне чергування виїмок і насипів дозволяє ефективно використовувати вилучений ґрунт для зведення насипів. У випадку, коли ґрунт із виїмки непридатний або його надлишок перевищує потреби, надлишок відвозять у відвали. Якщо ж об'єм ґрунту з виїмки недостатній, додатковий матеріал доставляють з кар'єрів або резервів, розташованих уздовж лінії спорудження насипів – як це практикується, зокрема, у дорожньому будівництві. У всіх випадках при проєктуванні й будівництві каналів, доріг та інших споруд важливо забезпечити баланс між об'ємами виїмок і насипів, що дозволяє оптимізувати витрати на виконання земляних робіт.

Виїмки влаштовують для формування русел каналів, земляного полотна автомобільних доріг і залізниць, котлованів і траншей (рис. 1.1).

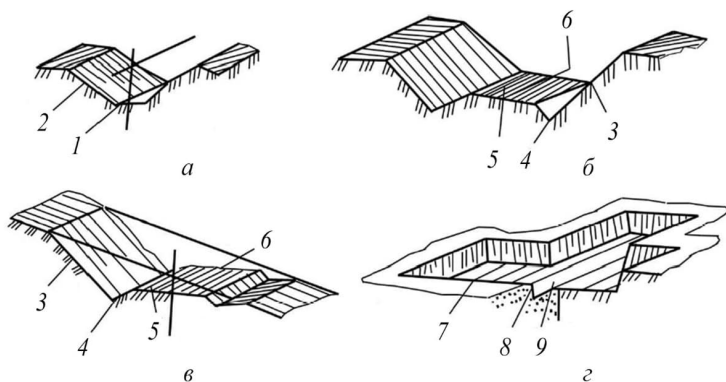


Рис. 1.1. Схеми земляних споруд у виїмках:

а – русло каналу; *б* – земляне полотно дороги; *в* – земляне полотно дороги на косягорі; *г* – котлован; 1 – дно каналу; 2 – боковий укіс каналу; 3 – боковий укіс дорожньої виїмки; 4 – водовідвідний кювет; 5 – дорожнє полотно; 6 – вісь дорожнього полотна; 7 – контур котловану в плані; 8 – бокова стінка; 9 – дно котловану

Канал у виїмці (рис. 1.1, *а*) формується за рахунок дна та двох бічних укісів. Площа поперечного перерізу каналу визначається відповідно до об'єму води, що має протікати через даний переріз за

одиницю часу при заданій швидкості течії. Полотно автомобільної дороги у виїмці (рис. 1.1, б) обмежене з обох боків кюветами, які слугують для збирання й відведення за межі виїмки дощових і талих вод, що стікають з укосів та поверхні проїзної частини. Для забезпечення ефективного водовідведення на полотні передбачено поздовжні та поперечні уклони, симетричні відносно його осі. Полотно дороги у виїмці на косогорі (рис. 1.1, в) облаштовується, як правило, з одним кюветом, розташованим з нагірного боку схилу, обмеженого укосом. З протилежного боку полотна стік води відбувається вільно, тому влаштування кювету не є обов'язковим. Котловани (рис. 1.1, г) використовуються для різних цілей, зокрема при зведенні підземних частин споруд, тому їхня конфігурація в плані, а також глибина, можуть суттєво відрізнятися. Залежно від призначення, дно котловану може бути горизонтальним, похилим або ступінчастим.

Насипи зводяться з метою формування земляного полотна доріг у понижених ділянках рельєфу, прокладання каналів через западини, а також при будівництві гідротехнічних споруд, таких як греблі й дамби.

Земляне полотно дорожнього насипу (рис. 1.2, а) влаштовується шляхом відсипання ґрунту на природну поверхню землі до висоти від 0,50 м до 15 м і більше. Для забезпечення ефективного відведення поверхневих вод верхня частина насипу планується з поздовжнім ухилом та з боковими поперечними уклонами в обидва боки відносно осі дороги. Оскільки стік води з поверхні насипу не обмежується, влаштування бокових кюветів у цьому випадку не передбачається.

Насипи для каналів (рис. 1.2, б) зводяться аналогічно дорожнім. У випадку каналів невеликого перерізу насип формується повністю, після чого в ньому вирізається русло каналу заданої форми. Для великих каналів насип формується одразу з урахуванням необхідного поперечного профілю й розмірів русла.

Греблі (рис. 1.2, в) зазвичай споруджуються поперек ярів, суходолів або русел річок з метою створення замкненого водоймища у природній западині рельєфу. У таких випадках гребля влаштовується врівень з існуючою поверхнею землі або з підвищенням, залежно від потреби у створенні напірного фронту води.

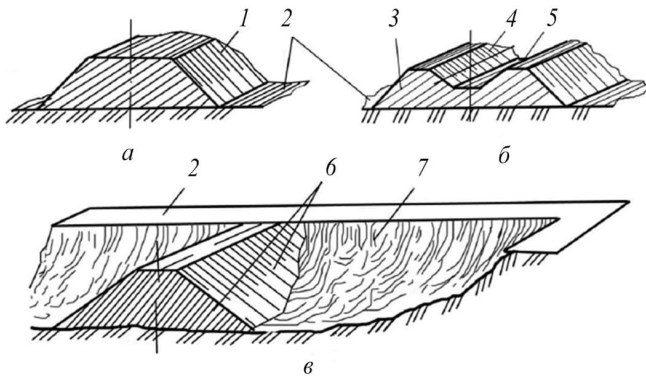


Рис. 1.2. Схеми земляних споруд у насапах:

а – земляне полотно; *б* – канал у насапу; *в* – гребля; 1 – земляне полотно; 2 – поверхня землі; 3 – насип каналу; 4 – боковий укіс каналу; 5 – дно каналу; 6 – тіло греблі; 7 – западина земної поверхні

Напівнасипи-напіввиїмки застосовуються для влаштування дорожнього земляного полотна на крутих косогорах і рівнинній місцевості, а також для прокладання каналів у випадках, коли необхідно, щоб рівень води в каналі був вищим за рівень навколишньої місцевості. Зазвичай насипна частина таких споруд формується з ґрунту, вилученого під час розробки виїмки.

На рівнинних ділянках дорожнє полотно у формі напівнасипу-напіввиїмки облаштовується іншим чином: викопуються два бокові кювети, а добутий з них ґрунт переміщується в центральну частину споруди, утворюючи насип, який піднімає проїзну частину на 0,50–1,00 м над рівнем навколишньої місцевості (рис. 1.3, *а*). У таких умовах відстань переміщення ґрунту мінімальна. Підвищене положення дорожнього полотна сприяє кращому сніговидаленню в зимовий період – під дією вітру сніг здувається з проїзної частини.

Під час будівництва дороги на крутому косогорі (рис. 1.3, *б*) виїмка влаштовується з укосом і кюветом. Добутий ґрунт частково використовується для зведення насипної частини, решту – вивозять. Для запобігання сповзанню насипу по схилу, поверхню косогору заздалегідь готують – її формують у вигляді сходинок (терас), які забезпечують кращу стабільність конструкції.

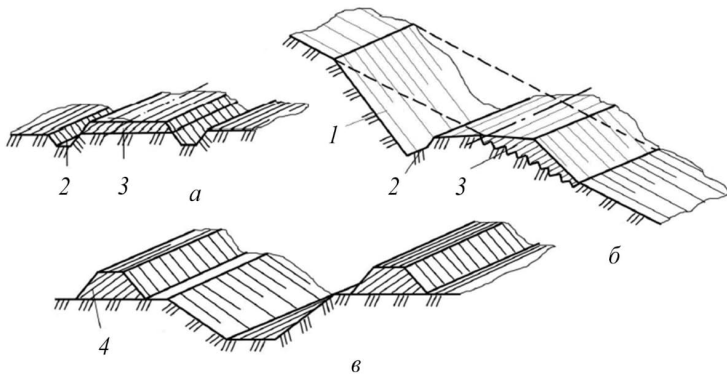


Рис. 1.3. Схеми земляних споруд у напіввиїмках-напівнасіпах:
а – земляне дорожнє полотно на рівнинній місцевості; *б* – земляне дорожнє полотно на крутому косогорі; *в* – канал у напіввиїмці-напівнасіпі; *1* – укіс виїмки; *2* – кювет; *3* – насип; *4* – бокова дамба

Бокові дамби каналів у напівнасіпах-напіввиїмках (рис. 1.3, *в*) формуються з ґрунту, який виймається безпосередньо з русла каналу. Дамби та саме русло облаштовуються з ухилами достатньої пологості, що запобігає розмиванню укосів водою під час експлуатації каналу.

У випадку, коли об'єм ґрунту з виїмки є недостатнім для зведення насипу необхідної висоти (наприклад, при використанні ґрунту з кюветів), можливе збільшення ширини та глибини кюветів понад розміри, необхідні для відведення води. Додатковий ґрунт, отриманий при цьому, використовують для формування насипу.

Якщо ж збільшення розмірів кюветів є технічно або екологічно неприпустимим, тоді ґрунт для насипу добувається з іншої виїмки, розташованої на певній відстані від дороги, що будується. Розширений кювет, штучна виїмка або будь-яка інша ділянка, з якої береться ґрунт для зведення насипу, називається резервом.

У протилежному випадку, коли кількість ґрунту з виїмки перевищує потреби або ж його якісні характеристики не дозволяють використання для будівництва насипу, надлишковий матеріал вивозиться і відсипається у вигляді зрізаної піраміди. Такі штучні насипи надлишкового ґрунту називають кавальєрами.

На рис. 1.4 у поперечному перерізі представлено суміжне розташування насипу та резерву, з ґрунту якого утворено цей насип. Незалежно від призначення земляної споруди, прийнято такі терміни: верхня кромка укосу – брівка; нижня кромка укосу – підшова; уступ між підшовою верхнього укосу та брівкою нижнього укосу – берма.

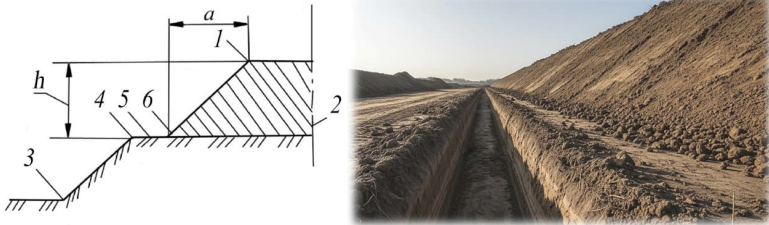


Рис. 1.4. Схема та приклад насипу і резерву:

1 – брівка насипу; 2 – вісь насипу; 3 – підшова укосу виїмки; 4 – брівка укосу виїмки; 5 – берма; 6 – підшова укосу насипу; h – висота укосу насипу; a – горизонтальна проекція укосу

У земляних спорудах крутість укосів характеризується так званим закладенням укосу – відношенням горизонтальної проекції укосу a до його висоти h . Це співвідношення зазвичай задається у вигляді, наприклад, $a:h=2:1$. У практиці приймаються округлені значення відношення для зручності розрахунків і виконання робіт.

На схемах організації земляних робіт (рис. 1.5), як правило, межа забою позначається лініями зі штриховкою з внутрішнього боку, тоді як відвал – лініями зі штриховкою з зовнішнього боку.

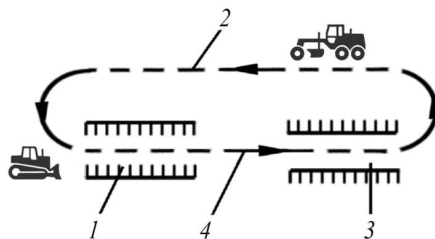


Рис. 1.5. Схема організації земляних робіт: 1 – забій; 2 – шлях зворотного або порожнього ходу машини (пунктирна лінія зі стрілкою); 3 – відвал; 4 – шлях завантаженого ходу машини (суцільна лінія зі стрілкою)

1.2. Організація земляних робіт

До складу робіт зі створення земляних споруд входять підготовчі, допоміжні та основні роботи.

До підготовчих робіт належать очищення території від рослинності та сторонніх предметів, знесення існуючих будівель і споруд, видалення рослинного шару ґрунту, відведення поверхневих вод, геодезичне розбивання земляних споруд.

До допоміжних робіт відносяться водовідлив і водозниження, штучне закріплення ґрунтів, огороження виїмок від впливу ґрунтових і поверхневих вод, улаштування кріплень котлованів і траншей.

Основними роботами при зведенні земляних споруд є розпушення, розробка та транспортування ґрунту, відсипання та ущільнення ґрунту, підчищення дна і стінок котлованів та траншей, формування укосів насипів.

Виконання основних земляних робіт можливе лише після завершення організаційно-підготовчих заходів.

Будівництво лінійних споруд (доріг, каналів тощо) повинно здійснюватися потоковим методом, що забезпечує безперервність виконання робіт у суворій технологічній послідовності.

Всі роботи з будівництва земляних споруд мають виконуватися відповідно до робочих креслень. Будь-які відступи від проєктних рішень повинні бути погоджені з проєктною організацією.

Вибір ведучих та допоміжних машин має ґрунтуватися на прогресивних технологіях та забезпечувати повне використання технічних характеристик машин. Остаточний вибір комплекту машин здійснюється на основі зіставлення техніко-економічних показників можливих варіантів механізованого виконання робіт: собівартості, трудомісткості, продуктивності та тривалості робіт.

Кількість і вантажопідйомність транспортних засобів, що обслуговують екскаватори, визначаються залежно від місткості ковша, відстані переміщення ґрунту, умов навантаження та вивантаження.

Геотехнічний контроль під час виконання земляних робіт здійснюється контрольними постами, лабораторіями і засобами, які функціонують у складі будівельних організацій.

Усі приховані роботи підлягають обов'язковому прийманню з оформленням актів огляду. Відповідальні конструктивні елементи земляних споруд приймаються у процесі будівництва з оформленням актів проміжного приймання.

Комплексна механізація земляних робіт передбачає виконання основних і допоміжних процесів за допомогою комплекту машин, які пов'язані між собою технологічним призначенням, продуктивністю та експлуатаційними параметрами. Такі комплекти функціонують як єдина система, забезпечуючи неперервне виконання операцій у технологічній послідовності.

До комплекту машин входить одна або кілька ведучих машин, що виконують основний процес (наприклад, розробку ґрунту), а також допоміжні машини – для попереднього розпушення, транспортування, розрівнювання та ущільнення ґрунту. В окремих випадках усі етапи можуть виконуватись однією машиною, наприклад скрепером, який поєднує виїмання, транспортування, укладання і часткове ущільнення ґрунту. Ведуча машина визначає продуктивність усього комплекту, а також впливає на його склад і організацію виконання робіт. Основні параметри машин (місткість ковша екскаватора, вантажопідйомність самоскида тощо) мають бути сумісними, щоб забезпечити максимальне завантаження всіх машин, насамперед – ведучих.

Підбір машин здійснюється з урахуванням їх ефективності для виконання конкретного виду земляних робіт. Наприклад, при розробці котлованів і траншей враховуються габарити ковша відповідно до ширини й глибини виїмки, способи вивантаження ґрунту, а також продуктивність, що відповідає обсягу запланованих робіт.

Для забезпечення безперервної роботи комплекту і максимально ефективного використання ведучих машин, продуктивність допоміжних машин повинна дорівнювати або перевищувати продуктивність ведучої ланки на 10–15%.

Склад комплекту машин (табл. 1.1) залежить від виду земляної споруди, обсягу робіт, фізико-механічних властивостей ґрунтів, строків виконання робіт, умов будівництва (рельєф, відстані переміщення, сезонність, розташування виїмок і насипів тощо).

Таблиця 1.1

Типові комплекти машин для земляних робіт

№	Вид земляних робіт	Ведуча машина	Допоміжні машини	Тип ґрунтів
1	Виймка (траншеї, котловани)	Екскаватор	Самоскиди, бульдозер, розпушувач	Суглинки, супіски, легкі глини, піски
2	Насипання земляного полотна	Скрепер або бульдозер	Коток, автогрейдер, водовоз	Піски, супіски, ущільнюванні глини
3	Формування дорожнього полотна	Автогрейдер	Коток, водовоз, бульдозер	Висушені піски, дрібнозерністі ґрунти
4	Розробка ґрунту у кар'єрі	Екскаватор з великим ковшем	Самоскиди, розпушувач	Щільні глини, вапняки, мергелі
5	Канали у насипу або напіввиймці	Скрепер або екскаватор	Бульдозер, автогрейдер, коток	Піски, торфи, лесові ґрунти
6	Зведення гребель, дамб	Бульдозер або скрепер	Самоскиди, коток, водовоз	Глини, суглинки, кам'яністі суміші
7	Рекультивация (вивезення кавальєрів)	Екскаватор або навантажувач	Самоскиди, бульдозер	Насипні, порушені, перемішані ґрунти
8	Роботи в обмежених умовах (місто)	Малогабаритний екскаватор / навантажувач	Самоскиди малого типу, віброкотки	Будь-які ґрунти, переважно піски, супіски

Залежно від конкретних умов, кількість ведучих і допоміжних машин може змінюватися, окремі ланки можуть бути відсутніми, а ведучі машини – розташовуватись на початку, середині або в кінці механізованого потоку.

1.3. Основні характеристики ґрунтів

Ґрунти – це гірські породи, що утворюють поверхневі шари земної кори. Вони слугують основою або матеріалом (рис. 1.6) для зведення інженерних споруд. Залежно від походження, стану та механічної міцності, ґрунти поділяються на п'ять основних класів: скельні, напівскельні, великоуламкові, піщані та глинисті.

Скельні ґрунти – це зцементовані, водостійкі та практично нестисливі гірські породи з межею міцності на стискання не менше ніж 5 МПа. До них належать, зокрема, граніти, пісковики, вапняки.

Напівскельні ґрунти – це зцементовані гірські породи з межею міцності на стискання до 5 МПа, здатні до ущільнення. До цієї групи відносять, наприклад, мергелі, скам'янілі глини, а також неводостійкі породи, такі як гіпс і гіпсоносні конгломерати.

Великоуламкові ґрунти складаються з незцементованих уламків порід, що утворюють скельні та напівскельні ґрунти.

Піщані ґрунти – це незцементовані частинки (зерна) гірських порід розміром від 0,05 до 2 мм, які є продуктами природного руйнування та вивітрювання скельних ґрунтів.

Глинисті ґрунти також є результатом природного руйнування первинних гірських порід. Вони складаються з частинок розміром менше ніж 0,005 мм, які мають високу зв'язність і здатність утримувати вологу, що зумовлює їх характерні пластичні властивості.



Рис. 1.6. Зразки основних типів будівельних ґрунтів

Скельні ґрунти потребують попереднього руйнування, найпоширенішим методом якого є вибухове руйнування. У результаті такої обробки їх опір розробці знижується до рівня опору великоуламкових ґрунтів, що дозволяє застосовувати ті ж самі землерийні машини.

Особливістю мерзлих ґрунтів (піщаних і глинистих) є суттєве підвищення їхньої міцності – у 50–60 разів порівняно з показниками в розталому стані. Це також зумовлює необхідність попереднього руйнування перед розробкою.

Основними об'єктами розробки в будівництві є піщані, глинисті, великоуламкові й напівскельні ґрунти, які розробляються за допомогою машин для земляних робіт. Разом з тим, найбільші обсяги земляних робіт у будівництві припадають саме на піщані та глинисті ґрунти, фізико-механічні властивості яких наведено в таблиці 1.2.

Піщані ґрунти утворені частинками різної форми, які не мають зв'язків між собою. Завдяки наявності порожнин між зернами піски добре пропускають воду. У чистому вигляді, без домішок, піски не мають пластичних властивостей незалежно від ступеня зволоження.

Суміші піску з глиною утворюють проміжні типи ґрунтів. До них належать: супіски – містять від 5 до 20% глинистих частинок, суглинки – містять від 20 до 25% і більше глини.

Глинисті ґрунти складаються з дрібнодисперсних частинок, які щільно прилягають одна до одної. У материковому заляганні глини практично не пропускають воду, утворюючи водотривкі шари. За умов підвищеного зволоження глини набувають пластичних властивостей.

Глини, що містять домішки піску (понад 4%), класифікуються як піщані глини. Глинисті частинки відіграють роль зв'язувального елементу в ґрунтовій масі. При певному складі такі ґрунти здатні змінювати форму під дією зовнішніх навантажень без руйнування структури та розпаду на окремі частинки. Залежно від вмісту глинистих часток, ґрунти поділяють на: зв'язні – із вмістом глини 5% і більше, незв'язні – із вмістом глини менше ніж 5%.

Окрім мінеральних, існують ґрунти органічного (рослинного) походження, зокрема: торф, чорнозем і каштанові ґрунти. Чорнозем і каштанові ґрунти, як правило, містять домішки піску та глини.

Таблиця 1.2

Фізико-механічні властивості ґрунтів

Характеристика ґрунтів	Пісок	Супісок	Суглинок	Глина
Зчеплення, МПа	—	0–0,02	0,05–0,55	0,05–0,10
Кут внутрішнього тертя, град	30–35	25–30	37–40	35–45
Кут зовнішнього тертя ґрунту по сталі, град	20–27	18–25	27–37	30–35
Густина ґрунту у щільному тілі, кг/м ³	1600–2000	1500–1700	1400–2000	1700–2000
Коефіцієнт розпушення	1,10–1,15	1,18–1,25	1,20–1,40	1,20–1,32
Коефіцієнт бокового тиску	0,40–0,45	0,45–0,55	0,50–0,70	0,70–0,75
Коефіцієнт проникливості, мм ² :				
масив	1–5	0,10–0,50	0,10	< 0,001
стружка	60–120	110–170	25–40	15–35
розпушений ґрунт	60–120	160–290	300–400	90–130
Ймовірність розробки ґрунтів бульдозерами	0,12	0,24	0,44	0,15

Ґрунти будь-якого генезису, що містять значну кількість мінеральних солей, формують солончаківі утворення. Крім того, у складі пісків, глин та інших ґрунтів можуть міститися уламкові включення кам'яного походження, серед яких: гравій крупністю 40–80 мм, галька – 80–150 мм, буличник – понад 150 мм. Наявність таких включень істотно ускладнює механізовану розробку ґрунтів.

Усі перелічені типи ґрунтів можуть розроблятися землерийними машинами в умовах природного залягання. У цьому стані ґрунт має найменший об'єм та найбільшу густину, що відповідає щільному тілу ґрунту. У процесі розробки ґрунту машинами для земляних робіт його

структура порушується, відбувається розпушування, внаслідок чого об'єм ґрунту збільшується. У такому стані ґрунт називається пухким.

Ґрунти, які використовуються як будівельний матеріал для зведення земляних споруд, характеризуються рядом фізико-механічних властивостей, серед яких основними є: зв'язність, водовбирання, водопроникність, розпушуваність, здатність утримуватися на укосах (визначається кутом природного укосу), а також ущільнюваність.

Зв'язність ґрунту – це характеристика, що визначається зусиллям, необхідним для роз'єднання його частинок. Найбільшу зв'язність мають скельні та глинисті ґрунти.

Водовбирання – здатність ґрунту вбирати воду без пропускання. Властивість притаманна, зокрема, глині. Залежно від вологовмісту, ґрунти поділяються на: сухі – до 5% вологи, вологі – до 30%, мокрі – понад 30%. Водопроникність – властивість ґрунту пропускати через себе воду. Найбільш водопроникними є піщані ґрунти, завдяки наявності міжчастинкових порожнин.

Розпушуваність – здатність ґрунту збільшуватись в об'ємі при розробці. Відношення об'єму розпушеного ґрунту до його об'єму у щільному тілі називається коефіцієнтом розпушення. Як правило, цей показник залежить від типу ґрунту і становить: для глин та суглинків – 26–32%, для пісків – 10–15%.

Кут природного укосу визначає здатність розпушеного ґрунту утримуватись на укосах без осипання. Значення кута природного укосу залежить від типу ґрунту та ступеня зволоження. Наприклад: для піщаних ґрунтів – 15–30°, для суглинків – 25–50°, причому менші значення характерні для більш зволжених ґрунтів.

Ущільнюваність – властивість ґрунту щільно укладатися в насипи, що залежить від його середньої величини густини, яка, в свою чергу, визначається як відношення маси ґрунту до його об'єму та виражає ступінь компактності ґрунтової маси.

Перелічені властивості суттєво впливають на вибір ґрунтів для зведення земляних споруд, визначаючи їх придатність, стійкість конструкцій, міцність основ під будівлі та споруди, а також доцільні методи механізованої розробки.

Гравійні, піщані та супіщані ґрунти доцільно використовувати під час будівництва земляних споруд, оскільки вони характеризуються достатньою стійкістю і протидіють розмоканню. Менш сприятливими для таких цілей є пилюваті та дрібні супіщані ґрунти. Ці малозв'язні породи у водонасиченому стані переходять у стан пливунів, внаслідок чого втрачають несучу здатність. Укоси насипів, сформованих із таких ґрунтів, легко розмиваються водою.

Суглинисті ґрунти вважаються надійнішими порівняно з пилюватими, оскільки мають відносно високу зв'язність та добре піддаються ущільненню.

Глинисті ґрунти малоприсадибні для використання у земляному полотні, оскільки під час розробки та укладання у насип утворюють грудкувату масу. Це зумовлює їхню нестійкість, особливо у вологому стані, а також ускладнює процес ущільнення.

Лесові ґрунти, за умови якісного ущільнення, здатні забезпечити формування міцних і водостійких земляних споруд.

Торф'яні ґрунти, а також ґрунти з вмістом органічних домішок понад 8–10%, є непридатними для зведення земляних конструкцій, оскільки за зміни вологості суттєво змінюють свій об'єм і густину.

Залежно від складності розроблення машинами для земляних робіт, ґрунти класифікуються на шість груп. Окремо встановлено класифікацію для немерзлих ґрунтів (I–VI) та мерзлих (Im–III_m). У відповідних довідкових матеріалах подано короткі характеристики кожної групи ґрунтів, а також середні значення їхньої густини.

1.4. Машини для земляних робіт

Залежно від будівельних властивостей ґрунтів, земляні роботи виконують механічним, гідромеханічним, вибуховим, комбінованим або іншими спеціальними методами. Найбільш поширеним є механічний метод, який полягає у розробці ґрунту за допомогою землерийних (одноківшевих і багатоківшевих екскаваторів) та землерийно-транспортних (бульдозерів, скреперів, грейдерів, грейдерів-елеваторів) машин. У будівництві цим способом виконується близько 80–85% обсягу земляних робіт.

Одноківшеві екскаватори – універсальні землерийні машини, призначені для розробки котлованів, траншей, каналів, а також для будівництва насипів та інших земляних споруд. Залежно від виду навісного обладнання вони можуть бути оснащені:

- прямою або зворотною лопатою – для копання ґрунту вище або нижче рівня стоянки машини (траншеї, котловани);
- драглайном – для розробки ґрунтів нижче рівня стоянки (глибокі котловани, широкі траншеї, насипи);
- грейфером – для копання відносно глибоких, але вузьких котлованів;
- телескопічним обладнанням – для виконання планувальних робіт (екскаватори-планувальники).

У промисловому та цивільному будівництві найчастіше застосовують прямі й зворотні лопати з ковшами місткістю 0,40–1,25 м³, а також драглайни та грейфери з ковшами місткістю 0,40–1,00 м³.

Багатоківшеві екскаватори (ланцюгові та роторні поздовжнього копання) використовуються переважно для розробки ґрунтів нижче рівня стоянки машини – під час влаштування траншей з вертикальними або похилими стінками для фундаментів, інженерних мереж і трубопроводів.

Землерийно-транспортні машини призначені для пошарового копання, транспортування, відсипання та планування ґрунтів. Залежно від виду виконуваних робіт застосовуються такі машини:

- Бульдозери – використовуються для розробки, переміщення та планування ґрунтів, а також для зачистки котлованів після роботи інших землерийних машин. Бульдозери з навісними статичними розпушувачами здатні розпушувати мерзлі та напівскельні ґрунти.
- Скрепери – забезпечують пошарову розробку, транспортування та пошарове укладання м'яких і сипких ґрунтів. Також можуть застосовуватись для розробки мерзлих, напівскельних та тріщинуватих ґрунтів після їх попереднього розпушування.
- Грейдери та автогрейдери – призначені для профілювання і планування ґрунту або щебених матеріалів при влаштуванні основ дорожнього одягу.

- Грейдери-елеватори – використовуються для пошарового копання ґрунту з його подальшим переміщенням у відвал або в транспортні засоби.

Ґрунтоущільнювальні машини і механізми застосовуються для пошарового ущільнення ґрунтів. До них належать котки, трамбувальні плити, вібраційні установки, навісні гідротрамбівки та інше спеціальне обладнання.

Гідромеханічний метод передбачає розробку ґрунту напірним струменем води з використанням гідромоніторів або всмоктування ґрунту з дна водойм за допомогою землевсмоктувальних снарядів.

Вибуховий метод ґрунтується на використанні вибухової енергії, що утворюється при детонації вибухових речовин, закладених у шпури, свердловини або шурфи. Цей метод є ефективним для розробки щільних і міцних ґрунтів.

Комбінований метод полягає в поєднанні кількох із наведених способів залежно від інженерно-геологічних умов. Найчастіше поєднують механічний метод з гідромеханічним або вибуховим.

1.5. Потокова організація і комплексна механізація

Комплексна механізація земляних робіт передбачає виконання як основних, так і допоміжних процесів за допомогою комплектів машин, взаємопов'язаних за технічним призначенням, продуктивністю та експлуатаційними параметрами. Таке поєднання забезпечує дотримання заданих темпів і строків виконання робіт. Окремі машини в складі комплекту працюють як єдина система, виконуючи технологічні операції у визначеній послідовності безперервним потоком.

У складі комплекту завжди присутня одна або кілька ведучих машин, які виконують основний технологічний процес – розробку ґрунту. Допоміжні машини призначені для виконання супутніх операцій: розпушення, транспортування, розрівнювання та ущільнення ґрунту, профілювання поверхні тощо. В окремих випадках повний цикл основних і допоміжних процесів може бути механізовано однією машиною, наприклад, скрепером, який забезпечує виймання, транспортування, укладання та часткове ущільнення ґрунту.

Ведуча машина визначає загальну продуктивність комплекту, а також значною мірою впливає на його склад і організацію виконання робіт. Основні параметри прийнятих до використання машин – місткість ковша, вантажопідйомність самоскидів, ширина захвату тощо – підбираються таким чином, щоб забезпечити максимально ефективне завантаження й використання всіх машин, насамперед ведучих.

Склад комплекту машин залежить від типу земляної споруди, обсягів і характеру робіт, властивостей ґрунтів, установлених строків виконання, виробничих умов, до яких належать конфігурація ділянок розробки, дальність переміщення ґрунту, рельєф місцевості тощо.

Під час підбору машин враховують ефективність використання на відповідному виді робіт. Наприклад, при виконанні котлованих і траншейних робіт першочергово враховуються технічні характеристики, які забезпечують ширину і глибину виїмки, способи вивантаження ґрунту та продуктивність, що відповідає загальному обсягу робіт.

У процесі екскаваторних робіт доцільно застосовувати гідравлічні екскаватори зі змінним робочим обладнанням – ковшами різного призначення, захоплювачами, розпушувачами, а також екскаватори-планувальники, які використовуються для планування дна котлованів і траншей, формування укосів, кюветів та терас.

З метою забезпечення безперервної роботи та максимально ефективного використання ведучих машин, продуктивність допоміжних машин повинна відповідати або незначно перевищувати (на 10–15%) експлуатаційну продуктивність ведучих.

Наприклад, при використанні скреперів для розробки ґрунтів

$$P_p n_p \geq P_t n_t \geq P_{ск} n_{ск} \leq P_б n_б \leq P_k n_k,$$

де P_p , P_t , $P_{ск}$, $P_б$, P_k – продуктивності розпушника, трактора-штовхача, скрепера, бульдозера і котка відповідно, м³/зм; n_p , n_t , $n_{ск}$, $n_б$, n_k – кількість відповідних машин.

У залежності від конкретних виробничих умов кількість ведучих і допоміжних машин може змінюватися, деякі технологічні ланки

можуть бути відсутніми. Ведучі машини можуть розташовуватися на початку, у середині або наприкінці механізованого потоку.

За умови мінімізації тривалості будівництва земляні роботи слід виконувати з максимально економічно обґрунтованим насиченням об'єкта будівельними машинами, що працюють у дві або три зміни. Для цього кількісне співвідношення між ведучими та допоміжними машинами, з урахуванням доцільного рівня завантаження, визначається математичними методами. Зазначені методи дозволяють сформуванню оптимальний склад машинного комплексу, в якому кожна одиниця техніки буде повністю завантажена протягом зміни.

Так, за обсягів робіт у десятки тисяч кубічних метрів і дальності транспортування ґрунту до 3 км доцільним є застосування комплексу з трьох екскаваторів та 20 автосамоскидів. У випадку використання скреперної техніки ефективним є формування трьох-чотирьох ланок, кожна з яких включає чотири самохідні скрепери з трактором-штовхачем, або ж створення колони з 16–20 скреперів, що обслуговуються трьома штовхачами. Такий підхід забезпечує дотримання необхідного ритму робіт та досягнення найкращих техніко-економічних показників.

Вибір методу виконання робіт, а також остаточне формування складу машинного комплексу здійснюються на основі порівняльного аналізу техніко-економічних показників можливих варіантів.

Нижче наведено приклад підбору комплексу машин для виконання земляних робіт поточковим методом.

Технологічний процес передбачає:

- розробку ґрунту;
- транспортування його на визначену відстань;
- розрівнювання у тілі насипу.

Відповідно, необхідно підібрати технічні засоби для кожної зі складових операцій: розробки, перевезення та розрівнювання ґрунту.

Вихідні дані містять загальний обсяг робіт – Q , директивний термін будівництва – t_d , змінність роботи машин – $n_{зм}$, дальність транспортування ґрунту – L , група ґрунту за класифікацією, густина ґрунту – ρ .

У кожному комплекті визначається одна або кілька ведучих машин, що виконують основний процес – розробку ґрунту. Саме вони задають темп і режим виконання робіт, тоді як інші машини виконують допоміжні функції та забезпечують повний цикл робіт.

Підбір комплекту машин здійснюється у два етапи:

1) визначаються експлуатаційні характеристики, типи й марки машин, а також перелік допоміжної техніки, з урахуванням обсягів робіт, особливостей об'єкта та прийнятої технології;

2) виконується вибір найбільш доцільного варіанта на основі техніко-економічного порівняння.

На основі заданих обсягів земляних робіт і директивних термінів визначається необхідна змінна продуктивність ведучих машин

$$\Pi_{\text{н}} = \frac{1000 Q}{t_{\text{д}} \cdot n_{\text{зм}}}$$

Виходячи з величини змінної продуктивності, за довідковими матеріалами добираються можливі склади комплектів ведучих і допоміжних машин. Далі виконується техніко-економічне порівняння варіантів комплектів за такими основними показниками: тривалість виконання робіт (у змінах); розрахункова собівартість виконання одиниці робіт (грн/м³); зведені питомі витрати (грн/м³ або грн/1000 м³).

Оскільки процес включає розробку та переміщення ґрунту, найбільш доцільними є два типові варіанти комплектів:

- одноківшеві екскаватори у поєднанні з автосамоскидами;
- самохідні скрепери у комплекті з бульдозерами-штовхачами.

Марка екскаватора обирається з урахуванням групи ґрунту та його змінної експлуатаційної продуктивності, яка має максимально відповідати розрахунковій змінній продуктивності комплекту.

Тип автосамоскидів для обслуговування екскаватора добирається відповідно до місткості ковша, із забезпеченням повного завантаження кузова з мінімальною кількістю ковшів (зазвичай 3–5).

Кількість автосамоскидів n_c , необхідна для безперебійної роботи екскаватора з завантаженням транспортних засобів,

$$n_c = \frac{t_{ц.с}}{t_3 + t_{y.3}},$$

де $t_{ц.с}$ – час одного циклу роботи автосамоскида; t_3 – час завантаження автосамоскида; $t_{y.3}$ – час установалення автосамоскида під завантаження.

Час одного циклу роботи автосамоскида

$$t_{ц.с} = t_3 + t_{пр} + t_p + t_{пер} + t_{y.3} + t_{y.p},$$

де $t_{пр}$ – час пробігу; t_p – час розвантаження автосамоскида; $t_{пер}$ – тривалість технічних перерв протягом рейсу; $t_{y.p}$ – час установалення автосамоскида під розвантаження.

Час завантаження самоскида

$$t_3 = \frac{n_k \cdot t_{ц.е}}{60},$$

де n_k – кількість ковшів, що завантажуються до кузова; $t_{ц.е}$ – тривалість робочого циклу екскаватора.

Кількість ковшів, що завантажують до кузова,

$$n_k = \frac{Q_c}{\rho \cdot q \cdot k_H},$$

де Q_c – вантажопідйомність автосамоскида; ρ – густина ґрунту; q – місткість ковша екскаватора; k_H – коефіцієнт наповнення ковша.

Час пробігу автосамоскида в обидва кінці

$$t_{пр} = \frac{2L}{v} \cdot 60,$$

де L – дальність перевезення ґрунту; v – швидкість руху автосамоскида.

Марка скрепера вибирається з урахуванням групи ґрунту, дальності його переміщення, а також експлуатаційної продуктивності скрепера. При цьому перевага надається тим моделям, які найбільш повно відповідають заданим умовам роботи.

Кількість скреперів визначається таким чином, щоб їх сумарна продуктивність була максимально наближеною до необхідної змінної продуктивності комплекту.

Кількість бульдозерів-штовхачів, що обслуговують скрепери, залежить від відстані транспортування ґрунту та місткості ковша скрепера (у межах 8–15 м³): при відстані транспортування до 0,5 км один штовхач може обслуговувати до трьох скреперів; при відстані 1 км і більше один штовхач – до шести скреперів.

Час роботи першого комплекту машин

$$T_1 = \frac{\Pi_{\text{н}}}{\Pi_{\text{зм.е}}}$$

Час роботи другого комплекту машин

$$T_2 = \frac{\Pi_{\text{н}}}{n_{\text{ск}} \cdot \Pi_{\text{зм.ск}}},$$

де $n_{\text{ск}}$ – необхідна кількість скреперів.

Собівартість розробки 1 м³ ґрунту першим комплектом машин

$$C_1 = \frac{1,08 \cdot (C_{\text{зм.е}} + n_{\text{с}} \cdot C_{\text{зм.с}})}{\Pi_{\text{зм.е}}},$$

де 1,08 – коефіцієнт обліку накладних витрат; $C_{\text{зм.е}}$, $C_{\text{зм.с}}$ – середня вартість машино-зміни екскаватора й автосамоскида відповідно.

Собівартість розробки 1 м³ ґрунту другим комплектом машин

$$C_2 = \frac{1,08 \cdot (n_{\text{ск}} \cdot C_{\text{зм.ск}} + n_{\text{шт}} \cdot C_{\text{зм.шт}})}{n_{\text{ск}} \cdot \Pi_{\text{зм.ск}}},$$

де $C_{\text{мзм.ск}}$, $C_{\text{мзм.шт}}$ – середня вартість машино-зміни скрепера та бульдозера-штовхача відповідно.

Питомі капітальні вкладення для першого комплекту машин

$$K_1 = \frac{1,07}{\Pi_{\text{зм.е}}} \cdot \left(\frac{C_{\text{іп.е}}}{n_{\text{зм.е}}} + \frac{n_{\text{с}} \cdot C_{\text{іп.с}}}{n_{\text{зм.с}}} \right) \cdot 10^3,$$

де 1,07 – коефіцієнт, що враховує витрати на доставку машин з заводу-виробника; $C_{\text{іп.е}}$, $C_{\text{іп.с}}$ – інвентарно-розрахункова вартість екскаватора й автосамоскида відповідно; $n_{\text{зм.е}}$, $n_{\text{зм.с}}$ – нормативна кількість змін роботи відповідно екскаватора й автосамоскида за рік.

Питомі капітальні вкладення для другого комплекту машин

$$K_2 = \frac{1,07}{n_{\text{ск}} \cdot \Pi_{\text{зм.ск}}} \cdot \left(\frac{n_{\text{ск}} \cdot C_{\text{іп.ск}}}{n_{\text{зм.ск}}} + \frac{n_{\text{шт}} \cdot C_{\text{іп.шт}}}{n_{\text{зм.шт}}} \right) \cdot 10^3,$$

де $C_{\text{іп.ск}}$, $C_{\text{іп.шт}}$ – інвентарно-розрахункова вартість скрепера та бульдозера-штовхача відповідно; $n_{\text{зм.ск}}$, $n_{\text{зм.шт}}$ – нормативна кількість змін роботи відповідно скрепера та бульдозера-штовхача за рік.

Зведені витрати на розробку 1 м³ ґрунту комплектами машин

$$\Pi_1 = C_1 + E_{\text{н}} \cdot K_1; \quad \Pi_2 = C_2 + E_{\text{н}} \cdot K_2,$$

де $E_{\text{н}} = 0,15$ – нормативний коефіцієнт окупності капітальних вкладень.

Комплект машин із меншими зведеними витратами вважається економічно доцільнішим. Ґрунт розрівнюється бульдозером.

Нормативна змінна продуктивність бульдозера $\Pi_{\text{зм.б}}$ при розрівнюванні 100 м³ ґрунту

$$\Pi_{\text{зм.б}} = \frac{8 \cdot 100}{H_{\text{ч}}},$$

де $H_{\text{ч}}$ – норма часу на розрівнювання 100 м³ ґрунту.

Необхідна кількість бульдозерів

$$n_6 = \frac{\Pi_{\text{ЗМ.К}}}{\Pi_{\text{ЗМ.Б}}},$$

де $\Pi_{\text{ЗМ.К}}$ – змінна продуктивність ведучої машини обраного комплексу (однокішшевого екскаватора чи сумарна продуктивність скреперів).

Запитання для самоконтролю

1. Які особливості спорудження земляного полотна на транспортних об'єктах ускладнюють виконання земляних робіт?
2. Яким чином класифікуються земляні споруди за конструктивними ознаками?
3. Які чинники визначають доцільність застосування тимчасових земляних споруд?
4. Які основні принципи лежать в основі планування земляних робіт у транспортному будівництві?
5. Які нормативні документи регламентують організацію та виконання земляних робіт?
6. Які характеристики ґрунтів впливають на вибір методу їх розробки?
7. Які показники вологості й щільності ґрунту є критично важливими для оцінки його придатності у будівництві?
8. У яких випадках доцільне застосування класифікації ґрунтів за трудомісткістю розробки?
9. Як класифікуються машини для земляних робіт за типом робочого органа?
10. У чому полягають конструктивні і функціональні відмінності між бульдозером і скрепером?
11. Як організовується робота машин у потоковій схемі при лінійному будівництві?
12. Які технічні та технологічні параметри визначають ефективність комплексної механізації земляних робіт?

Розділ 2

Технології виконання земляних робіт

2.1. Підготовчі та допоміжні роботи

Підготовчі роботи на будівельному майданчику розпочинаються з його офіційного відведення під будівництво. У разі реконструкції об'єкта ці роботи починаються після визначення ділянки, придатної для розміщення будівельного господарства в межах підприємства або виробничого приміщення.

Основні завдання підготовчого періоду включають:

- огороження території (за необхідності);
- розчищення майданчика від дерев, чагарників, валунів;
- перенесення інженерних мереж, що заважають будівництву;
- захисту території від стоку поверхневих вод;
- прокладання тимчасових інженерних мереж і доріг;
- забезпечення персоналу побутовими, адміністративними та санітарними приміщеннями.

Після розчищення ділянки здійснюється геодезична підготовка: прив'язка майданчика до державної геодезичної мережі, установлення обносок, виконання розбивки об'єктів будівництва.

Підготовчі заходи при реконструкції діючих підприємств залежать від специфіки місцевих умов. У таких випадках доцільно максимально використовувати існуючі мережі та комунікації. Допускається тимчасове розміщення адміністративно-побутових служб у звільнених приміщеннях підприємства. За необхідності для тимчасового користування можуть бути зведені капітальні будівлі, заплановані генеральним проєктом.

Тривалість підготовчого періоду може сягати 30–40% загального терміну реалізації будівельного проєкту. У цей час створюється індустріальна база: розгортається виробництво будівельних матеріалів, виготовлення конструкцій, налагоджується транспортне та інженерне сполучення з державними мережами.

Інженерні комунікації, такі як електричні мережі, лінії зв'язку, системи каналізації та водопостачання, що перешкоджають виконанню

будівельних робіт, підлягають демонтажу або перенесенню у проєктне положення під контролем фахівців відповідних служб. Будівлі та споруди, що заважають організації будівництва, демонтуються або переміщуються на заздалегідь підготовлені фундаменти.

При реконструкції промислових об'єктів до основних робіт відносяться: демонтаж покрівель з фермами й балками або без них; демонтаж підкранових балок, стінових панелей, цегляних конструкцій; розбирання фундаментів, тунелів, каналів, колодязів, трубопроводів.

Повітряні лінії електропередач монтуються з урахуванням безперешкодного руху транспорту.

Для викорчовування пнів застосовуються трактори, бульдозери, викорчовувачі або екскаватори зі спеціальним обладнанням. Чагарник зрізується з корінням за допомогою бульдозерів або кушорізів. Каміння, яке неможливо перемістити, піддають дробленню вибуховим способом. Родючий ґрунтовий шар зрізають та зберігають для подальшого використання під час благоустрою.

Для захисту від поверхневих вод до початку виїмкових робіт улаштовується система водовідведення з обвалуванням.

У разі відсутності доступу до постійних водопровідних мереж прокладаються тимчасові водогони із труб розрахункового діаметра, розміщені нижче глибини промерзання.

На початковому етапі електропостачання здійснюється за допомогою діючих мереж, пересувних електростанцій або тимчасових джерел. Тимчасові лінії високої й низької напруги виконуються з повітряною підвіскою проводів і встановленням трансформаторів на опорах чи пересувних платформах.

Тепло- і паропостачання забезпечується від котелень. Тепломережі можуть бути наземними або підземними.

До підготовчих робіт на будівельному майданчику належать: вирубування та прибирання дерев, трелювання (вивезення) лісу, зрізування чагарнику й дрібнолісся, корчування пнів і валунів, видалення рослинного шару ґрунту, планування поверхні місцевості та розпушення ґрунтів. Приміром, вирубування дерев при розчищенні траси зазвичай виконується з використанням електро- або бензопил із

подальшим корчуванням пнів. Якщо деревина не має промислової цінності, економічним варіантом є вирубування дерев із одночасним корчуванням, що дає можливість скоротити кількість операцій і тривалість робіт. Для механізованого видалення дерев використовують гусеничні бульдозери і викорчовувачі-збирачі, змонтовані на тракторах тягового класу 100 кН і вище. Дерев діаметром до 15 см можуть видаляти за один прохід разом із кореневою системою. Для цього ніж бульдозера або зуби викорчовувача заглиблюються в ґрунт на глибину 15–20 см. У випадках значного обсягу робіт з очищення території від дрібнолісся та чагарників доцільно застосовувати агрегати з кількох машин – спарені або групові (2–3 одиниці техніки, що працюють паралельно).

Дерев діаметром 20–25 см зазвичай видаляються у два етапи. Спочатку відвал бульдозера або зуби викорчовувача підіймають у верхнє положення (рис. 2.1, *а*) і, спираючись на стовбур, здійснюють звалювання дерева на найнижчій передачі руху трактора. Після нахилення стовбура робочий орган опускається під кореневу систему (рис. 2.1, *б*), і дерево видаляється разом із корінням.

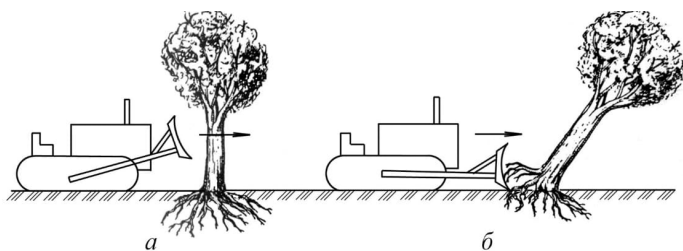


Рис. 2.1. Схема вирубування дерев діаметром 20–25 см бульдозером:
а – початкове звалювання; *б* – видалення з кореневою системою

У разі вирубування дерев діаметром понад 30 см спочатку підрізають корені з боку передбачуваного напрямку звалювання. Для цього ніж бульдозера або зуби викорчовувача заглиблюють у ґрунт на глибину 15–20 см з метою перерізання кореневої системи. Як альтернатива може застосовуватися навісний розпушувач. Глибина та обсяг підрізання коренів визначаються з урахуванням потужності та

поширення кореневої системи. У разі добре розвиненої кореневої системи додатково підрізають корені з боків, використовуючи навісне обладнання з одним або двома зубами.

Для полегшення процесу вирубування біля основи стовбура відсипають ґрунтовий насип бульдозером. Це підвищує момент сили, необхідної для звалювання дерева, і сприяє більш ефективному корчуванню. Крім того, великі дерева можуть видалятися з використанням трелювально-корчувальних лебідок або за допомогою сталевих канатів, що забезпечує тягу безпосередньо від трактора.

Трелювання (вивезення) лісу в невеликому обсязі зазвичай здійснюється волоком за допомогою гусеничних тракторів. Із завалів дерева транспортуються пакетами по 4–6 стовбурів, залежно від їх діаметра та довжини. Для виконання цієї роботи застосовують тракторні трелювально-корчувальні лебідки. Трактор фіксується за допомогою якоря, після чого стовбури підтягуються канатом, формуються у пакети, закріплюються короткими канатами з петлями та гачками і вивозяться на склад волоком або на металевих листах.

Зрізування чагарника та дрібнолісся виконується кущорізами, найчастіше змонтованими на тракторах тягового класу 100 кН. Такі машини можуть зрізати за один прохід березу діаметром 20–22 см і сосну – 25–30 см, а за два-три проходи – відповідно 25–35 см і 30–40 см. Водночас при зрізуванні кущоріз частково деформує та розколює стовбури, що потрібно враховувати у разі, якщо деревина має промислову цінність. Кущорізи при зрізуванні також розхитують кореневі вузли й великі корені, що залишаються в ґрунті, полегшуючи наступну роботу розпушників і чагарникових плугів. Вони здатні зрізати пні свіжого вирубу діаметром до 25–30 см та пні трирічної чи чотирирічної давності – до 35–40 см. За належного заточення ніжів кущоріз зрізає дрібні дерева діаметром 12–15 см і великий чагарник рівень із поверхнею ґрунту, не залишаючи виступаючих пнів.

Схема руху кущоріза визначається залежно від місцевих умов. Зазвичай робота виконується концентричними коловими ходами (від зовнішнього периметра ділянки) або паралельними проходами – від середини чи краю ділянки.

Для зрізування дрібного та розрідженого чагарника діаметром до 8–10 см доцільно застосовувати болотний кущоріз на тракторі класу 30 кН з розширеними гусеницями. У випадку густого чагарника та дрібнолісся діаметром 10–15 см використовують бульдозери із зубами або викорчовувачі-збирачі. У цьому разі зуби заглиблюються в рослинний шар на 15–20 см, і трактор, рухаючись на найнижчій передачі, зрізає рослинність та вивозить її за межі траси.

Зусилля, необхідні для корчування пнів, залежать від кількох чинників: віку та породи деревини, типу кореневої системи, щільності та вологості ґрунту. Більше зусилля вимагається при роботі з важкими глинистими ґрунтами, менше – з торф'яними та піщаними. Водночас коріння в сухому ґрунті видаляється важче, ніж у вологому.

Важливе значення має і спосіб корчування. Найефективнішим є горизонтальне зусилля, яке значно перевершує за ефективністю витягування або скручування. Тому найчастіше для корчування застосовуються бульдозери та викорчовувачі-збирачі. Пні діаметром до 20 см видаляють у такий спосіб: ніж бульдозера заглиблюється на 15–20 см і при русі трактора пень виринається разом із кореневою системою та рослинним шаром. Для більших пнів спочатку відвал бульдозера впирається в шийку пня (рис. 2.2, *а*). Далі під час поступального руху трактора пень виринається з ґрунту. Потім ніж заглиблюється на 20–25 см і під час руху з одночасним підняттям відвала пень остаточно видаляється разом із коренями (рис. 2.2, *б*). У разі розвиненої кореневої системи додатково виконується підрізання коренів за методикою, аналогічною до вирубування дерев.

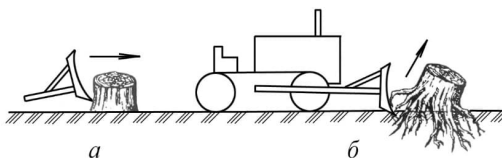


Рис. 2.2. Схема корчування пнів діаметром понад 20 см бульдозером:
а – початкове корчування; *б* – видалення з кореневою системою

Під час корчування пнів викорчовувачем-збирачем його зуби заглиблюються в ґрунт на 15–20 см. У процесі руху машини на

найнижчій передачі пнів видаляються разом із кореневою системою. Технологія корчування великих пнів аналогічна до прийомів, що застосовуються при використанні бульдозера.

Для видалення масивних пнів діаметром 50–60 см і більше в сухих щільних ґрунтах, коли необхідне тягове зусилля становить 150–200 кН, застосовують тракторні трелювально-корчувальні лебідки (рис. 2.3). Трактор закріплюється анкерним канатом із петлею і гаком за надійний пень. На пень, що підлягає видаленню, накидається тяговий канат так, щоб петля розміщувалась поблизу зрізу – для створення максимального корчувального моменту. Далі канат з'єднується з лебідкою безпосередньо або через систему поліспастів, після чого відбувається натяг і витягування пня з ґрунту.

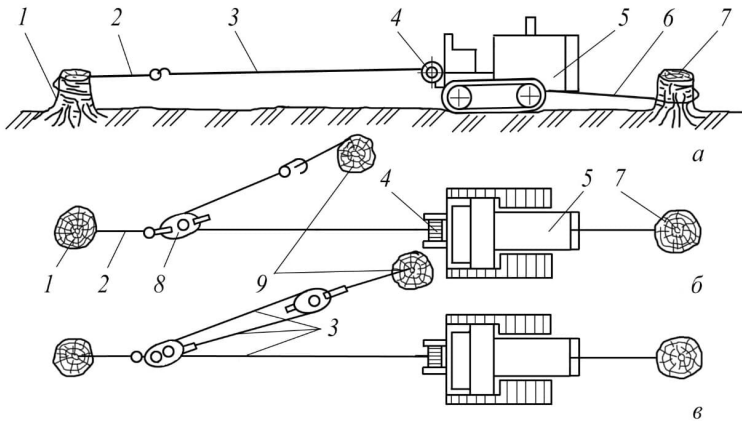


Рис. 2.3. Схеми корчування пнів трелювально-корчувальною лебідкою: а – прямою тягою; б – з використанням подвійного поліспасти; в – потрійного поліспасти; 1 – пень, що підлягає корчуванню; 2 – накидний канат; 3 – тяговий канат; 4 – корчувальна лебідка; 5 – трактор; 6 – анкерний канат; 7 – анкерний пень; 8 – блок; 9 – додатковий анкерний пень

Валуни, що трапляються у ґрунті, можуть мати масу до 6 т. Їх видаляють бульдозерами або викорчовувачами-збирачами. Приховані валуни видаляються за методикою, аналогічною до корчування великих пнів: виконують кругове підкопування з подальшим виведенням валуна на поверхню.

Для переміщення деревини та пнів за межі траси або збирання їх у купи для подальшого навантаження чи спалювання застосовуються викорчовувачі-збирачі. Зазвичай роботи виконуються човниковим способом без розвороту машини. Холостий хід здійснюється заднім ходом по раніше розчищеній смузі. Такий спосіб ефективний на невеликих ділянках з великою кількістю деревини, яку необхідно прибрати. За великої довжини гону (50 м і більше) доцільно формувати вали або купи деревини на кінцях ділянки. Після машина повертається в зворотному напрямку та продовжує розчищення наступної смуги.

Для навантаження зрізаного чагарника, пнів та інших деревних залишків у транспортні засоби (у разі їх подальшого перевезення на великі відстані) доцільно застосовувати навантажувачі із щелепними захоплювачами. Навантажувач може за один цикл захопити поросль завдовжки до 6 м та пні з діаметром кореневої системи до 1,2 м.

Для збирання дрібних каменів у купи також застосовуються викорчовувачі-збирачі. Великі валуни транспортуються тракторами за допомогою ланцюгів волоком на санях або на зігнутих металевих листах. Навантаження великих каменів на сані чи листи виконується за допомогою тракторних кранів із захоплювачами.

Зрізування та прибирання рослинного шару ґрунту завтовшки 5–10 см при дальності переміщення до 80–100 м виконується бульдозерами. У разі товщини шару понад 10 см та необхідності переміщення на більші відстані доцільно використовувати скрепери. Тип скрепера обирається залежно від обсягу робіт і відстані транспортування ґрунту. На косогірних ділянках для переміщення зрізаного шару ґрунту під укоси рекомендується застосовувати бульдозери. Зрізаний рослинний ґрунт укладається в окремі кавальєри з метою його подальшого використання для озеленення.

Після корчування пнів, валунів і чагарника на трасі залишаються ями, нерівності, западини, горби, які необхідно вирівняти перед початком основних земляних робіт. Крім того, при прокладанні доріг у низинах часто зустрічаються великі грудки ґрунту, видалення яких значно полегшує подальші технологічні операції. Тому вирівнювання ґрунтової поверхні є обов'язковим етапом підготовчих робіт.

Планувальні роботи виконуються грейдерами, універсальними бульдозерами з поворотним відвалом, а за необхідності розпушування ґрунту – також викорчовувачами-збирачами і розпушниками. Великі грудки розробляються розпушниками і болотними фрезами. У разі значної кількості таких грудок доцільно застосовувати кушорізи, що здатен зрізати грудки висотою до 0,40 м і діаметром до 2 м.

Розпушення ґрунту виконується для полегшення виконання земляних робіт у важких ґрунтових умовах, а також для перемішування материкового та насипного ґрунтів. Для цього використовуються навісні розпушники, які агрегатуються з тракторами тягових класів 100, 150 і 250 кН. Залежно від кількості зубів (зазвичай 3–5) вони розробляють смугу шириною від 0,60 до 1,50 м.

Довжина ділянки та порядок проходок розпушника залежать від схеми механізації земляних робіт та типу застосованого розпушника. Як правило, довжина ділянки не перевищує одного кілометра, оскільки за більшої довжини розпушений ґрунт встигає підсохнути, що знижує ефективність його ущільнення на наступних етапах.

Земляні роботи можна починати лише після завершення геодезичних робіт, зокрема розмічування (розбивки) елементів земляних споруд на місцевості та встановлення спеціальних знаків. Ці роботи проводяться з використанням геодезичних приладів.

Перед початком основних робіт, на підставі геодезичного плану, визначають точне положення майбутніх споруд на місцевості. План складений у єдиній системі координат – як у плані, так і по висоті. Для зручності територію будівництва поділяють на квадрати розміром 100–200 м. У кутах цих квадратів закріплюють репери – постійні орієнтири на місцевості. На майданчику позначають кути квадратів, характерні точки рельєфу й проєктні позначки. У кутах встановлюють кілки за нівеліром (приладом для вимірювання висот), а в середині квадратів – за допомогою візирки (оптичного пристрою). Висота кілків має відповідати проєктним даним. Також наносяться осі споруд, ширина та глибина водовідвідних каналів. Щоб задати певний ухил каналів, спочатку встановлюють кілки в початковій та кінцевій точках за нівеліром, а потім визначають проміжні точки за візиркою.

Перед спорудженням насипів обчислюють основні геометричні параметри земляного полотна (ширину основи, положення брівок укосів тощо) і переносять їх на місцевість.

Під час розбиття насипів на місцевості з поперечним уклоном не більше ніж 1:10 (рис. 2.4, а), відстань d від осі до межі насипу (укосу) визначається за формулою

$$OA = OC = d = \frac{B}{2} + h \cdot m,$$

де B – проектна ширина земляного полотна; $1:m$ – проектний уклін укошу; h – висота насипу.

У разі, коли поперечний ухил місцевості перевищує 1:10 (рис. 2.4, б), відстані від осі до нагірної D_1 та підгірної D_2 меж укосів будуть різними. Їх визначають за формулами:

$$OF = D_1 = \left(\frac{B}{2} + m \cdot h \right) \cdot \frac{\sqrt{n^2 + 1}}{n + m}; \quad OE = D_2 = \left(\frac{B}{2} + m \cdot h \right) \cdot \frac{\sqrt{n^2 + 1}}{n - m},$$

де $1:n$ – уклон поверхні землі за поперечником розбиття.

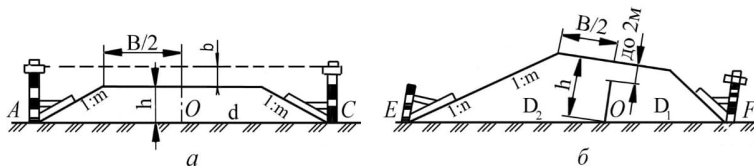


Рис. 2.4. Розбиття насипу за поперечного уклону місцевості:

а – не більш 1:10; б – понад 1:10

Під час розбивки насипів заввишки до 0,5 м по осі встановлюються кілки таким чином, щоб верхній обріз кожного з них відповідав проєктній відмітці верху земляного полотна. Для насипів, висота яких перевищує 0,50 м, замість кілків, що визначають межі укосів, застосовуються інвентарні укосини. Їх установлюють по обидва боки поперечного профілю насипу.

Таким чином, у рівнинній місцевості для визначення положення польових брівок виїмки по перпендикулярах до осі траси в обидва боки відкладається розрахована відстань.

Під час розбиття виїмок на місцевості з поперечним уклоном більше ніж 1:10 (рис. 2.7, б), відстані до нагірної D_1 та підгірної D_2 границь виїмки визначаються за формулами:

$$D_1 = \left(\frac{B}{2} + c + m \cdot h \right) \cdot \frac{\sqrt{n^2 + 1}}{n - m}; \quad D_2 = \left(\frac{B}{2} + c + m \cdot h \right) \cdot \frac{\sqrt{n^2 + 1}}{n + m}.$$

Для позначення меж виїмки за визначеними точками границь укосів, на початковому етапі робіт нарізується борозна. У подальшому, під час розробки виїмки, у цих точках встановлюються інвентарні укосини з обох боків виїмки.

Розбиття котлованів і траншей під фундаменти виконується одночасно з розбиттям осей споруди чи будівлі.

Спочатку на місцевості наносяться головні осі споруди – I–I та II–II (рис. 2.8). Їх положення фіксується за допомогою встановлення стовпів і натягування дроту. На певній відстані від осьових стовпів, на випадок їх можливого пошкодження в процесі будівельних робіт, розміщуються контрольні знаки закріплення осей (Т1, Т2, Т3, Т4).

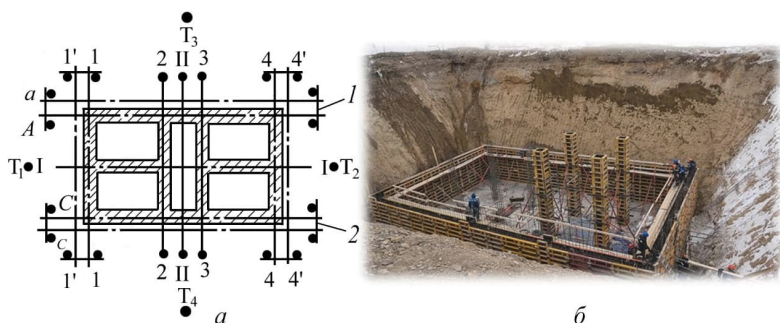


Рис. 2.8. Розмічування та виконання котловану під фундамент споруди:
a – схема закріплення на місцевості основних осей котловану і фундаменту;
1 – стовпи; *2* – обноски з дощок; *б* – загальний вигляд готового котловану

На початковому етапі розробки котловану під фундамент споруди виконується розмічування контурних (крайніх) осей (1–1, 4–4, А–А, С–С). Для цього встановлюються інвентарні обноски, на яких закріплюють відстані від головних осей (I–I, II–II) до крайніх осей. Відповідні відмітки фіксуються цвяхами. Далі на обносках також закріплюються цвяхами лінії брівок котловану ($a-a$, $c-c$, $1'-4'$).

Контур котловану закріплюється на місцевості за допомогою дерев'яних кілків, які забиваються за виском по натягнених дротах, орієнтованих по цвяхах, що визначають положення брівок.

Розбиття траншей під стрічкові фундаменти або котлованів під окремі фундаменти здійснюється за аналогічною схемою. У цьому випадку обноски встановлюються по всіх осях і рядах споруди. Під час вертикального планування по периметру ділянки встановлюються розбивні стояки, на які переносяться червоні вертикальні відмітки. Зазвичай ці відмітки наносяться червоною фарбою вище проектної відмітки на певну умовну величину, оскільки до початку планувальних робіт рівень земної поверхні може бути вищим за проектний.

Усі виїмки (котловани, траншеї, канали, ґрунтові кар'єри тощо) повинні бути захищені від надходження поверхневих вод. Відведення поверхневих вод слід здійснювати до початку основних земляних робіт з використанням постійних або тимчасових водовідвідних споруд.

Постійні водовідвідні споруди передбачаються у складі основного проекту споруди, оскільки їх наявність є обов'язковою для забезпечення подальших етапів будівництва. Тимчасові водовідвідні споруди проектується у складі проекту виконання робіт.

Основні способи відведення поверхневих вод:

- влаштування кавальєрів або відвалів з нагірного боку виїмки;
- спорудження захисних валів;
- улаштування водовідвідних каналів з нагірного боку;
- відповідне вертикальне планування прилеглої території.

Поперечні перерізи та ухили водовідвідних каналів розраховують залежно від максимально можливого об'єму води, що може надійти під час дощу чи танення снігу. Відстань між верхньою брівкою укусу виїмки та найближчим водовідвідним каналом повинна становити: не

менше 5 м – для постійних виїмок і не менше 3 м – для тимчасових виїмок. Поздовжній ухил тимчасових водовідвідних споруд має бути не менше 0,003 (0,3%), але іноді допускається 0,002 (0,2%).

Уздовж насипів земляних доріг висотою до 2 м водовідвідні канали влаштовуються з обох боків. Якщо висота насипу перевищує 2 м і поперечний ухил менший за 0,02, влаштування таких каналів не передбачається. Брівки тимчасових водовідвідних каналів повинні перевищувати розрахунковий рівень води щонайменше на 0,1 м.

Будівництво каналів, траншей, каналів та інших лінійних виїмок необхідно розпочинати з нижнього (водоприймаючого) боку для того, щоб забезпечити безперешкодне відведення води у низинні ділянки.

У разі розробки виїмок у водоносних ґрунтах обов'язковим є улаштування водовідливу або системи штучного зниження рівня ґрунтових вод. Відкритий водовідлив застосовується у щільних, добре дренованих ґрунтах. Він здійснюється шляхом відкачування води з виїмки діафрагмовими, поршневыми або відцентровими насосами під час розробки ґрунту нижче рівня ґрунтових вод, а також після досягнення проєктної відмітки – для забезпечення належних умов виконання будівельних робіт.

Основними елементами відкритої системи водовідливу (рис. 2.9) є водозбірна канава, зумпф (приямок) та скидний трубопровід.

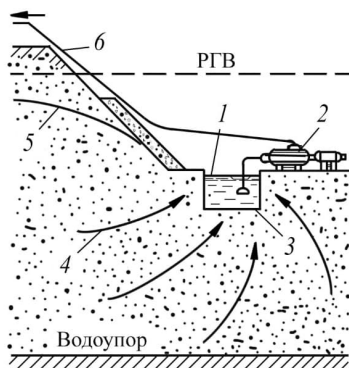


Рис. 2.9. Схема і приклад реалізації відкритого водовідливу:

- 1 – водозбірна канава; 2 – насос; 3 – зумпф; 4 – лінія течії ґрунтових вод;
- 5 – депресійна крива (рівень вод після зниження); 6 – скидний трубопровід

Під час осушення виїмок, що розробляються в однорідних ґрунтах, водозбірні канали та зумпфи влаштовують на дні канали або траншеї, заглиблюючи їх у міру просування розробки.

У разі спорудження котлованів у піщаних ґрунтах відкритий водовідлив поєднують із глибинним водозниженням, оскільки за відсутності такого поєднання можливе сповзання укосів і втрата стійкості ґрунтової основи споруди.

Для збирання води дну котловану або траншеї надають відповідного ухилу в напрямку зумпфів. Стіни приямків укріплюють дерев'яними щитами або коробами без дна, на дно яких насипають фільтрувальний матеріал – щебінь або гравій. У разі потреби додатково по контуру дна котловану влаштовують відкриті канали, які заповнюють гравієм і використовують як дренаж.

Відкритий водовідлив є найпростішим та економічно доцільним способом водозниження. Проте його застосування обмежене, оскільки в більшості випадків у виїмках постійно присутня вода, що ускладнює виконання робіт і порушує природну структуру ґрунтової основи. У зв'язку з цим часто виникає необхідність застосування штучних способів водозниження.

Для ефективного зниження рівня ґрунтових вод використовують наступні системи:

- легкі голкофільтрові установки, які забезпечують зниження рівня ґрунтових вод на 4–5 м при одноярусному розташуванні та на 7–8 м – при двоярусному;

- установки з вакуумним водозниженням, ефективні за низьких коефіцієнтів фільтрації ґрунтів;

- ежекторні голкофільтри, які дозволяють знижувати рівень води на 16–20 м;

- трубочасті колодязі з глибинними насосами, що застосовуються для значних глибин і тривалих термінів осушення.

Легкі голкофільтрові установки застосовують переважно в піщаних ґрунтах із коефіцієнтом фільтрації 1,5–2 м/добу. До складу таких установок входять до 100 голкофільтрів, водозбірний колектор діаметром 150 мм і два відцентрові насоси для безперебійної роботи.

Голкофільтр – це труба діаметром 38 мм і довжиною до 8,5 м, нижній кінець якої обладнаний фільтрувальною ланкою. Фільтр складається з внутрішньої труби (продовження основної) та зовнішньої труби діаметром 60 мм з отворами. Зовнішня труба обмотана дротом і вкрита фільтрувальною й захисною сітками. Завершується конструкція наконечником з кульовим і кільцевим клапанами.

Голкофільтри розташовують по периметру котловану (рис. 2.10, а) на відстані приблизно 0,5 м від брівки укосу. При потребі зниження рівня води на понад 4 м використовують двоярусне розташування фільтрів (рис. 2.10, б).

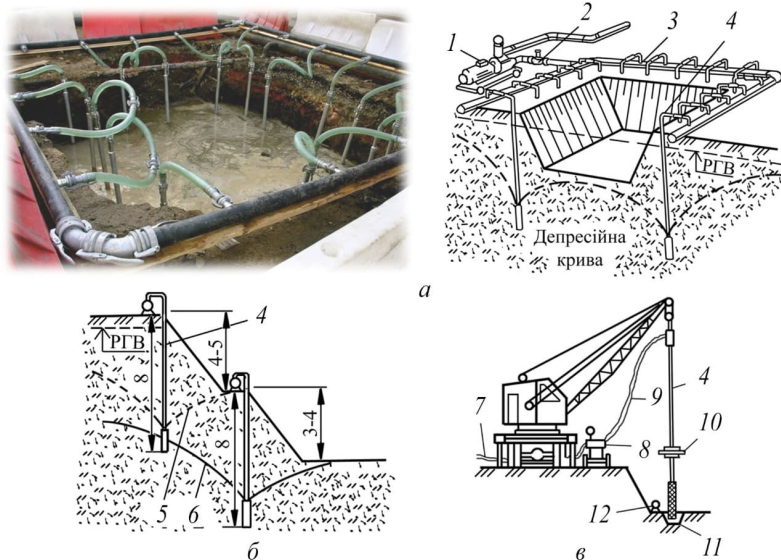


Рис. 2.10. Зниження рівня ґрунтових вод за допомогою легких голкофільтрових установок: а – загальний вигляд роботи і схема котловану із голкофільтрами, встановленими в один ярус; б – схема котловану із двоярусним розміщенням голкофільтрів; в – схема гідравлічного занурення голкофільтра; 1 – відцентровий насос; 2 – вентиль; 3 – водозбірний колектор; 4 – голкофільтри; 5 – депресійна крива під час відкачування з першого ярусу; 6 – депресійна крива під час відкачування з другого ярусу; 7 – підвідний трубопровід; 8 – насос; 9 – напірний рукав; 10 – хомут для ручного керування; 11 – приямок; 12 – всмоктувальний колектор

Під час відкачування води створюється вакуум: кульовий клапан спливає, тоді як кільцевий опускається, відкриваючи доступ воді, яка проходить через фільтрувальну оболонку в голкофільтр і далі – в колектор. Для осушення вузьких траншей глибиною до 4,5 м достатньо одного ряду голкофільтрів, а для широких – двох рядів, розміщених з обох боків траншеї. При потоковому способі виконання робіт застосовують два комплекти: поки на одній ділянці ведуться будівельні роботи, з попередньої ділянки демонтовану установку переносять далі.

Монтаж голкофільтрів здійснюється гідравлічним способом (рис. 2.10, в). Вода під тиском до 0,3 МПа подається по внутрішній трубі, відкриваючи кульовий клапан і змиваючи ґрунт навколо наконечника, що забезпечує занурення фільтра під дією власної ваги.

У щільних ґрунтах (коефіцієнт фільтрації менше 1,5 м/добу) голкофільтри встановлюють у попередньо пробурені свердловини. Для поліпшення водопритливу навколо фільтра засипається піщано-гравійна суміш.

Установки вакуумного водозниження застосовуються у ґрунтах з коефіцієнтом фільтрації від 1 до 0,01 м/добу. Відмінність полягає в тому, що замість створення надлишкового тиску, як у голкофільтрових установках, тут підтримується вакуум у фільтрувальній ланці та прилеглому ґрунті, що забезпечує ефективне зниження рівня вод.

Ежекторні голкофільтрові установки знижують рівень води на глибину до 20 м у ґрунтах з коефіцієнтом фільтрації 1–40 м/добу.

Трубчасті колодязі з глибинними насосами використовуються при значних глибинах (понад 20 м) і великій потужності водоносного шару. Свердловини буряться по периметру виїмки, в них занурюються обсадні труби діаметром 200–400 мм, оснащені піщано-гравійною подушкою товщиною 0,20–0,30 м. Насоси разом з електродвигунами встановлюються нижче рівня води.

Для транспортування ґрунту використовується внутрішньо-площадкова та міська дорожня мережа, яка повинна бути запроєктована та побудована з урахуванням календарного графіка виконання земляних робіт. У разі недостатності постійної мережі передбачається влаштування тимчасових доріг.

Тимчасові дороги мають бути двосторонніми. Односторонній рух допускається лише за кільцевої організації руху.

Для тимчасових землевозних доріг використовують такі типи покриття: на сухих піщаних ґрунтах – шар суглинку товщиною 0,30–0,50 м, на глинистих ґрунтах – шар шлаку або дрібняку гірської породи товщиною 0,40 м. У випадках прокладання доріг по вологих піщаних ґрунтах дорожнє покриття не влаштовується – здійснюється лише профілювання та ущільнення земляного полотна. У скельних ґрунтах вирівнювання дорожнього полотна здійснюється шляхом укочування кар’єрного дрібняку з максимальним розміром частинок 30–70 мм.

Для влаштування в’їздів у котловани або виїздів з насипів може застосовуватися суцільне або колійне покриття із збірних залізобетонних плит. Тимчасові землевозні дороги з удосконаленим покриттям влаштовуються у разі значного обсягу переміщення ґрунту та тривалого строку експлуатації.

2.2. Технологія бульдозерних робіт

Робочий цикл бульдозера включає такі етапи: робочий хід з розробленням ґрунту, зупинка для перемикання на задній хід, зворотний (холостий) хід з поверненням у вихідне положення, а також повторна зупинка для перемикання на робочий хід.

Під час робочого ходу виконується заглиблення відвала у ґрунт, формування призми волочіння перед відвалом, її переміщення на задану відстань із безперервним підрізанням ґрунту (з метою компенсації втрат у бокові валики), а також розподілення або укладання переміщеного ґрунту.

Для забезпечення ефективної роботи бульдозера тягове зусилля трактора має змінюватися в межах, наближених до максимального значення. На початковому етапі воно витрачається переважно на зарізання та знімання стружки, а надалі – на переміщення призми волочіння. Зарізання здійснюється при максимально допустимій глибині різання, яка поступово зменшується в міру збільшення об’єму призми волочіння (рис. 2.11, *a*). Такий спосіб роботи бульдозера вважається найбільш ефективним.

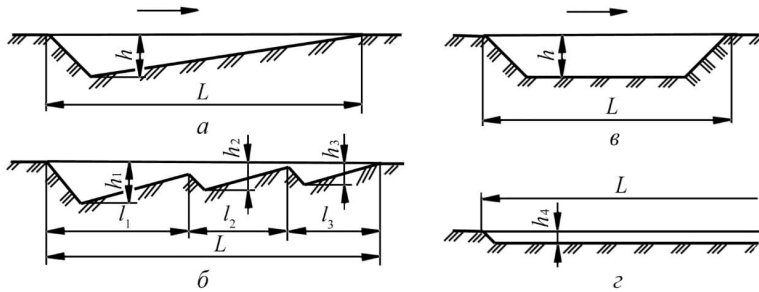


Рис. 2.11. Схеми формування призми волочіння:
a – з поступовим заглибленням відвала; *б* – зі ступінчастим заглибленням відвала; *в*, *г* – з постійною глибиною різання

У разі розробки щільних або міцних ґрунтів опір різанню може досягати значних величин, що потребує попереднього заглиблення відвала. У таких умовах застосовують ступінчасте заглиблення, за якого відвал заглиблюється в ґрунт поетапно (рис. 2.11, *б*). Розробка ґрунтів невеликої міцності здійснюється за умов постійної максимальної глибини різання (рис. 2.11, *в*). Такий спосіб є особливо ефективним під час роботи бульдозера під уклон. У випадках, коли необхідно зняти тонкий шар ґрунту, наприклад, рослинний шар, також застосовується різання з постійною глибиною (рис. 2.11, *г*). У цьому разі глибина різання становить, як правило, 0,10–0,15 м.

Під час руху бульдозера під уклон тягове зусилля збільшується, що сприяє наростанню об'єму призми волочіння, водночас зменшується опір переміщенню ґрунту перед відвалом. У разі руху на підйом спостерігається протилежна картина: тягове зусилля зменшується, об'єм призми скорочується, а опір переміщенню зростає. У результаті продуктивність бульдозера під час роботи під уклон підвищується, а при роботі на підйом – знижується.

Переміщення ґрунту перед відвалом бульдозера без додаткового різання можливе лише за певних сприятливих умов, зокрема:

- наявності бокових обмежень, таких як стінок траншей або валиків ґрунту, які перешкоджають розтіканню призми волочіння в боки від відвала;
- відсутності підйомів уздовж траєкторії руху машини;

- рівної та твердої поверхні, що забезпечує заглиблення відвала в ґрунт у так званому «плаваючому» режимі;
- рівномірного завантаження відвала по всій його довжині, що дозволяє виконувати роботу без частих поворотів.

За відсутності наведених умов, особливо при переміщенні ґрунту по відкритій поверхні масиву, об'єм матеріалу перед відвалом прямо пропорційний глибині різання. У таких випадках переміщення зазвичай супроводжується безперервним додатковим різанням, хоча призму волочіння можна сформувати навіть на короткій ділянці. Без додаткового різання ґрунту набрана призма, як правило, втрачається вже на відстані 6–8 м.

Для підвищення продуктивності бульдозерних робіт застосовують різні способи переміщення ґрунту відвалом.

Перший спосіб передбачає роботу бульдозера в один слід (рис. 2.12, *а*). Під час одного-двох перших проходів утворюються бокові валики, які в подальшому сприяють утриманню ґрунту перед відвалом.

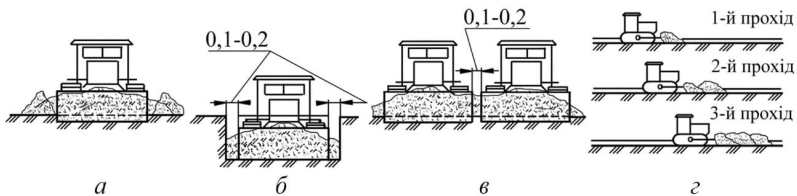


Рис. 2.12. Способи переміщення призми волочіння відвалом бульдозера: *а* – по одному сліду; *б* – у траншеї; *в* – за участю двох бульдозерів, що рухаються паралельно; *г* – у кілька проходів

У разі роботи в траншеї (рис. 2.12, *б*) обмежена відстань між стінками траншеї та відвалом перешкоджає боковому розпорощенню ґрунту, що сприяє його накопиченню перед відвалом.

Також застосовується спарена робота бульдозерів (рис. 2.12, *в*), коли два або три бульдозери здійснюють робочий хід паралельно, з незначним інтервалом між їхніми відвалами. За таких умов утрати ґрунту в бокові валики між відвалами практично відсутні. Ще один із способів полягає в переміщенні подвійної або потрійної призми

волочіння на окремій ділянці довжини робочого ходу (рис. 2.12, *з*). У цьому випадку призма волочіння, сформована під час першого проходу, не доставляється до кінця ходу, а залишається посередині маршруту. Під час другого проходу ґрунт транспортується до тієї ж ділянки, після чого бульдозер без зупинки переміщує вже подвійну призму. Аналогічні дії виконуються під час третього проходу, після чого утворена потрійна призма доставляється до місця укладання.

Різновидом зазначеного способу є переміщення ґрунту через вал, яке зазвичай застосовується під час роботи на ухилах, особливо при потребі зіштовхування ґрунту під крутий укіс. У цьому випадку ґрунт під час кожного проходу не спрямовується безпосередньо під уклон. Перша призма волочіння розвантажується на певній відстані від краю укусу, а наступні 3–4 проходи виконуються з розвантаженням ґрунту впритул до вже утвореної маси. Таким чином, ґрунт, переміщений під час кожного наступного проходу, перекидається через вал, утворений на попередньому етапі.

У підсумку формується значний ґрунтовий вал, що зіштовхується донизу під час останнього проходу. Цей метод вважається безпечним, оскільки виключає потребу наближення бульдозера до краю укусу.

За певних умов ефективність роботи може бути підвищена за рахунок використання спеціального навісного обладнання: відкритків, подовжувачів або уширювачів на відвалі.

Відсіпання, розрівнювання й остаточне укладання ґрунту наприкінці робочого ходу здійснюється під час руху бульдозера. Залежно від подальшого призначення ґрунту застосовуються різні способи його укладання. Так, найпоширенішим є пошаровий спосіб відсіпання ґрунту з вирівнюванням поверхні переднім або заднім ходом бульдозера (рис. 2.13, *а, б*). У більшості випадків після відсіпання ґрунт підлягає ущільненню. Товщина шару становить 0,20–0,25 м.

Під час перших проходів пошарове відсіпання може супроводжуватись одночасним плануванням поверхні – зрізуванням горбистих ділянок і засипанням нерівностей та западин (рис. 2.13, *в*).

У разі переміщення ґрунту до кавальєра або в насип із подальшим ущільненням трамбувальними машинами, укладання здійснюється

валами шляхом притискання призми волочіння до раніше укладеного шару ґрунту (рис. 2.13, *г*).

Найпоширенішою є човникова схема розробки ґрунту, за якої робочий хід бульдозера здійснюється під час руху трактора вперед, а холостий – під час зворотного руху (рис. 2.14). За цією схемою бульдозер може переміщуватися прямолінійно, по криволінійній траєкторії або зі зміщенням «зигзагом».

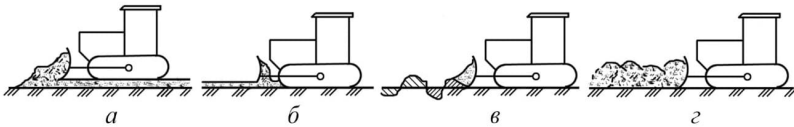


Рис. 2.13. Схеми розподілення та укладання ґрунту:

a – пошарове відсіпання з вирівнюванням у прямому напрямку; *б* – пошарове відсіпання з вирівнюванням у зворотному напрямку; *в* – відсіпання з одночасним плануванням; *г* – укладання валами «впритиск»

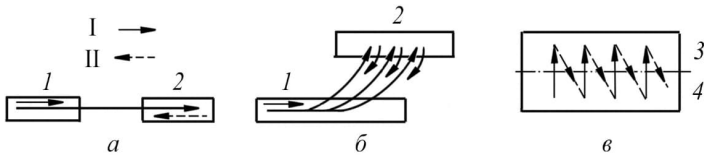


Рис. 2.14. Схеми руху бульдозера:

a – по прямій; *б* – по кривій; *в* – «за зигзагом»; 1 – набір ґрунту; 2 – відвал; 3 – насип; 4 – резерв; I – робочий хід; II – задній холостий хід

Зупинки, необхідні для перемикання з переднього ходу на задній і навпаки, зазвичай використовуються і для одночасного регулювання положення відвала (його підйому або опускання). При використанні механічної трансмісії на перемикання передач витрачається орієнтовно 3–4 с, тоді як у разі гідромеханічної або електричної – 1–2 с. З урахуванням суміщення операцій загальна тривалість зупинки машини становить відповідно 4–6 с і 2–3 с.

Холостий хід виконується з максимально можливою швидкістю, яка визначається технічними характеристиками базової машини. Проте в умовах нерівної поверхні, наявності перешкод фактична швидкість холостого ходу зазвичай становить 5–8 км/год.

Розвороти в кінці робочого ходу для подальшого зворотного руху є малоефективними навіть на великих відстанях переміщення, оскільки час, витрачений на розворот, не компенсується підвищенням швидкості холостого ходу. З огляду на це, у більшості випадків холостий хід здійснюється на передачі заднього ходу.

За наведеними схемами можуть працювати бульдозери як із неповоротним, так і з поворотним (у разі прямої установки) відвалом. Бульдозери з поворотним відвалом приблизно у 70–80% випадків експлуатуються з прямолінійним його розташуванням. Особливості в роботі таких машин проявляються переважно під час виконання завдань з косовстановленим відвалом.

До основних видів земляних робіт бульдозерами належать зведення насипів, розробка виїмок, планувальні роботи, спорудження котлованів і каналів.

Так, зведення насипів бульдозерами (рис. 2.15, *а*) здійснюється шляхом поперечного переміщення ґрунту з резервів або поздовжнього переміщення з виїмок. Залежно від умов виконання робіт може застосовуватись також поперечно-поздовжній спосіб. Він доцільний у випадках, коли резерви розташовані на значній відстані від місця формування насипу. У такій ситуації спочатку ґрунт переміщується поперечним проходом до межі майбутнього насипу, а далі – поздовжнім ходом уздовж лінії насипу до місця укладання. Резерви можуть бути розташовані з одного або з обох боків від насипу.

Аналогічно ґрунт із виїмки може переміщуватись у насип в один або два боки – залежно від конфігурації рельєфу місцевості, обсягів ґрунту у виїмці та у проєктному насипі. Відсипання ґрунту може здійснюватися пошарово або впритул до наявного ґрунтового масиву.

Розробка виїмок частіше всього виконується поздовжнім переміщенням ґрунту. За достатньо великих розмірах виїмки і відносно пологих схилах її розробку можна вести і поперечним способом.

Поздовжнім і поперечним переміщенням виїмка розроблюється як в один, так і в обидва боки (рис. 2.15, *б*). Робота поперечним способом раціональна тільки тоді, коли треба мати пологі укоси у готовій виїмці. Інакше потрібно виконання зайвих земляних робіт.

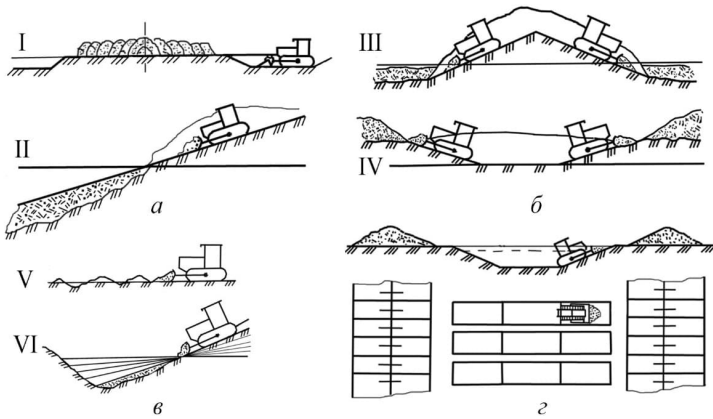


Рис. 2.15. Основні види земляних робіт, що виконуються бульдозерами: *а* – зведення насипів поперечними проходами з резервів (I) та поздовжніми проходами з виїмки (II); *б* – розробка виїмок поздовжніми проходами в обидва боки (III) та поперечними проходами в обидва боки (IV); *в* – планування місцевості із зрізанням підвищень та засипанням знижень паралельними проходами (V), з переміщенням великих об'ємів ґрунту (VI); *г* – спорудження каналів і котлованів траншейним способом

Планування ґрунту може виконуватися як на відносно рівній місцевості з засипанням западин і зрізуванням підвищень, так і на ділянках з вираженим нерівним рельєфом, де передбачено ліквідацію ярів, зрізування горбів тощо (рис. 2.15, *в*). У випадку планування на рівній місцевості роботи виконуються паралельними проходами із частковим перекриттям попередньої смуги – приблизно на $\frac{1}{4}$ довжини відвала. Такий підхід сприяє стабільнішому підтриманню глибини різання та забезпечує рівномірний розподіл ґрунту без утворення бокових валиків на обробленій поверхні. При виконанні робіт відвал бульдозера завантажується орієнтовно на $\frac{2}{3}$ його висоти, що оптимізує ефективність переміщення ґрунту та зменшує втрати на розсипання.

В окремих випадках планувальні роботи можуть виконуватися на підвищених швидкостях до 4–5 км/год. Водночас остаточне (чистове) планування здійснюється зі зниженою швидкістю в межах 2,5–3 км/год для забезпечення необхідної точності. Невеликі нерівності та бокові валики загладжуються на зворотному ході бульдозера при опущеному

відвалі, встановленому в плаваюче положення. Іноді для поліпшення якості планування використовуються перехресні проходи. Середня точність планування бульдозером становить 0,05–0,07 м.

Об'ємні планувальні роботи зазвичай починають із досипання ґрунту в найбільш занижені ділянки шару товщиною близько 0,20 м, що сприяє рівномірному ущільненню матеріалу. Роботи організуються під ухил, з використанням траншейного способу переміщення ґрунту.

Спорудження каналів і котлованів (рис. 2.15, з), як правило, здійснюється траншейним способом із поперечним переміщенням ґрунту. Верхній родючий шар ґрунту товщиною 0,50–0,80 м знімається завчасно і вивозиться за межі будівельного майданчика для подальшого його розподілу по поверхні кавальєрів.

Розробка русла каналу або котловану виконується серією паралельних траншей із поперечним переміщенням ґрунту та залишенням перемичок шириною приблизно 0,50 м. У разі значної глибини траншей перемички видаляються одразу після виникнення ризику їх обвалення. Видалення перемичок може здійснюватися спареними бульдозерами. Розробка ґрунту відбувається під ухил, тоді як під час підйому він лише переміщується.

Для розробки терас і полиць на косогорах (рис. 2.16, а) переважно використовуються бульдозери з поворотним відвалом, хоча в окремих випадках можливе застосування машин із неповоротним відвалом.

На пологих схилах під час улаштування терас або полиць у вигляді напіввиїмки-напівнасипу можуть застосовуватись як бульдозери з поворотним, так і з неповоротним відвалом. Роботи виконуються поперечними проходками з пошаровим відсипанням ґрунту. При цьому полиця має формуватися із зворотним ухилом у бік укусу, що запобігає сповзанню бульдозера вниз по схилу.

На крутих схилах тераси й полиці формуються поздовжніми проходками зі зштовхуванням ґрунту вниз по схилу за рахунок розвороту бульдозера в напрямку зниження рельєфу. До початку основних робіт необхідно створити піонерну (першу) полицю для забезпечення стійкості машини на схилі. Зазвичай полиця формується самим бульдозером. Для цього, рухаючись вгору схилом, оператор

опускає відвал на поверхню ґрунту, а при розвороті машини на 90° один край відвала прорізає невелику полицю. Повторюючи цю операцію кілька разів, формують робочу площадку, придатну для подальшого переміщення ґрунту поздовжніми проходами.

Схеми виконання зворотного засипання траншей бульдозерами залежать від типу застосовуваної машини – з поворотним або неповоротним відвалом (рис. 2.16, б). У разі використання бульдозера з поворотним відвалом машина рухається вздовж траншеї, зсуваючи ґрунт з брівки в напрямку її заповнення.

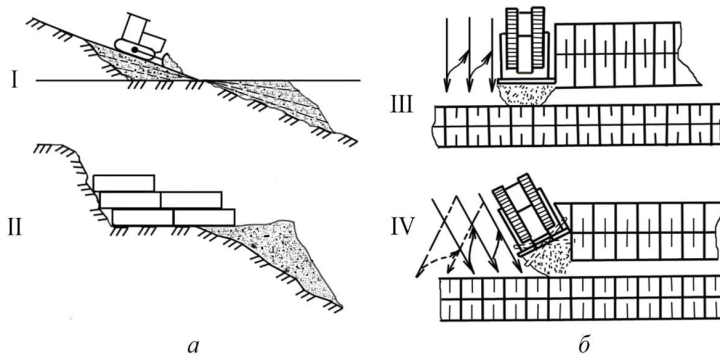


Рис. 2.16. Допоміжні земляні роботи, що виконуються бульдозерами: а – улаштування терас і полиць на косогах поперечними (I) і поздовжніми (II) проходами; б – засипання траншей паралельними проходами перпендикулярно до осі траншеї (III) та косими паралельними проходами (IV)

Засипання траншей бульдозером із неповоротним відвалом виконується за схемою зворотно-поступальних паралельних проходів, перпендикулярних до осі траншеї, або за схемою косих паралельних проходів. Перша схема застосовується тоді, коли бульдозер здатен за один прохід зіштовхнути ґрунт на повну ширину захватки. Друга – у випадках, коли виконання засипання в один прохід ускладнене або неможливе через ширину траншеї чи умови місцевості.

Серед підготовчих і допоміжних робіт за допомогою бульдозерів найпоширенішими є розчищення території від чагарників і дрібнолісся, зрізування дернового шару ґрунту, вирубання дерев, викорчовування пнів, видалення з ґрунту великих каменів тощо (рис. 2.17).

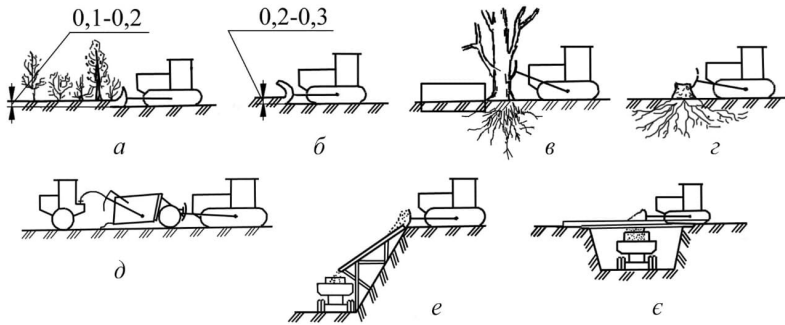


Рис. 2.17. Підготовчі та допоміжні роботи, що виконуються бульдозерами: *a* – розчищення території від чагарників і дрібнолісся; *б* – зрізування дернового шару; *в* – вирубування дерев; *г* – викорчування пнів; *д* – штовхання скреперів; *е* – навантаження ґрунту в транспортні засоби з лотка; *є* – навантаження ґрунту в транспортні засоби з естакади

Розчищення місцевості від чагарників і дрібнолісся виконується за заглибленням відвала на 0,10–0,20 м. У міру накопичення перед відвалом зрізаних рослин, коріння та ґрунту бульдозер здійснює поворот і зміщує накопичену масу вбік.

Зрізування дерну виконується відвалом, заглибленого на товщину рослинного шару, зазвичай 0,20–0,30 м. Зрізані пласти дернового шару переміщуються вбік шляхом повороту машини або прибираються іншими механізмами.

Вирубування дерев здійснюється відвалом, піднятим на максимально можливу висоту. Чим вищим є положення відвала, тим легше звалити дерево. У разі потреби під передбачуваним місцем упору виконується підсипання ґрунту для збільшення висоти дії відвала. Додатково може застосовуватись підрізання кореневої системи дерева з одного або кількох боків.

Великогабаритні дерева (з діаметром стовбура понад 0,10 м) доцільно звалювати двома бульдозерами, які одночасно діють з одного боку. Відвали машин упираються у стовбур з протилежних боків кінцями, що забезпечує більшу ефективність зусилля.

Корчування пнів і видалення каменів здійснюється аналогічно до звалювання дерев. Перед корчуванням, як правило, попередньо

підрізають кореневу систему. Після цього відвал заводиться під основу пня, і шляхом поєднання напірного зусилля бульдозера з підйомним зусиллям на відвалі пень виривається з ґрунту.

Перед видаленням каміння його зазвичай частково відкопують з одного або кількох боків. У разі, якщо на ділянці не планується виконання подальших земляних робіт, великі камені можуть не видалятися, а закопуватися. Для цього з одного боку бульдозером викопується траншея достатньої глибини, в яку зіштовхується камінь і засипається ґрунтом.

Бульдозери також використовуються для штовхання скреперів під час їх завантаження або у разі потреби полегшити їх рух на крутих схилах (рис. 2.18). Сумісний рух бульдозера і скрепера має здійснюватися прямолінійно, оскільки при русі по дузі можливе пошкодження коліс скрепера ножами бульдозерного відвала.



Рис. 2.18. Використання бульдозера для штовхання скрепера

Навантаження ґрунту в транспортні засоби бульдозерами найчастіше виконується в кар'єрах. Для цього попередньо влаштовується спеціальний лоток. Бульдозер переміщує ґрунт або інший сипкий матеріал до верхньої частини лотка і, після підходу транспорту, здійснює завантаження.

На рівнинній місцевості можливе влаштування завантажувальної траншеї, виритої бульдозером. Над траншеєю встановлюється естакада із завантажувальним отвором, в який спрямовується ґрунт.

Експлуатаційна продуктивність бульдозера – P_e , $m^3/зм$ визначається за формулою

$$P_e = \frac{3600 \cdot V_{пр} \cdot k_{вт} \cdot k_v \cdot T_{зм}}{\frac{l_{різ}}{v_{різ}} + \frac{l_{пер}}{v_{пер}} + \frac{l_3}{v_{х.х}} + 2 \cdot (t_{п} + t_{п.п}) + t_{о.в}}$$

де $V_{пр}$ – об'єм призми волочіння, m^3 ; $k_{вт}$ – коефіцієнт втрат ґрунту; k_v – коефіцієнт використання бульдозера в часі, приймається 0,75–0,85; $T_{зм}$ – тривалість зміни, зазвичай становить 8 год; $l_{різ}$, $l_{пер}$ – відстані, на яких відповідно здійснюються різання і переміщення ґрунту, м; l_3 – довжина захватки, м; $v_{різ}$, $v_{пер}$, $v_{х.х}$ – швидкості бульдозера відповідно при різанні, переміщенні ґрунту та холостому ході, м/с; $t_{п}$ – час повороту бульдозера, 10–12 с; $t_{п.п}$ – час перемикання передач, 4–5 с; $t_{о.в}$ – час опускання відвала, 2–3 с.

При розрахунках доцільно використовувати усереднені значення параметрів або проводити їх уточнення на підставі польових спостережень чи паспортних даних машин.

Крім того, під час виконання робіт бульдозерами необхідно суворо дотримуватися вимог техніки безпеки.

Ухили на підйомах і спусках, а також поперечні крени під час будь-яких операцій не повинні перевищувати граничних значень, установлених заводом-виробником в інструкції з експлуатації машини. Як правило, ці значення не перевищують: для підйомів – 25° , для спусків – 35° , для бокових кренів – $12\text{--}15^\circ$.

Під час скидання розробленого ґрунту поперечним ходом під укiс забороняється висувати відвал за край насипу, оскільки це може призвести до сповзання машини вниз.

При русі бульдозера вздовж укусу або насипу ходова частина не повинна виходити за край. Такі ж обмеження необхідно враховувати й під час засипання траншей: у разі недотримання вимог можливе обвалення стінок траншеї та сповзання машини.

Під час роботи на косогорах слід формувати невеликий (3–7°) зворотний ухил полиці або тераси, що запобігає сповзанню трактора схилом або обваленню краю робочої площадки.

Операції зі зрубання чагарнику, дрібнолісся, корчування пнів, видалення з ґрунту великих каменів, а також розробка підірваних або розпушених скельних порід повинні виконуватись з особливою обережністю, оскільки існує ризик пошкодження конструктивних елементів базового трактора. Під час вирубування дерев, після початку їх нахилу, необхідно зупинити бульдозер, від'їхати назад, після чого завести відвал під кореневу систему. Операція вирубування продовжується за рахунок поєднання напірного зусилля трактора та підйомного зусилля відвала. Недотримання цієї послідовності може призвести до того, що коріння дерева потрапить під гусениці, що спричинить пошкодження або перекидання машини.

При штовханні скрепера бульдозером слід забезпечувати контакт відвала з буфером скрепера на швидкості, близькій до швидкості руху останнього, щоб уникнути механічних ушкоджень обох машин. Недопустимим є під'їзд бульдозера під кутом до скрепера, оскільки може спричинити деформацію конструкції або пошкодження шин.

Завантаження транспортних засобів бульдозером за допомогою містків або естакад необхідно здійснювати поступово. Падіння великої маси ґрунту у кузов самоскида може призвести до його пошкодження, тому навантаження має бути контрольованим.

2.3. Технологія скреперних робіт

Скрепери переважно застосовуються для розробки ґрунтів I та II груп. Щільніші й твердіші ґрунти вимагають попереднього розпушення. Зазвичай скрепери не використовуються на заболочених ділянках, у перезволожених незв'язних ґрунтах, зв'язних ґрунтах за вологості понад 25%, а також на сипких пісках.

Максимальна доцільна дальність транспортування ґрунту визначається типом скрепера та місткістю його ковша:

– для причіпних скреперів з тракторами на гусеничному ході і місткістю ковша до $6,3 \text{ м}^3$ – до 300 м, місткістю понад $6,3 \text{ м}^3$ – до 500 м;

– для напівпричіпних скреперів з тракторами на пневмоколісному ході та місткістю ковша до 10 м^3 – не більше 1 500 м;

– для самохідних скреперів на базі одновісних автомобільних тягачів із ковшами місткістю 10 і 15 м^3 – не більше 3 000 м.

Скрепери використовуються для:

– розробки ґрунтів у виїмках, котлованах і траншеях з переміщенням ґрунту у насипи, кавальєри або відвали;

– зведення насипів з ґрунтів резервів або кар’єрів;

– будівництва каналів;

– укладання ґрунту в дамби та греблі;

– планування будівельних і виробничих майданчиків;

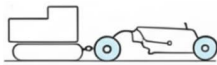

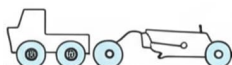
– виконання розкривних робіт;

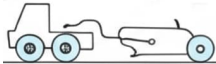
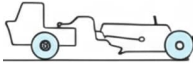
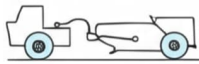
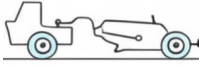
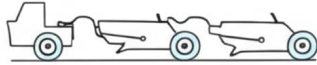
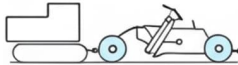

– зрізування ґрунту на укосах земляних споруд за крутості укосу не більш ніж 1:3,5.

Тип скрепера доцільно обирати з урахуванням умов виконання земляних робіт – властивостей ґрунту, обсягів і відстані переміщення, способу завантаження і розвантаження, потреби у допоміжній техніці, а також рельєфу місцевості. Технологічні особливості застосування скреперів різних типів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Технологічні особливості застосування скреперів

№	Вид компонування скрепера	Особливості застосування
1	Причіпний двовісний 	Доцільний для формування насипів і переміщення ґрунту на короткі відстані; ефективний при великих обсягах робіт на рівнинних ділянках
2	Причіпний одновісний 	Рекомендований для легких ґрунтів і робіт з незначною глибиною розробки; забезпечує високу маневреність і економію пального
3	Причіпний двовісний з колісним тягачем 	Підходить для масового переміщення ґрунту в межах будівельного майданчика; допускає використання серійних колісних тягачів

№	Вид компонування скрепера	Особливості застосування
4	Напівпричіпний 	Відзначається підвищеною мобільністю при планувальних роботах на слабких ґрунтах; забезпечує надійне зчеплення
5	Самохідний з механічною передачею 	Ефективний на об'єктах зі складною конфігурацією або обмеженим простором; придатний для середніх і великих обсягів земляних робіт
6	Двомоторний з механічною передачею 	Призначений для інтенсивних земляних робіт у щільних ґрунтах або за великого обсягу переміщення; працює без бульдозера-штовхача
7	Самохідний дизель-електричний 	Доцільний при тривалих технологічних циклах, що вимагають точного контролю процесу розробки та переміщення ґрунту
8	Самохідний двоківшевий дизель-електричний 	Раціональний для формування насипів великої довжини або площі; ефективна циклічність виконання операцій
9	Причіпний з елеваторним завантаженням 	Доцільний для зволжених або пухких ґрунтів, де складно виконати різання традиційними засобами; забезпечує стабільне завантаження
10	Самохідний елеваторний 	Висока ефективність при переміщенні вологих або липких ґрунтів; не потребує застосування бульдозера-штовхача

Робочий цикл скрепера включає такі операції: набір ґрунту, транспортування, розвантаження ковша, зворотне переміщення машини з порожнім ковшем до забою.

Процес набору ґрунту передбачає його різання та наповнення ковша. Різання може виконуватись кількома способами (рис. 2.19).

Спосіб різання з постійною товщиною стружки (рис. 2.19, а) застосовується переважно під час виконання планувальних робіт, коли необхідно знімати шар ґрунту незначної товщини. При цьому тягове зусилля скрепера використовується не в повному обсязі.

Більш поширеним є спосіб різання ґрунту зі змінною товщиною стружки, так зване звичайне різання (рис. 2.19, б). У цьому випадку ґрунт спочатку зрізується стружкою максимальної товщини, яка поступово зменшується до кінця шляху набору. Такий підхід забезпечує рівномірне навантаження двигунів скрепера і бульдозера-штовхача протягом усього циклу завантаження ковша, що сприяє підвищенню швидкості його заповнення. Цей спосіб вважається найбільш ефективним під час роботи на глинистих ґрунтах.

Найчастіше використовується гребінчастий спосіб різання (рис. 2.19, в). На початку наповнення ковша заслінка повністю піднімається, а ківш опускається на максимально допустиму глибину. Скрепер переміщується до стану майже повного буксування. Після цього заслінка опускається на призму волочіння, яка утворилася в процесі руху, а ківш піднімається до моменту припинення буксування. Цикл підйому і опускання ковша повторюється кілька разів до повного його заповнення. У різні моменти процесу товщина стружки змінюється в межах від 0,20–0,30 м до 0,08–0,12 м. У результаті в забої, залежно від групи ґрунту, формується 3–6 гребенів.

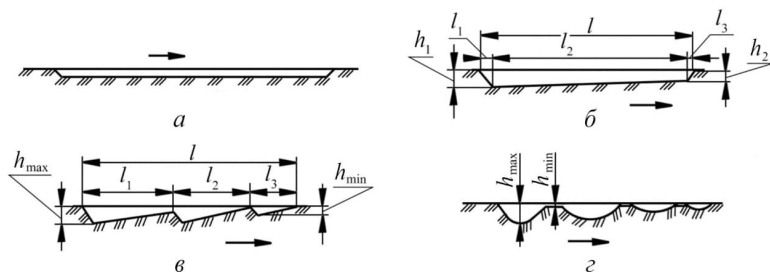


Рис. 2.19. Способи різання ґрунту ковшем скрепера:

а – з постійною товщиною стружки; б – зі змінною товщиною стружки; в – гребінчастий; г – дзьобоподібний

Для вирівнювання забою кожен наступний прохід виконується по тій же смузі з частковим перекриттям попередніх гребенів, із відступом на 2–3 м від початку попереднього проходу.

Гребінчастий спосіб забезпечує краще наповнення ковша порівняно із звичайним способом і дозволяє максимально ефективно використовувати тягове зусилля машини. Найбільш доцільне його застосування під час розробки глинистих і сушіаних ґрунтів.

Різновидом гребінчастого способу є дзьобоподібний спосіб різання (рис. 2.19, з). У цьому випадку ківш багаторазово заглиблюється та вглиблюється під час просування. Унаслідок вертикального руху ковша ґрунт кілька разів зсувається до задньої стінки ковша, що забезпечує збільшення об'єму його заповнення на 10–15%. Цей спосіб доцільно застосовувати в умовах розробки пухких, сипких ґрунтів.

Послідовність скреперних проходок може бути різною, однак на практиці найчастіше використовують такі три схеми (рис. 2.20): «смуга поряд зі смугою», «через смугу», ребристо-шахова схема.

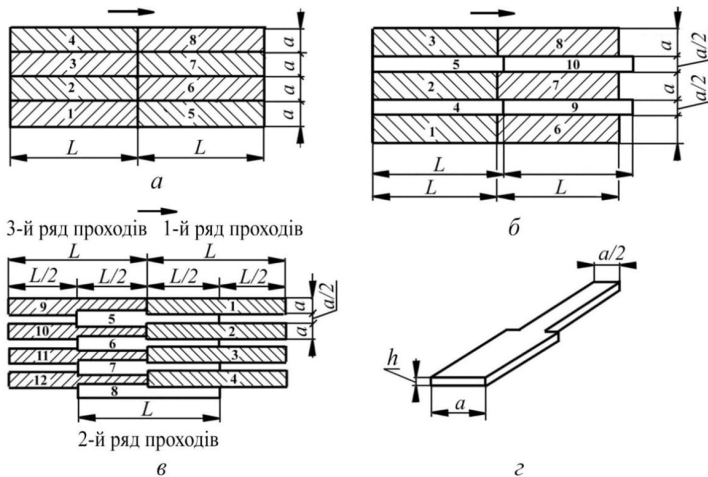


Рис. 2.20. Схеми розробки ґрунту скрепером: а – «смуга поряд зі смугою»; б – «через смугу»; в – ребристо-шахова; г – форма стружки за ребристо-шахового способу (цифрами вказано послідовність розробки смуг)

Розробка ґрунту за схемою «смуга поряд зі смугою» (рис. 2.20, а) є малоефективною через значні втрати ґрунту у вигляді бокових валиків.

Більш доцільною є розробка за схемами «через смугу» (рис. 2.20, б) та ребристо-шаховою (рис. 2.20, в), які дозволяють зменшити втрати ґрунту та поліпшити умови наповнення ковша. Зокрема, ребристо-шахова схема забезпечує додаткову перевагу – зниження тягового зусилля, необхідного в завершальній частині набору ґрунту.

За цією схемою розробка забою здійснюється паралельними смугами з однаковою товщиною стружки. Між першими проходками залишаються смуги незрізаного ґрунту шириною, що дорівнює половині ширини ковша ($a/2$). Другі проходки виконуються зі зміщенням вперед відносно перших на половину довжини проходки. При цьому вісь руху скрепера проходить по центру залишених смуг. У результаті ґрунт спочатку зрізується стружкою шириною a , а потім – стружкою шириною $a/2$, що дозволяє зменшити опір ґрунту в кінці проходки (рис. 2.20, г).

Для розробки малозв'язних ґрунтів (піщаних, супіщаних, лесоподібних) застосовується траншейний спосіб копання, за якого скрепер виконує кілька проходок по одній і тій самій траєкторії, утворюючи траншею глибиною не більше 0,5 м.

Оптимальне заповнення ковша досягається за вологості ґрунтів не більше 25%. У разі недостатньої вологості ґрунти попередньо зволожуються за допомогою поливальних машин.

Розробка щільних суглинистих і глинистих ґрунтів стружкою великої товщини призводить до буксування скрепера. У таких випадках ґрунт розробляється тонкою стружкою (0,06–0,08 м). Попередньо важкі ґрунти частково розпушуються розпушниками по подовжніх смугах.

У зв'язних ґрунтах ківш найінтенсивніше заповнюється за ухилу забою від 4 до 8°. У сухих незв'язних ґрунтах ефективне заповнення ковша досягається за підйому до 4° – за умови попереднього зволоження. Поперечний ухил забою відносно напрямку руху скрепера не повинен перевищувати 5°. На косогорах з більшим поперечним ухилом перед початком скреперних робіт за допомогою бульдозера формують забій: нарізають уступи та влаштовують майданчики для розвороту скрепера.

Раціональна організація взаємодії скрепера з бульдозером-штовхачем має важливе значення для підвищення ефективності роботи. Типові схеми їхньої спільної роботи наведено на рис. 2.21.

За човниковою схемою роботи (рис. 2.21, *а*) бульдозер-штовхач допомагає завантаженню ковша скрепера, після чого заднім ходом повертається у вихідне положення для наступного скрепера.

У човниково-ланцюговій схемі (рис. 2.21, *б*) бульдозер-штовхач послідовно допомагає під час набору ґрунту скреперам 1, 2 та 3. Після завершення завантаження ковша третього скрепера машина повертається у вихідне положення. Ця схема дозволяє зменшити кількість холостих ходів бульдозера-штовхача та підвищити його продуктивність – до 20–25 завантажених скреперів за годину.

Обидва варіанти завантаження ковша можуть застосовуватись як у горизонтальних, так і в похилих забоях.

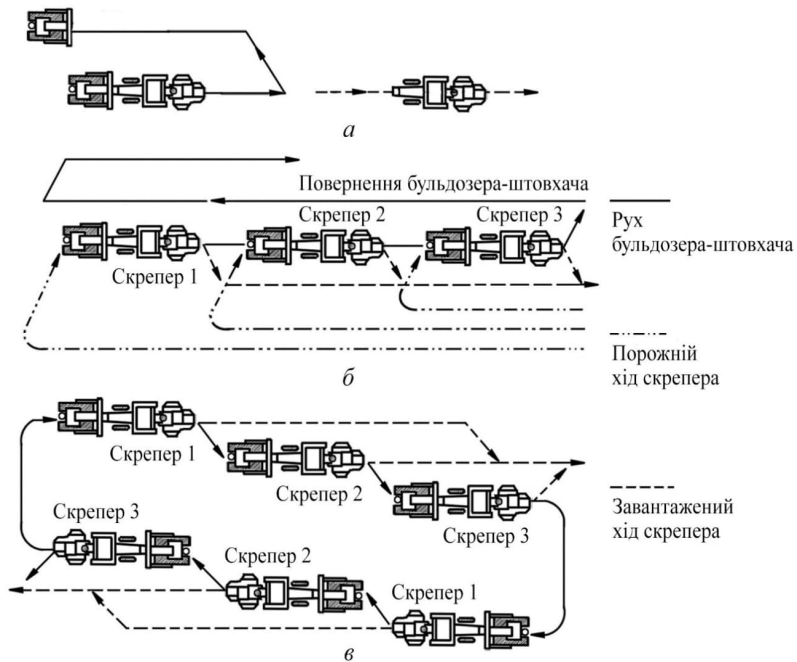


Рис. 2.21. Схеми роботи скреперів з бульдозерами-штовхачами:
а – човникова; *б* – човниково-ланцюгова; *в* – еліптично-ланцюгова

Еліптично-ланцюгова схема (рис. 2.21, в) передбачає розробку забою зустрічними суміжними проходками скреперів. При цьому повністю усуваються холості ходи бульдозера-штовхача: наступний скрепер підходить до забою з протилежного боку, а бульдозеру-штовхачу потрібно лише розвернутися на 180°. Така організація роботи є доцільною під час розробки виїмок із подальшим транспортуванням ґрунту в два суміжні насипи, а також при будівництві каналів або укладанні ґрунту в кавальєри.

Робота скрепера в транспортному режимі займає основну частину робочого циклу – до 80–90%. Тривалість цієї операції залежить насамперед від швидкості руху машини на трасі, яка, у свою чергу, визначається дальністю переміщення ґрунту, станом землевозних доріг і технічними характеристиками скрепера.

Найсуттєвіший вплив на швидкість руху має стан і характер землевозних доріг. Для транспортування ґрунту максимально використовуються наявні дороги або, в разі потреби, в підготовчий період будівництва прокладаються тимчасові. Трасу переміщення ґрунту слід проектувати з мінімальною довжиною, найменшою кількістю поворотів і без значних підйомів, які ускладнюють роботу.

Мінімальний радіус повороту землевозної траси становить 50–100 м, ширина проїжджої частини при однобічному русі – 4,0–5,5 м. Землевозні дороги, як правило, мають ґрунтове покриття з боковими укосами для відведення поверхневих вод.

Під час улаштування виїмок і насипів заввишки понад 1 м для руху скреперів влаштовують в'їзди та виїзди, які можуть розташовуватись уздовж споруди або перпендикулярно до її осі. Відстань між сусідніми в'їздами (виїздами) залежить від типу скрепера і різниці відміток: для причіпних скреперів – 50–60 м за різниці відміток до 5 м і 100–150 м – за різниці більш ніж 5 м; для самохідних скреперів – 300–400 м незалежно від різниці висот.

У транспортному режимі скрепер рухається на максимально можливій передачі, зумовленій дорожніми умовами. Рекомендована швидкість: для причіпних скреперів – 10–11 км/год; для самохідних скреперів – не менше 18–28 км/год.

Під час перевезення на невеликі відстані доцільно застосовувати середню швидкість для навантаженого руху, а порожній хід здійснювати на більш високій швидкості.

Розвантаження скрепера відбувається під час прямолінійного руху зі швидкістю до 9 км/год. Ґрунт вивантажується частинами за рахунок зміни положення ковша по висоті. На початку розвантаження заслінка повністю відкривається, а для остаточного виштовхування ґрунту висувається задня стінка ковша.

Укладання ґрунту відбувається пошарово, горизонтальними поздовжніми рядами – від брівок до середини насипу. Скрепер починає розвантаження в момент, коли передні колеса сходять вниз з шару ґрунту, відсипаного під час попереднього рейсу (рис. 2.22).

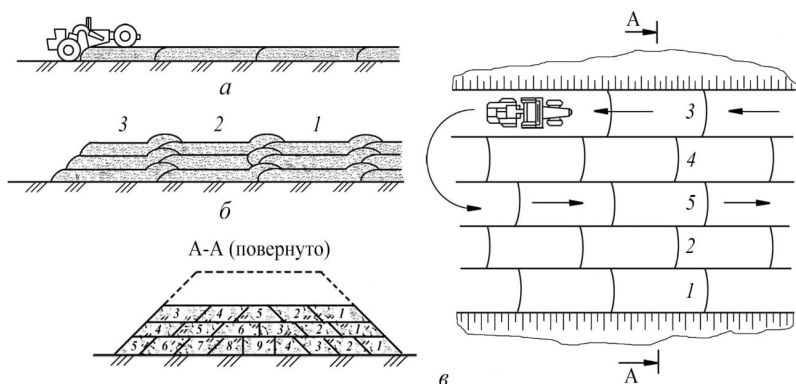


Рис. 2.22. Схема відсипання ґрунту під час розвантаження скрепера:
a – відсипання першого шару; *б* – відсипання наступних шарів; *в* – вигляд насипу в плані; 1–9 – послідовність укладання шарів у насип

Товщина шару відсипаного ґрунту становить для щільних ґрунтів – 0,20–0,30 м, для сипких ґрунтів – 0,10–0,15 м. Така товщина забезпечує одночасне ущільнення ґрунту колесами скрепера та дозволяє рівномірно укладати матеріал. Після 10–20 робочих циклів доцільно виконати планування шару бульдозером або опущеним ковшем скрепера. У разі, якщо це дозволяє рельєф місцевості, розвантаження скрепера доцільно здійснювати під ухил – це полегшує вихід машини з насипу та забезпечує краще розподілення ґрунту.

Залежно від розташування забоїв та місць укладання ґрунту рух скреперів може здійснюватися за різними схемами. Раціональна схема організації руху передбачається в проєктах організації або виконання робіт з урахуванням таких вимог:

- рух скрепера під час наповнення й розвантаження ковша має бути прямолінійним;
- шлях транспортування ґрунту повинен бути найкоротшим;
- довжина забою має забезпечувати повне завантаження ковша та можливість спільної роботи скрепера з бульдозером-штовхачем;
- фронт розвантаження повинен бути достатнім для повного вивантаження ґрунту;
- ухили на в'їздах і виїздах повинні відповідати тяговим можливостям скрепера і забезпечувати безпечні умови руху.

Найпоширенішими схемами руху скреперів є схеми «за еліпсом», «за вісіркою», «за зигзагом», «за спіраллю», а також човникові – поперечні та поздовжні. Під час спорудження земляного полотна найчастіше використовуються три основні схеми: «за еліпсом», «за вісіркою» та «за зигзагом».

Схема руху «за еліпсом» (рис. 2.23, *а*) доцільна під час планувальних робіт або влаштування невеликих виїмок, коли ґрунт транспортується на короткі відстані.

Схема «за вісіркою» (рис. 2.23, *б*) ефективна при зведенні насипів з бокових резервів, розробці виїмок із відведенням ґрунту до кавальєрів, а також під час планувальних робіт. Її перевага над схемою «за еліпсом» полягає у зменшенні кількості поворотів: на кожне завантаження ковша припадає лише один поворот скрепера на 180°, що знижує зношування ходової частини за рахунок усунення чергування поворотів у різні боки. Для транспортування ґрунту на відстань 200–400 м застосовується схема у вигляді розтягнутої «вісімки», відома як «двобічна петля». За нею скрепери в забої та в насипу описують замкнені петлі, з'єднані прямолінійними ділянками руху.

Якщо резерви розміщені з одного або обох боків насипу, використовується схема «за зигзагом» (рис. 2.23, *в*). У цьому випадку скрепер почергово заходить у резерв для завантаження й виїжджає на

насип для розвантаження, а в кінці ділянки виконує поворот на 180°, після чого цикл повторюється у зворотному напрямку.

Схема «за спіраллю» (рис. 2.23, *г*) застосовується при зведенні насипів висотою до 2,5 м із двобічних резервів або при укладанні ґрунту в кавальєри. Вона ефективна за умови, коли ширина насипу дорівнює або перевищує довжину шляху розвантаження скрепера, а ширина резерву недостатня для повного завантаження ковша.

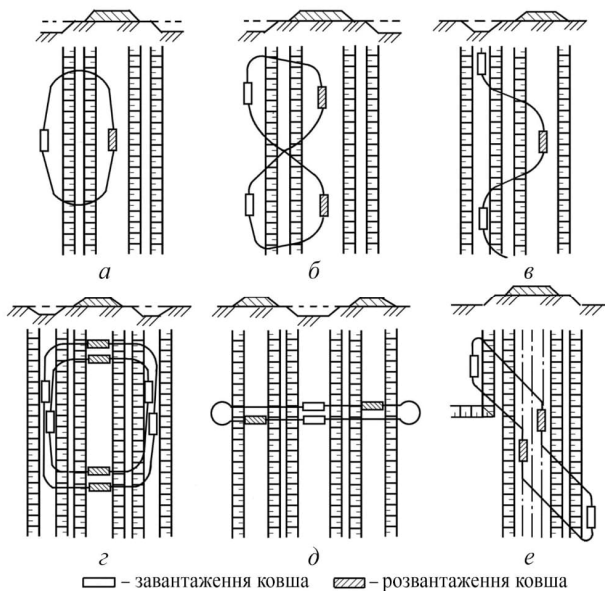


Рис. 2.23. Схеми руху скрепера:

a – «за еліпсом»; *б* – «за вісімкою»; *в* – «за зигзагом»; *г* – «за спіраллю»; *д* – поперечно-човникова; *е* – поздовжньо-човникова

За поперечно-човникової схеми (рис. 2.23, *д*) завантаження ковша виконується перпендикулярно до осі земляної споруди в обидва боки. Ця схема ефективна при наявності двосторонніх резервів або кавальєрів і дозволяє скоротити кількість поворотів, за умови що ширина резерву або виїмки не менша за довжину шляху завантаження.

Поздовжньо-човникова схема (рис. 2.23, *е*) передбачає розміщення осі земляної споруди між насипом і прилеглими резервами або

кавальєрами. Доцільність її застосування залежить від відстані транспортування ґрунту. Схема дозволяє мінімізувати кількість поворотів машини і оптимізувати логістику руху.

Експлуатаційна продуктивність скрепера – P_e , $m^3/зм$ визначається за формулою

$$P_e = \frac{3600 \cdot Q \cdot k_n \cdot k_b \cdot T_{зм}}{k_p \cdot \left(\frac{l_{нап}}{v_{нап}} + \frac{l_{пер}}{v_{пер}} + \frac{l_{роз}}{v_{роз}} + \frac{l_{х.х}}{v_{х.х}} + 2t_{п} \right)},$$

де Q – місткість ковша скрепера, m^3 ; k_n – коефіцієнт наповнення ковша, приймається 1,1–1,2; k_b – коефіцієнт використання машини в часі, приймається 0,8–0,9; $T_{зм}$ – тривалість робочої зміни, зазвичай становить 8 год; k_p – коефіцієнт розпушення ґрунту, приймається 1,2–1,3; $l_{нап}$, $l_{пер}$, $l_{роз}$, $l_{х.х}$ – відстані, на яких відбувається наповнення ковша, переміщення завантаженого скрепера, розвантаження ґрунту, холостий хід машини відповідно, м; $v_{нап}$, $v_{пер}$, $v_{роз}$, $v_{х.х}$ – швидкості скрепера при наповненні ковша, переміщенні з завантаженим ковшем, розвантаженні ґрунту, холостому ході відповідно, м/с; $t_{п}$ – час повороту скрепера, 10–15 с.

Усі робочі операції скреперів виконуються під час руху по бездоріжжю або, у крайньому випадку, по примітивно підготовлених ґрунтових дорогах чи свіжовідсипаних ґрунтах відвалів. Місцеві нерівності рельєфу та поздовжні або поперечні уклони можуть призвести до втрати стійкості машини або порушення її рівноваги.

У процесі зведення насипів скрепери часто працюють у режимі поздовжнього возіння. За таких умов доцільно формувати краї насипу вище за його середину (рис. 2.24, а). Це знижує ризик бокового перекидання машини при русі вздовж краю насипу.

Вїзди та виїзди на укоси насипу становлять підвищену небезпеку, оскільки їх крутизна зазвичай не дозволяє безпечного руху поперек укосу. Ще більш небезпечним є рух по укосу зі скісними підйомами або спусками через імовірність бокового перекидання. З

цієї причини на укосах насипів влаштовують слабопохилі в'їзди, які можуть одночасно виконувати функцію виїздів (рис. 2.24, б). Такі в'їзди формуються самими скреперами під час зведення насипу.

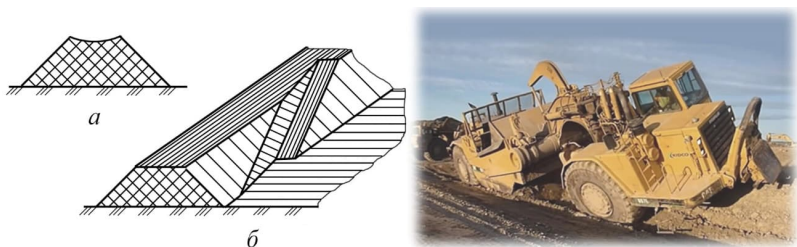


Рис. 2.24. Схема відсипання насипу (а) і улаштування на його укосі в'їздів і виїздів (б) та робота скрепера під час формування насипу

Особливу обережність слід дотримуватись під час виконання поворотів на ділянках із поздовжніми уклонами. Поворот на спуску є небезпечним, оскільки внаслідок інерційного прискорення та зміщення центру мас скрепера можливе зовнішнє бокове перекидання машини. Ризик зростає за наявності поперечної нерівності, що може стати причиною втрати стійкості. З метою запобігання таким ситуаціям необхідно заздалегідь планувати маршрути руху машин, уникаючи виконання поворотів на ділянках спуску, особливо при поганих погодних умовах або низькому коефіцієнті зчеплення з поверхнею.

Якщо уникнути повороту на спуску неможливо, його слід здійснювати з максимальною обережністю: на мінімально можливій робочій швидкості, плавно, без різких змін траєкторії, з дотриманням радіуса повороту, який має у 2,5–3 рази перевищувати мінімально допустимий радіус розвороту скрепера згідно з технічним паспортом машини. Зменшення швидкості та збільшення радіуса знижують дію відцентрової сили, що безпосередньо впливає на стійкість агрегату.

Рух по бокових уклонах у поєднанні з поворотами також супроводжується значним ризиком втрати стійкості та бокового перекидання. У подібних умовах допустима величина поперечного уклону повинна бути зменшена вдвічі порівняно з допустимою для прямолінійного руху. Це пов'язано з тим, що при повороті центр мас

зміщується у бік зовнішнього укосу, що знижує стійкість машини. Особливо це критично при транспортуванні повного ковша або за нестабільної структури ґрунту.

У разі прямолінійного руху на підйомі або спуску, при виникненні відмови гальмівної системи необхідно негайно вжити заходів до аварійного гальмування. Найбільш ефективним способом є поступове опускання ковша скрепера на поверхню ґрунту. Це створює додатковий опір руху, що дає можливість без ривків зменшити швидкість і зупинити машину. У жодному разі не допускається різке гальмування кермом чи спроба змінити напрям руху, оскільки це може спричинити втрату контролю над машиною і її перекидання.

Також важливо забезпечити технічно справний стан системи гальмування, сигналізації, обмеження швидкості та стабілізаторів ходу перед початком роботи на похилих ділянках. Водії повинні пройти інструктаж щодо дій у нештатних ситуаціях, а самі ділянки руху до цього мають бути обстежені та, за потреби, підготовлені (зменшення поперечного уклону, ущільнення ґрунту, усунення перешкод).

2.4. Технологія грейдерних робіт

Грейдери застосовуються у процесі будівництва, капітального ремонту, реконструкції та експлуатаційного утримання автомобільних доріг, при зведенні земляного полотна залізниць. Вони ефективно використовуються у меліоративному будівництві – зокрема для планування території та улаштування водовідвідних каналів.

Грейдери виконують широкий спектр технологічних операцій. Зокрема, до типових грейдерних робіт належать:

- зведення насипів висотою до 1 м із бокових резервів;
- розробка та профілювання кюветів глибиною до 0,80 м;
- зрізання і формування укосів;
- планування та профілювання поверхні земляного полотна.

Під час будівництва доріг з удосконаленим покриттям грейдерами утворюється корито у тілі земляного полотна для подальшого влаштування дорожнього одягу. Крім того, машини використовуються для переміщення, розподілу та вирівнювання

щебеневих і гравійних матеріалів, що укладаються на дорожнє полотно. У ряді випадків грейдери застосовуються для приготування твердих дорожніх покриттів шляхом змішування в межах проїзної частини природних та оброблених ґрунтів із мінеральними в'язучими.

Також грейдери можуть використовуватися для будівництва та технічного утримання під'їзних шляхів до місць виконання основних робіт (кар'єрів, забоїв, будівельних майданчиків тощо), а у зимовий період – для снігоочищення дорожнього покриття, видалення льодової кірки та її зсування на узбіччя.

Процес виконання грейдерних робіт включає послідовні операції зарізання ґрунту, його переміщення, розрівнювання та формування заданого поздовжнього або поперечного профілю земляної споруди.

Найбільш відповідальним етапом є виконання першого проходу – пробивка першої борозни, оскільки саме ця операція значною мірою визначає точність заданого профілю майбутньої споруди. Існує два основних способи пробивки борозни: за кілками або за віхами.

У випадку пробивки борозни за кілками відвал грейдера встановлюється під кутом не більше 15° , так щоб його ріжучий край розміщувався на відстані 0,15–0,20 м від лінії кілків і перебував на одному рівні з зовнішнім краєм обода переднього колеса трактора. Заднє колесо з боку борозни при цьому рухається по її дну, що забезпечує точність дотримання профілю.

У разі пробивки борозни за віхами використовуються віхи заввишки 2–2,5 м, що встановлюються через 100–150 м вздовж передбачуваної осі руху грейдера. Вісь машини орієнтується за візуальним створом між встановленими віхами. Відстань від осі машини до лінії борозни враховується при налаштуванні положення відвала, який встановлюється аналогічно попередньому способу. Машина спрямовується вздовж створу віх так, щоб їх візуальний збіг відповідав поздовжній осі грейдера.

При виконанні операції зарізання ґрунту (рис. 2.25, *a*) кут захвату відвалу має становити $30\text{--}45^\circ$, щоб уникнути заносу грейдера вбік внаслідок дії бокових зусиль на робочий орган машини.

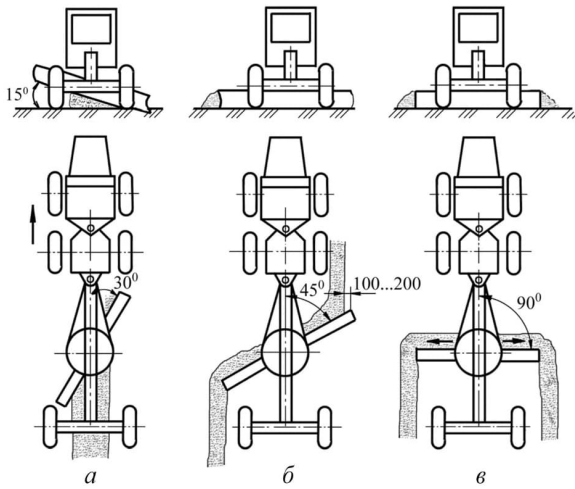


Рис. 2.25. Робочі операції грейдера:

а – зарізання ґрунту; *б* – переміщення ґрунту; *в* – вирівнювання ґрунту

Операція переміщення валика ґрунту у напрямку насипу (рис. 2.25, *б*) становить найбільшу частину технологічного циклу. Частка таких проходів грейдера сягає 60–70% від загальної кількості проходів, необхідних для формування насипу із бокових резервів.

З метою підвищення продуктивності та зменшення кількості проходів доцільно дотримуватись таких вимог:

- переміщення валика ґрунту має здійснюватися на максимально можливу відстань за один прохід;
- швидкість руху грейдера під час переміщення ґрунту повинна бути максимально допустимою;
- ґрунт у насип необхідно укласти шарами, наближеними за формою до проектного поперечного профілю.

Середній кут захвату відвалу при переміщенні ґрунту становить близько 45°. За умови роботи із вологими нерозпушеними ґрунтами кут дещо зменшується для запобігання пробуксовуванню.

Натомість при переміщенні сухих або попередньо розпушених ґрунтів допускається збільшення кута захвату понад 45°, що сприяє збільшенню дальності переміщення.

Під час вирівнювання ґрунту та формування проєктного поперечного уклону земляної споруди (рис. 2.25, в) зусилля, що діють на відвал, мають меншу величину порівняно з попередніми операціями. У цьому випадку доцільно встановлювати відвал із максимальним кутом захвату, що дозволяє збільшити довжину захоплення ґрунту. Водночас швидкість руху грейдера повинна бути максимально можливою для забезпечення рівномірності шару ґрунту.

Зведення насипу з бокових резервів передбачає послідовне виконання таких етапів: розроблення ґрунту з резервів, його переміщення та укладання шарами в межах проєктного профілю. Робочі проходи грейдера здійснюються в повздовжньому напрямку.

Розроблення резервів ведеться поперемінно з обох боків від осі насипу (рис. 2.26), починаючи від внутрішньої брівки. Переміщення ґрунту виконується як у межах резерву, так і безпосередньо на тілі формованого насипу.

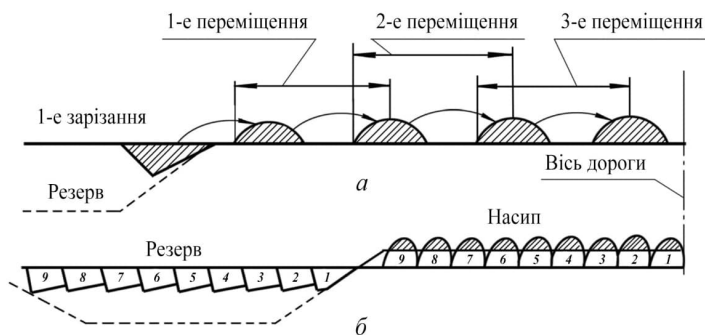


Рис. 2.26. Розробка резерву автогрейдером:

а – зарізання і переміщення ґрунту; *б* – укладання ґрунту; 1–9 – проходи автогрейдера

Характер укладання ґрунту в насипах залежить від їх висоти.

При висоті насипу 0,60–0,70 м ґрунтові валики укладаються впритиск (рис. 2.27, а), тобто кожен наступний валик щільно прилягає до попереднього. У результаті формується один широкий та щільний вал ґрунту, вищий за кожен окремий валик на 0,10–0,15 м і приблизно вдвічі більший за об'ємом.

За висоти насипу 0,40–0,50 м застосовується укладання у напівпритиск (рис. 2.27, б): наступні валики частково прилягають до попередніх, залишаючи між гребенями відстань 0,20–0,40 м.

При висоті насипу до 0,25 м ґрунт укладається у розбіг, з таким розрахунком, щоб валики стикалися лише основами (рис. 2.27, в).

Якщо висота насипу не перевищує 0,15 м, укладання валиками є недоцільним – ґрунт відсипається суцільним шаром від брівки до осі насипу з урахуванням поперечного ухилу (рис. 2.27, г).

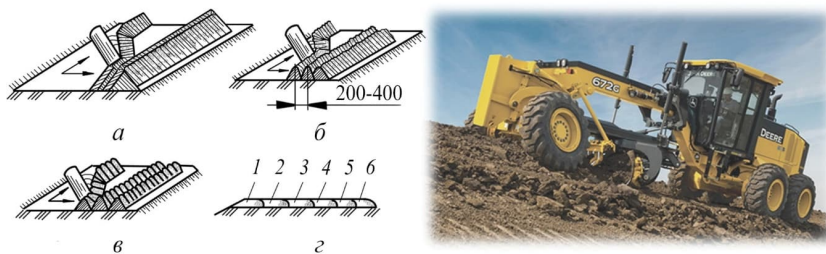


Рис. 2.27. Схеми переміщення ґрунту та робота автогрейдера під час формування насипу:

а – у притиск; *б* – у напівпритиск; *в* – у розбіг; *г* – укладання шару з формуванням заданого поперечного ухилу; 1–6 – проходи автогрейдера

Кювети влаштовуються у виїмках, на нульових відмітках, біля невисоких насипів (до 0,5 м). У піщаних ґрунтах, а також при висоті насипу понад 0,5 м, кювети зазвичай не передбачаються. Грейдерами можуть влаштовуватись кювети з поперечним перерізом трикутної або трапецеїдальної форми.

Глибина кювету залежить від ширини земляного полотна та фізико-механічних властивостей ґрунту.

При ширині полотна понад 11 м глибина кюветів знаходиться в межах 0,50–1,20 м, при ширині до 11 м – 0,40–0,90 м, де нижнє значення характерне для супісків, а верхнє – для суглинків.

Грейдерами нарізаються кювети глибиною до 0,50–0,70 м. Стандартний поперечний ухил укосів кюветів – 1:1,5, проте при розробленні грейдерами внутрішній укіс може становити 1:2 або 1:3. Ширина дна кюветів трапецеїдального перерізу становить 0,40–0,50 м.

Основний обсяг розробки кюветів виконується відвалом грейдера, тоді як зачищення укосів і вирівнювання дна – укісниками, закріпленими на відвалі.

Профілювання передбачає формування поперечного профілю земляного полотна у вигляді невисокого насипу, сформованого за рахунок ґрунту, переміщеного з бокових каналів або резервів. Ґрунт переміщується до осі дороги для формування проїжджої частини.

На рис. 2.28 подано схеми проходів грейдера при профілюванні ґрунтової дороги з каналами трапецеїдального перерізу (показано лише половину поперечного перерізу дороги).

Профілювання виконується серією кругових проходів з обох боків полотна: 1 прохід – зарізання від зовнішньої брівки з глибоким заглибленням відвала, ґрунт відкидається до внутрішньої брівки; 2 прохід – переміщення ґрунту по тілу насипу; проходи 3–12 – продовження зарізання; 14 і 15 проходи – переміщення ґрунту до осі; 16 прохід – вирівнювання; 17 прохід – обробка кювету укісником; 18 і 19 проходи – чистове вирівнювання із застосуванням подовжувача відвала. Ефективність профілювання підвищується при використанні двох грейдерів: один здійснює зарізання ґрунту, другий – переміщення і формування профілю, що дозволяє скоротити втрати часу.

Корито – це виїмка завглибшки до 0,35–0,40 м, улаштована вздовж осі земляного полотна для закладання матеріалів дорожньої основи (піску, щебеню, гравію) та подальшого формування покриття.

Якщо укладання дорожнього одягу виконується не одразу після зведення полотна, корито влаштовується окремим етапом (рис. 2.29). Для цього застосовуються кругові двосторонні проходи грейдера: 1 прохід – зарізання ґрунту по осі корита на глибину 0,12–0,15 м нижче проектної відмітки; 2 прохід – переміщення ґрунту на узбіччя; 3 прохід – заглиблення відвала за 1 м від осі на 0,03–0,05 м; 4 прохід – вирівнювання валиків на узбіччі; 5 прохід – зняття ґрунту по межі корита й узбіччя; кут нахилу відвала – не більше 60°, кут захвату – 40–45°, укладання ґрунту на узбіччі – впритиск; для точного дотримання межі доцільно попередньо встановити кілки через кожні 10–15 м; 6–8 проходи – доопрацювання стику узбіччя з коритом і профілювання дна.

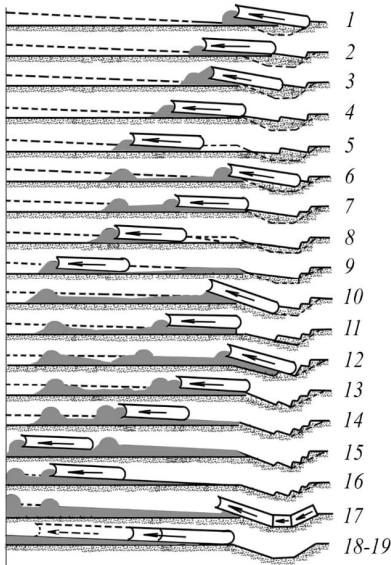


Рис. 2.28. Схема проходів грейдера (1–19 етапи) при профілюванні дорожнього полотна

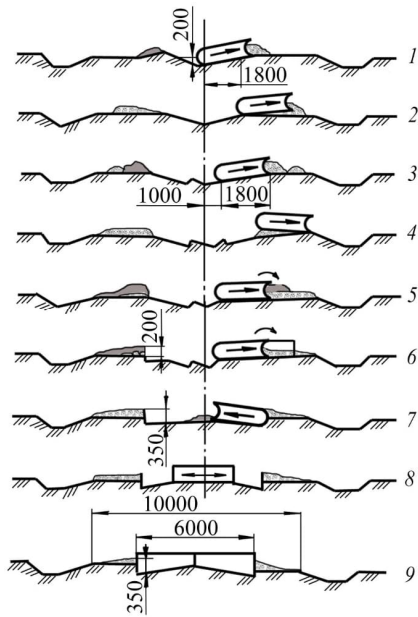


Рис. 2.29. Технологічна послідовність улаштування корита в земляному полотні: 1, 3, 5...7 – зарізання ґрунту; 2, 4 – переміщення; 8 – вирівнювання; 9 – готове корито

Якщо дорожній одяг укладається одразу після зведення земляного полотна, корито під покриття формується в процесі відсипання насипу. Залежно від висоти насипу застосовуються різні способи його улаштування. Так, за висоти насипу до 0,30 м ґрунт із бокових резервів не переміщується до осі полотна, а укладається по узбіччях, формуючи необхідний поперечний уклон (рис. 2.30). Ґрунт зрізається від бортів, переміщується відвалом до осі дороги, розрівнюється та планується до заданого профілю. Кут захоплення відвала: 60–70° при розрівнюванні, 50–70° при профілюванні.

При висоті насипу понад 0,30 м нижній шар укладається звичайним способом і ущільнюється. Верхній шар – від осі дороги до краю корита – формується в напівпритиск, а на узбіччях – у притиск. Відсипаний ґрунт на узбіччях перевищує рівень корита, тому верхівки валів зрізаються й переміщуються до країв полотна.

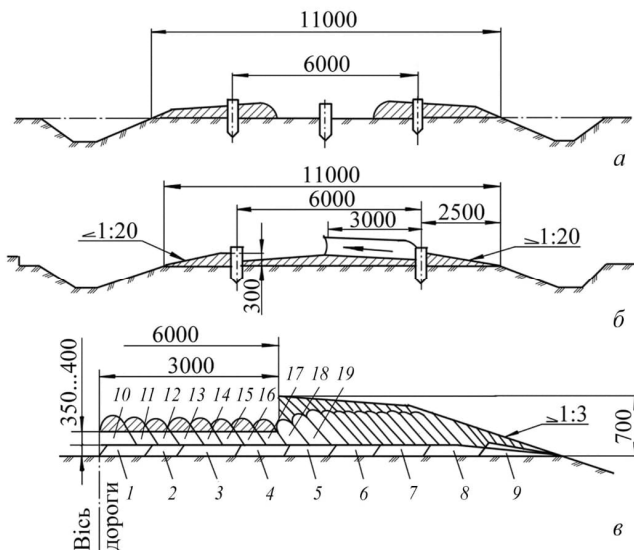


Рис. 2.30. Улаштування корита з одночасним зведенням насипу:
а – відсипання ґрунту в зоні узбіч; *б* – профілювання корита; *в* – схема послідовного улаштування корита; 1–19 – номери проходів автогрейдера

Експлуатаційна продуктивність автогрейдера – Π_e , $\text{м}^3/\text{зм}$ визначається за формулою

$$\Pi_e = \frac{3600 \cdot L \cdot F_H \cdot k_B \cdot T_{\text{зм}}}{2L \cdot \left(\frac{n_3}{v_3} + \frac{n_{\text{II}}}{v_{\text{II}}} + \frac{n_0}{v_0} \right) + 2t_{\text{II}} \cdot (n_3 + n_{\text{II}} + n_0)}$$

де L – довжина робочої ділянки, м; F_H – площа перерізу насипу, м^2 ; k_B – коефіцієнт використання машини в часі, приймається 0,65–0,85; $T_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, зазвичай становить 8 год; n_3 – кількість проходів при зарізанні ґрунту; n_{II} – кількість проходів при переміщенні ґрунту; n_0 – кількість проходів при обробці ґрунту, 16–20; v_3 – швидкість автогрейдера при зарізанні ґрунту (I передача), м/с; v_{II} – швидкість автогрейдера при переміщенні ґрунту (II передача), м/с; v_0 –

швидкість автогрейдера при плануванні (обробці) ґрунту (II, III передачі), м/с; t_{Π} – час одного повороту автогрейдера, 30–35 с.

При будівництві земляного полотна на косогорах застосування автогрейдерів для формування дорожніх насипів висотою понад 0,3 м і при крутості схилу більше ніж 20° вважається небезпечним через високу ймовірність бокового перекидання машини. У подібних умовах основні обсяги ґрунторозробки доцільно виконувати середніми або важкими бульдозерами, оснащеними універсальним (сферичним) відвалом, що забезпечує стійкість машини, ефективність зарізання ґрунту та контрольоване його переміщення на похилих поверхнях.

Автогрейдери використовуються лише на завершальних етапах – для обробки укосів канав і резервів, планування, формування необхідного поперечного профілю, а також розрівнювання ґрунту на поверхні земляного полотна після укладання основного шару. Особливості рельєфу гірських районів створюють додаткові труднощі при організації технологічних проходів і розворотів. Щоб уникнути маневрування на небезпечних ділянках, слід планувати роботу грейдера на прямолінійних відтинках довжиною не менше 500 м без потреби змінювати напрямок руху. Під час поворотів передні колеса грейдера необхідно орієнтувати в бік нагірної частини схилу – це підвищує поперечну стійкість і знижує ризик зсуву машини.

Виконуючи роботи на щойно зведених насипах висотою понад 1,5 м, слід виявляти особливу обережність. Заборонено наближатися до брівки насипу ближче ніж на 1 м, оскільки це загрожує зсувом або просіданням ґрунту і, як наслідок, перекиданням машини.

У разі використання автоматизованих систем керування робочим обладнанням грейдера (наприклад, Leica iCON Grade, Trimble GCS900 / Earthworks, Topcon 3D-MC) необхідно вживати додаткових заходів безпеки. Зокрема, слід забезпечити відсутність персоналу в зоні дії відвала під час роботи в автоматичному режимі, оскільки системи здійснюють миттєве регулювання положення робочого органа за сигналами сенсорів або орієнтирів, що унеможливило передбачення його руху та створює ризик травмування.

2.5. Технологія екскаваторних і навантажувальних робіт

2.5.1. Розробка ґрунту одноківшевыми екскаваторами

Залежно від трудомісткості розробки одноківшевыми екскаваторами, ґрунти поділяються на шість груп: I група – рослинний ґрунтовий шар, лес, піски всіх видів; II група – суглинки з вмістом гравію або м'якої глини; III група – важка ломува глина; IV група – тверда глина; V група – попередньо розпушені мерзлі ґрунти; VI група – попередньо розпушені скельні породи.

Залежно від способу переміщення ґрунту, земляні роботи, що виконуються одноківшевыми екскаваторами, поділяються на транспортні та безтранспортні.

Транспортні роботи передбачають завантаження ґрунту екскаватором у транспортні засоби (найчастіше автосамоскиди) з подальшим перевезенням у місце відсипання або складування (рис. 2.31; 2.32, а, б; 2.33).

При цьому застосовуються дві основні схеми руху транспорту:

- тупикова схема, за якої автосамоскиди під'їжджають до екскаватора і повертаються тим самим маршрутом;

- наскрізна схема, за якою автосамоскиди рухаються повз екскаватор без маневрування і залишають зону навантаження по іншій дорозі, яка є логічним продовженням в'їзного маршруту.

Безтранспортні роботи полягають у розробці ґрунту з укладанням його у відвал, кавальєр або інші споруди без використання транспортних засобів (див. рис. 2.32). Залежно від складності, розрізняють:

- просту безтранспортну схему, коли ґрунт укладається безпосередньо у відвал або кавальєр без подальшої переекскавації;

- складну схему, коли ґрунт спочатку поміщається у тимчасовий (первинний) відвал, звідки згодом може бути частково або повністю переекскавований.

Вибір конкретної схеми організації робіт залежить від виду будівництва. У транспортному, водогосподарському та нафтогазо-провідному будівництві переважають безтранспортні схеми, у той час як у промисловому та житловому – транспортні.

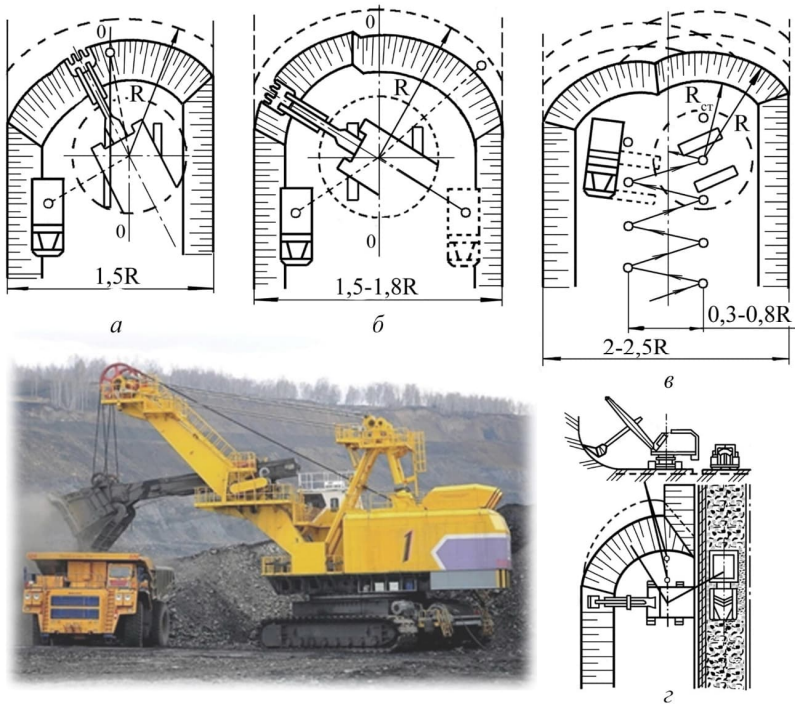


Рис. 2.31. Транспортні схеми роботи і заборі екскаватора з прямою лопатою: *а* – лобовий забій вузький; *б* – лобовий забій нормальний; *в* – лобовий забій розширений; *г* – боковий забій

Робоче місце екскаватора називається забосм. Це робоча зона, яка охоплює частину ґрунтового масиву, що підлягає розробці з конкретної стоянки екскаватора, та майданчик для розміщення екскаватора і транспортних засобів. У випадку безтранспортної схеми до складу забою включається також зона відвалу, куди укладається розроблений ґрунт.

У міру просування робіт екскаватор переміщується, залишаючи розроблені ділянки, що називаються проходками. Залежно від напрямку розробки, розрізняють:

- лобові проходки, коли вісь ходу екскаватора збігається з віссю земляної споруди або лежить у площині її поперечного перерізу. У цьому випадку розробляються три укуси: два бокових і один лобовий;

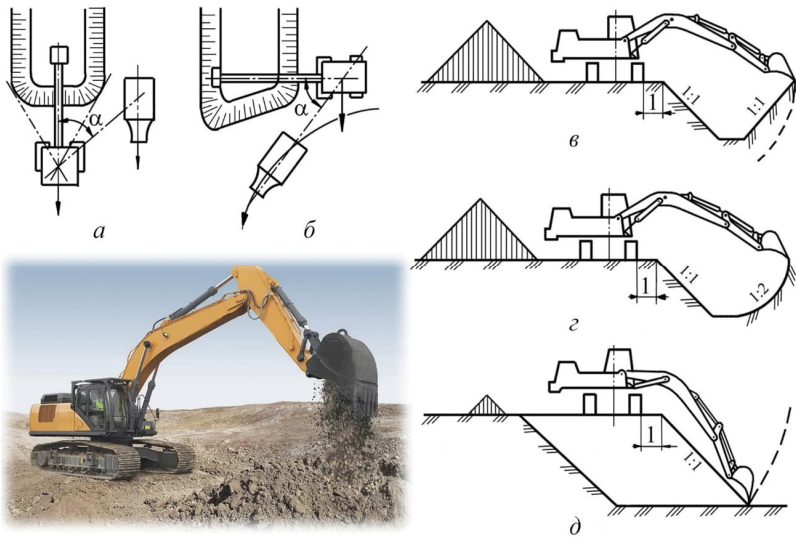


Рис. 2.32. Схеми розробки виїмок і забої екскаватора зі зворотною лопатою: *a* – в лобовому забої за транспортною схемою; *б* – в боковому забої за транспортною схемою; *в* – боковою закритою проходкою за однакової крутості укосів за безтранспортною схемою; *z* – те ж саме з різною крутістю укосів; *д* – боковою відкритою проходкою за безтранспортною схемою

– бокові проходки поділяються на: закриті (рис. 2.32, *в*, *z*) – екскаватор розташовується збоку перерізу виїмки й розробляє два бокових і один лобовий укіс; відкриті (рис. 2.32, *д*) – екскаватор переміщується уздовж смуги розробки, формуючи лобовий і боковий укоси.

Параметри забоїв та проходок мають забезпечувати максимальну ефективність роботи екскаватора, з мінімальними витратами часу на один робочий цикл. Зокрема:

- ширина забою (проходки) має забезпечувати середнє значення кута повороту платформи не більше 70° ;
- глибина (висота) забою має відповідати довжині стружки ґрунту при заповненні ковша з «шапкою» за один цикл копання;
- довжина проходки визначається з урахуванням мінімізації кількості пересувань екскаватора в межах забою;
- поздовжні ухили проходок повинні унеможливити накопичення ґрунтових або поверхневих вод у забої.

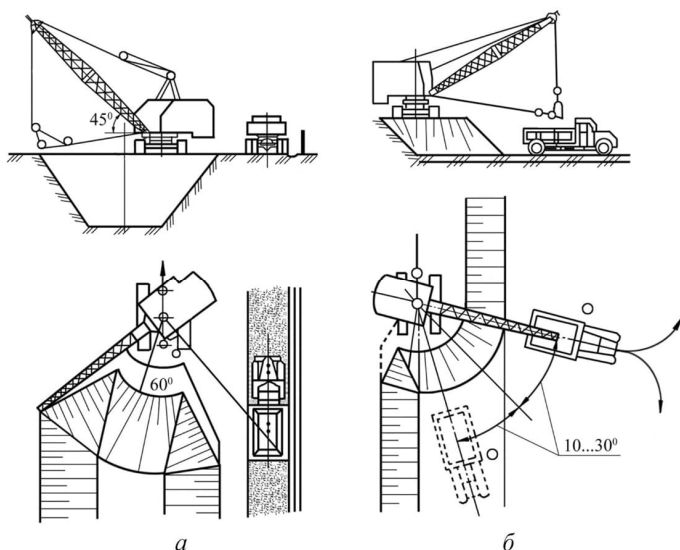


Рис. 2.33. Транспортні схеми роботи і забік екскаватора-драглайна: *а* – лобовою проходкою; *б* – боковою проходкою

Екскаватори з прямою лопатою застосовуються переважно для розробки ґрунтів, розташованих вище рівня стоянки машини. Основні напрями їх використання: риття котлованів і траншей (у тому числі піонерних), формування виїмок у дорожньому, гідротехнічному та магістральному будівництві, спорудження траншей під колектори або фундаменти, видобуток корисних копалин. У всіх зазначених випадках використовуються винятково транспортні схеми переміщення ґрунту.

Розробка ґрунту екскаваторами здійснюється лобовими та боковими проходками (див. рис. 2.31). У разі малої ширини лобової проходки ($B > 1,5R$) екскаватор рухається по осі проходки, одночасно здійснюючи вивантаження ґрунту в транспортні засоби. Максимальна допустима ширина лобової проходки визначається за формулою:

$$B_{\text{л}} \leq 2 \cdot \sqrt{R^2 - l_{\text{п}}^2},$$

де R – максимальний радіус копання, м; $l_{\text{п}}$ – довжина робочого пересування екскаватора, м.

Виймки, ширина яких перевищує $1,5 < B < 1,8R$, розробляються лобовою проходкою із двобічною подачею транспортних засобів. Якщо ширина проходки становить $2R < B < 2,5R$, застосовується розширена лобова проходка «за зигзагом». У разі, коли ширина становить від B до $3,5R$, екскаватор переміщується поперек виймки.

Широкі виймки ($B > 3,5R$) розробляються у два етапи: спочатку – лобовою проходкою, потім – боковими проходками. Максимальна ширина бокової проходки розраховується за формулою:

$$B_6 = B_{\text{л}} + 0,7R_{\text{ст}},$$

де $R_{\text{ст}}$ – найбільший радіус копання на рівні стоянки екскаватора, м.

Мінімальна висота забою, необхідна для повного заповнення ковша механічного екскаватора з «шапкою» під час роботи з прямою лопатою, залежить від міцності ґрунту та місткості ковша.

Для гідравлічних екскаваторів, за умови повного заповнення ковша, мінімальна висота забою становить приблизно 2–3 висоти ковша. Максимальна висота забою для механічних екскаваторів із прямою лопатою залежить від кута нахилу стріли до горизонту в межах $45\text{--}60^\circ$ та місткості ковша $0,25\text{--}2,5 \text{ м}^3$ і коливається від 4,8 до 10,8 м.

Під час розробки ґрунту універсальними гідравлічними екскаваторами, обладнаними прямою лопатою, максимальна висота забою H_{max} приймається на 30% меншою, ніж кінематична висота копання $H_{\text{к}}$, наведена в технічній документації $H_{\text{max}} \leq 0,7H_{\text{к}}$. Це пояснюється тим, що фактична висота копання, яка відповідає реальній роботі ковша в забої, на 20–35% менша від кінематичної висоти.

Для екскаваторів з прямою і зворотною лопатами параметри розвантаження ковша визначаються відповідно висотою і радіусом розвантаження. Обидві характеристики зазначаються у технічних параметрах екскаватора.

Висота розвантаження ковша у кузов самоскида визначається як відстань від рівня стоянки екскаватора або самоскида до нижньої частини ковша. При розвантаженні ківш повинен бути розміщений над кузовом так, щоб весь об'єм ґрунту вільно висипався, ґрунт рівномірно

розподілявся по площині кузова, під час повороту ківш не торкався кузова або вже завантаженого ґрунту (рис. 2.34).

Об'єм кузова самоскида повинен забезпечувати перевезення ґрунтів різних типів. При транспортуванні дисперсних ґрунтів – об'єм кузова використовується повністю, скельних ґрунтів – частково (через великі шматки та нерівномірне укладання). Водночас висота насипу ґрунту в кузові не повинна перевищувати висоту борта більш ніж на 0,30 м з міркувань безпеки транспортування.

Мінімальна висота вивантаження ґрунту в транспортний засіб визначається за формулою:

$$H_B = H_Г + \Delta H = H_Г + 0,1,$$

де $H_Г$ – висота борту самоскида відносно рівня стоянки, м; ΔH – допустиме перевищення нижньої точки ковша над рівнем борту, м (рекомендоване значення – 0,10 м).

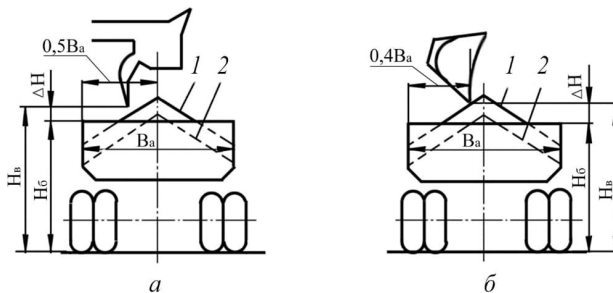


Рис. 2.34. Визначення розвантажувальної висоти екскаватора:

а – ківш з днищем, що відкривається; *б* – поворотний ківш; 1 – легкий ґрунт; 2 – скельний ґрунт

Екскаватори зі зворотною лопатою застосовуються як у транспортних, так і безтранспортних схемах розробки ґрунту, коли машина розташовується на верхній частині площадки, що підлягає розробці (див. рис. 2.32). Робота виконується лобовими та боковими проходками, при цьому вісь робочого ходу екскаватора зміщується у бік підходу транспортних засобів.

При роботі боковими проходками параметри земляної споруди залежать від типу проходки:

– при закритій боковій проходці укуси можуть мати однакову крутість (див. рис. 2.32, в) або різну крутість (див. рис. 2.32, з), що дає можливість збільшити глибину розробки до 1,6 рази;

– при відкритій боковій проходці (див. рис. 2.32, д) глибина може бути збільшена додатково на 20%, але при цьому об'єм відвалу та відстань між ним і виїмкою зменшуються майже у 10 разів або, що потребує організації транспортування ґрунту.

У разі наявності нерівностей поверхні в межах ширини шляху пересування екскаватора, попереднє вирівнювання виконується бульдозером (автогрейдером). Мінімальна глибина забою визначається з умови повного заповнення ковша з «шапкою», максимальні параметри проходок – за технічними характеристиками екскаватора.

Ширина проходки B залежить від найбільшого радіуса копання R і глибини виїмки. При транспортній схемі розробки $B = (1,2 \dots 1,3)R$, а при відсіпанні у відвал $B = (0,5 \dots 0,8)R$.

Для гідравлічних екскаваторів, за заданої глибини котловану h , ширина лобової проходки визначається за формулами:

по верху проходки

$$B = 2 \sin \beta \cdot \sqrt{R^2 - h_{\text{ш}}^2} \approx 1,6 \cdot \sqrt{R^2 - h_{\text{ш}}^2};$$

по низу проходки

$$B = 2 \sin \beta \cdot \sqrt{R^2 - (h_{\text{ш}} + h)^2},$$

де β – кут повороту екскаватора відносно осі пересування (рекомендовано $50-55^\circ$); $h_{\text{ш}}$ – висота осі шарніра стріли відносно рівня стоянки екскаватора, м.

За однобічної подачі транспортних засобів вісь руху екскаватора зміщується у їх бік, і ширина лобової проходки приймає значення $B = 1,3R$, при двобічній подачі $B = (1,6 \dots 1,7)R$.

Драглайни використовуються для розробки ґрунту нижче рівня стоянки машини. Робота виконується лобовими та боковими проходками, за транспортними або безтранспортними схемами. Основною перевагою драглайнів у порівнянні зі зворотною лопатою є більший радіус дії, збільшена глибина копання.

Драглайни особливо ефективні під час розробки ґрунтів I–III груп, зокрема обводнених або з низькою несучою здатністю.

Розташування автотранспорту при роботі драглайна можливе:

- по верху виїмки (див. рис. 2.33, *а*);
- по підшві забою (див. рис. 2.33, *б*), що забезпечує менший кут повороту стріли під час вивантаження, проте за умов надмірної водонасиченості ґрунту – ускладнює пересування машини.

При роботі у відвал кут повороту стріли становить 90–120° при спорудженні виїмок для доріг та не більше 90° під час зведення насипів.

Під час завантаження ґрунту в транспорт, розташований на рівні стоянки, кут повороту екскаватора становить 70–180°.

Якщо стан ґрунту та розміри підшви проходки дозволяють рух автосамоскидів по дну виїмки, застосовуються:

- поперечно-човниковий спосіб завантаження, при якому кут повороту стріли не перевищує 15°, що скорочує час розвантаження ковша і поворотного руху після розвантаження (рис. 2.35, *а*);
- поздовжньо-човниковий спосіб завантаження, при якому ґрунт розробляється з подачею у зону перед задньою стінкою кузова самоскида (рис. 2.35, *б*, *в*). У цьому випадку поворотні рухи екскаватора майже не виконуються, що сприяє підвищенню ефективності робочого циклу.

При човникових способах розробки ґрунту ширина проходки та глибина забою не мають істотного впливу на продуктивність екскаватора. У таких випадках висота підйому ковша визначається виключно висотою завантаження кузова самоскида.

Максимальна продуктивність драглайна досягається за середніх кутів повороту стріли 70–90°. З огляду на це, рекомендована ширина проходки зазвичай приймається на рівні 70–80% від максимально можливої, визначеної конструктивними параметрами машини.

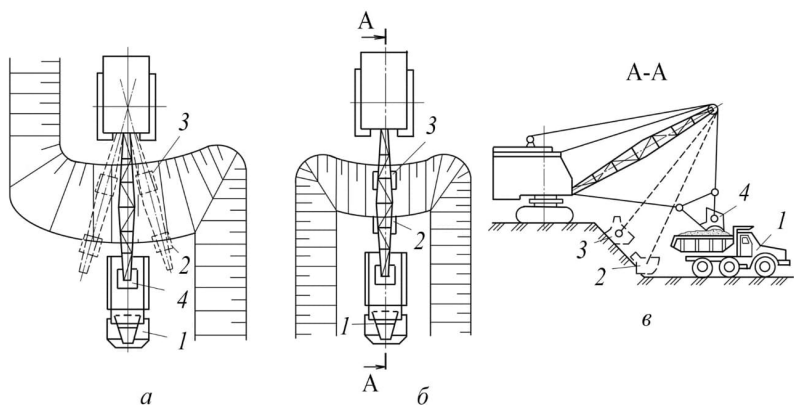


Рис. 2.35. Способи розробки забою драглайном:

a – поперечно-човниковий; *б, в* – поздовжньо-човниковий; *1* – самоскид; *2* – опускання ковша і набір ґрунту; *3* – закінчення набору і підйом ковша; *4* – розвантаження ковша

Під час розробки ґрунту з укладанням його у відвал може застосовуватись човниково-кільцевий спосіб, при якому ківш рухається по замкненій траєкторії (рис. 2.36). У цьому випадку розвантаження ковша виконується «на ходу», без зупинки, що підвищує загальну ефективність процесу.

Застосування цього способу є доцільним у разі:

- великих кутів повороту при розвантаженні (понад 140°);
- розробки широких виїмок, де інші способи менш ефективні.



Рис. 2.36. Робота драглайна човниково-кільцевим способом:

1 – поворот на розвантаження; *2* – поворот у забій; *3* – розвантаження

Експлуатаційна продуктивність одноківшового екскаватора – P_e , $m^3/зм$ визначається за формулою

$$P_e = \frac{3600 \cdot q \cdot k_n \cdot T_{зм} \cdot k_b}{t_{ц} \cdot k_p},$$

де q – місткість ковша, m^3 ; k_n – коефіцієнт наповнення ковша; $T_{зм}$ – тривалість зміни, год; k_b – коефіцієнт використання екскаватора в часі; $t_{ц}$ – тривалість робочого циклу екскаватора, с; k_p – коефіцієнт розпушення ґрунту.

Під час роботи однокішневих екскаваторів, особливо при влаштуванні виїмок, необхідно суворо дотримуватись вимог техніки безпеки, з яких до основних належать дотримання допустимої крутості укосів виїмок, правильне розташування екскаватора в забої.

У ґрунтах природної вологості, за відсутності ґрунтових вод та підземних споруд у зоні виконання робіт, розробка виїмок без застосування кріплень допускається до таких глибин: до 1 м – у піщаних і гравійних ґрунтах, до 1,5 м – у суглинках і глинах, до 2 м – у особливо щільних нескельних ґрунтах.

У глинистих, перезволожених ґрунтах крутість укосів необхідно зменшувати до кута природного укосу, який становить: для піску – 30–35°, для супіску – 35–40°, для суглинків і глин – близько 40°.

Стан укосів має перебувати під постійним візуальним контролем, з метою запобігання обвалам.

Мінімальна відстань d від задньої частини поворотної платформи екскаватора до транспортних засобів (самоскидів), що перебувають у забої, будівель, опор та інженерних конструкцій повинна становити не менше 1 м (рис. 2.37, *а*). Відстань до укосів визначається по прямій, яка є перпендикулярною до укосу.

Мінімальна відстань D від осі ходу екскаватора до підосви укосу виїмки або відвалу (рис. 2.37, *б*) визначається з урахуванням радіуса обертання задньої частини платформи r , допустимого кута укосу відвалу θ та відстані від поверхні ґрунту до рівня платформи h .

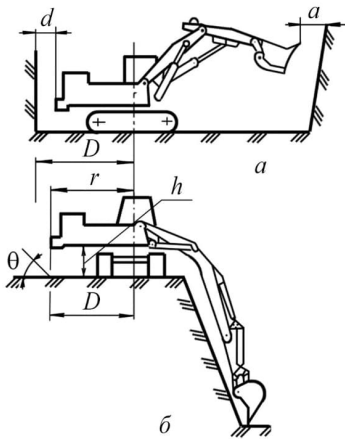


Рис. 2.37. Визначення мінімально допустимих відстаней: *a* – між екскаватором і будівлею; *б* – між екскаватором і відвалом

Залежність має вигляд

$$D = r + h \cdot \operatorname{tg} \theta.$$

Мінімальна відстань *d* від опор екскаватора до верхньої брівки укосу при дотриманні допустимого кута укосу θ та глибині виїмки до 5 м повинна становити не менше 1 м.

У разі розташування гусениць уздовж укосу, відстань *d* визначається за схемою (рис. 2.38, *a*). Якщо гусениці розташовані перпендикулярно до укосу, відлік ведеться від точки *F* (рис. 2.38, *б*), і відстань становить $d + 0,4t_0$ (t_0 – довжина гусеничної ланки).

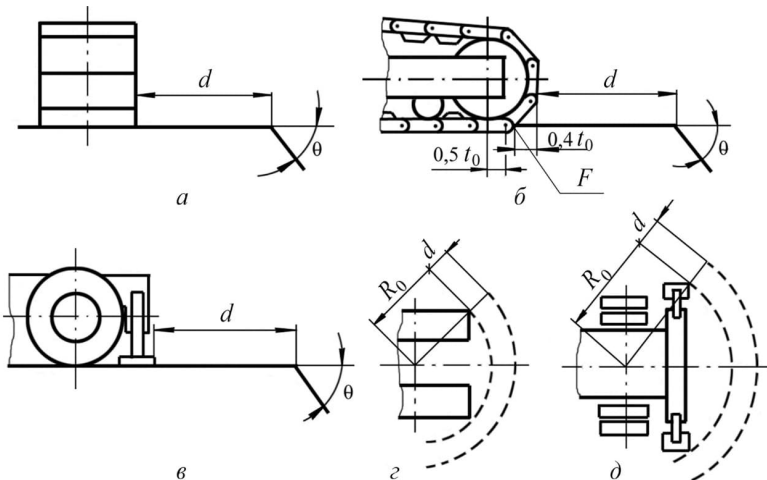


Рис. 2.38. Визначення допустимої відстані від верхньої брівки укосу до опор екскаватора в різних варіантах розташування машини:

a – гусеничний екскаватор розташований паралельно до укосу; *б* – те саме, при розташуванні перпендикулярно до укосу; *в* – вимірювання відстані від башмака виносної опори до брівки; *г* – для гусеничного екскаватора; *д* – для пневмоколісного екскаватора

Для екскаваторів з виносними опорами відстань d встановлюється за схемою, поданою на рис. 2.38, в. При визначенні розмірів бокових проходок, найменша відстань від опор екскаватора до верхньої брівки укосу встановлюється згідно з рис. 2.38, г, д – залежно від положення машини відносно схилу та характеру робіт.

2.5.2. Розробка ґрунту багатоківшевими екскаваторами

Багатоківшеві роторні та ланцюгові траншейні екскаватори застосовуються для механізованої розробки траншей і каналів глибиною 2–3 м, шириною по дну 2–3 м з крутістю укосів 1:1 або 1:1,5. Завдяки високій продуктивності та здатності забезпечувати точні геометричні параметри, вони є доволі ефективним засобом при спорудженні інженерних комунікацій, водовідвідних каналів і траншей для укладання трубопроводів.

Залежно від ґрунтових умов та проектної глибини, стінки траншеї можуть бути вертикальними або мати укоси. У зв'язних ґрунтах (суглинках, глинах) допускається розробка траншей з вертикальними стінками без застосування кріплень – але лише до глибини 3 м і за умови, що укладаються трубопроводи у плетінні. У місцях спуску персоналу в траншею необхідно обов'язково передбачити укоси або встановити тимчасові кріплення, відповідно до вимог безпеки праці.

Перед початком роботи екскаватора трасу траншеї вирівнюють бульдозером, забезпечуючи проектний профіль дна. Розробку траншеї доцільно починати з боку нижчих відміток, ведучи процес проти ухилу місцевості – для ефективного відведення дощових та ґрунтових вод.

Для будівництва довгих траншей (декілька кілометрів) можуть залучатися одночасно кілька екскаваторів. Їм виділяються окремі робочі ділянки довжиною 1–5 км залежно від умов виконання робіт.

У разі, коли конструктивні параметри робочого органа роторного або ланцюгового траншейного екскаватора не дозволяють досягти проектної глибини траншеї за один прохід, застосовуються комбіновані схеми розробки із залученням бульдозерів або скреперів. Вибір схеми залежить від глибини розробки, продуктивності машин і особливостей профілю траси.

Послідовна схема (рис. 2.39, *а*) передбачає попереднє створення виїмки шириною 3,5–3,6 м за допомогою бульдозера або скрепера. Після планування дна траншеї, траншейний екскаватор дорозробляє її до необхідної глибини. Максимально можлива глибина за такої схеми – до 4 м (2 м + 2 м). Проте основний обсяг робіт ~70% виконується менш продуктивною технікою, що знижує загальну ефективність.

Паралельна схема (рис. 2.39, *б*) передбачає виконання піонерної (першої) траншеї екскаватором, після чого бульдозером відбувається розширення виїмки до проектних розмірів. За цієї схеми обсяг ґрунту, розроблений бульдозером, становить приблизно 50% від загального.

Комбінована схема (рис. 2.39, *в*) реалізується двома проходами екскаватора, який створює дві суміжні траншеї. Ґрунт між ними (цілик) розроблюється бульдозером, який одночасно формує укоси з боку відвалу. Об'єм робіт для бульдозера в цьому випадку є найменшим – менш як 50%, що забезпечує кращу продуктивність машино-комплексу без втрати точності профілювання виїмки.

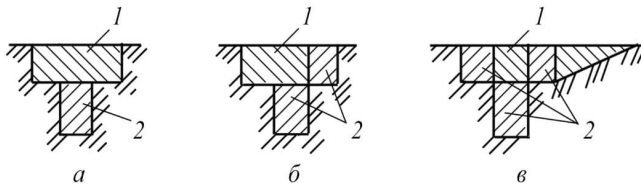


Рис. 2.39. Схеми розробки глибоких траншей багатоківшевим екскаватором та бульдозером:

а – послідовна; *б* – паралельна; *в* – комбінована; 1 – розробка ґрунту бульдозером; 2 – розробка ґрунту екскаватором

2.5.3. Розробка ґрунту одноківшевими навантажувачами

Заповнення ковша навантажувача здійснюється залежно від потужності та вантажопідйомності машини, а також фізико-механічних властивостей ґрунтів. У сучасній практиці виділяють чотири основні способи заповнення ковша: роздільний, суміщений, екскаваційний та комбінований.

При роздільному способі (рис. 2.40, *а*) ківш встановлюється різальною кромкою горизонтально або під кутом 3–5° до поверхні

грунту. Під час пересування навантажувача з невеликою швидкістю 1,4–1,8 км/год ківш заглиблюється у ґрунт на глибину, що становить приблизно 0,85–1 його довжини. Після зупинки машини ківш повністю закидається до упору, а стріла піднімається у транспортне положення. Цей спосіб є найбільш поширеним при навантаженні сипких будівельних матеріалів (піску, гравію, щебеню), оскільки забезпечує швидке і повне заповнення ковша за мінімального зусилля.

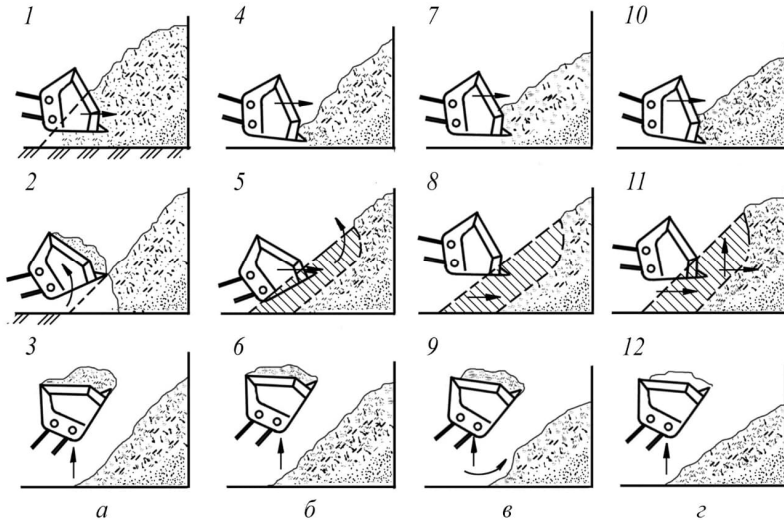


Рис. 2.40. Основні способи розробки ґрунту навантажувачами:

а – роздільний; *б* – суміщений; *в* – екскаваційний; *г* – комбінований; 1, 4, 7, 10 – заглиблення ковша в ґрунт; 2 – закидання ґрунту в ківш і його поворот; 3, 6, 12 – підйом стріли з встановленням ковша у транспортне положення; 5, 8 – поворот ковша з одночасним рухом машини вперед; 9 – одночасний підйом ковша і регулювання положення стріли; 11 – чергування повороту ковша й підйому стріли під час пересування вперед

Суміщений спосіб (рис. 2.40, б) передбачає заглиблення ковша на меншу глибину – 0,5–0,6 його довжини. При цьому навантажувач рухається з більшою швидкістю 2,5–5 км/год, а закидання ковша здійснюється поступово у процесі його заглиблення. Оптимальний ефект досягається за умови, коли швидкість переміщення навантажувача узгоджується із середньою лінійною швидкістю

закидання різальної кромки ковша. Такий підхід дозволяє знизити напірне зусилля заглиблення приблизно у 2–3 рази порівняно з роздільним способом. Суміщений спосіб ефективне для навантажувачів вантажопідйомністю до 10 т, особливо при роботі з ґрунтами I–II груп як у природному, так і в розпушеному стані, а також при завантаженні мінерально-будівельних матеріалів.

За екскаваційного способу (рис. 2.40, в) ківш встановлюється під кутом 3–5° до основи забою. Заглиблення ковша здійснюється на 0,4–0,5 його довжини, після чого відбувається підйом стріли. Під час виходу ковша із забою для уникнення втрати матеріалу відбувається його повне закидання. У випадку недостатньої глибини заглиблення, особливо при обробці важких щільних ґрунтів, виконується додатковий цикл заглиблення. Цей спосіб доцільно застосовувати для розробки щільних, вологих і зв'язних ґрунтів (III–V груп), зокрема за висоти забою понад 1,5 м.

Комбінований спосіб (рис. 2.40, г) є найбільш ефективним для навантажувачів вантажопідйомністю понад 10 т, особливо при роботі з важкими ґрунтами IV–V груп. У процесі заглиблення ковша, нахиленого на 3–5°, навантажувач рухається вперед з одночасною роботою механізмів закидання ковша і підйому стріли. За допомогою координованих дій відбувається періодичне закидання ковша на 2–3° та підйом стріли на 5–10°, що забезпечує максимальне наповнення ковша навіть у складних умовах.

Розвантаження ковша навантажувача може здійснюватися двома основними способами (рис. 2.41):

- класичне розвантаження, коли стріла підіймається на висоту, яка забезпечує повний поворот ковша над кузовом автосамоскида, після чого відбувається вивантаження матеріалу;
- розвантаження зі зменшеною висотою – стріла підіймається лише до рівня, при якому зуби ковша розташовуються в центрі кузова, що відбувається при незначному повороті стріли.

Другий спосіб дозволяє зменшити мінімально необхідну висоту розвантаження на 8–10%, що є особливо важливим при роботі в умовах обмеженого простору.

Разом з тим, тривалість розвантаження при цьому зростає на 20–30%, що необхідно враховувати при організації циклу робіт.

Технологічні схеми роботи навантажувачів залежать від їх типу, ходової частини та умов об'єкта будівництва (рис. 2.42).

Фронтальні навантажувачі на пневмоколісному ході зазвичай працюють із частковим розворотом корпусу на різні кути при відході від забою. Самоскиди при цьому розташовуються паралельно або під оптимальним кутом до фронту робіт, що забезпечує безперешкодний під'їзд для навантажувача та зменшує час на завантаження.



Рис. 2.41. Розвантаження ковша навантажувача в транспортний засіб

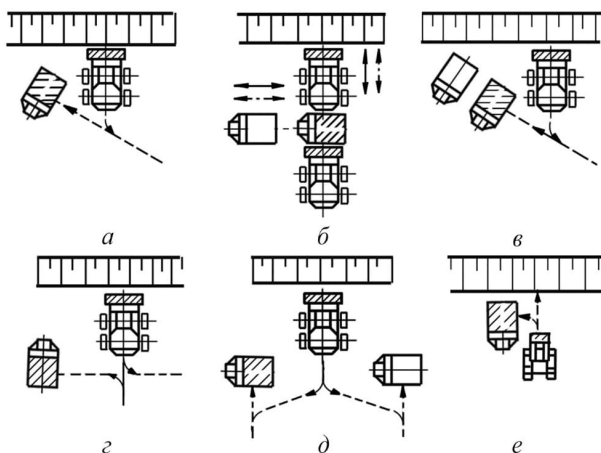


Рис. 2.42. Схеми роботи навантажувачів у комплекті з автосамоскидами:
a, в – з поворотом навантажувача на 45–50°; *б* – човникова; *г* – з поворотом на 90°; *д* – зі спареним розташуванням автосамоскидів; *е* – човникова з розвантаженням у бік

Гусеничні та важкі колісні навантажувачі зазвичай застосовують човникову схему роботи. Вона полягає в тому, що навантажувач переміщується вперед і назад перпендикулярно до фронту забою на відстань 10–20 м без необхідності розвороту корпусу. Це дозволяє зменшити втрати часу на маневрування, підвищити стабільність роботи на нестабільних ґрунтах та збільшити продуктивність циклу. Самоскид у цій схемі також здійснює зворотно-поступальні рухи паралельно фронту забою, залишаючи достатній простір для безпечного маневрування та зменшуючи ймовірність зіткнень техніки.

Напівповоротні навантажувачі виявляють високу ефективність при транспортуванні ґрунту на короткі відстані (до 10 м). Їх перевага полягає у можливості повороту робочого обладнання в плані на кут до 90°, що дозволяє встановлювати транспортні засоби під будь-яким зручним кутом до фронту робіт, що підвищує гнучкість технологічного процесу, особливо в умовах обмеженого простору.

Експлуатаційна продуктивність навантажувачів значною мірою залежить від дальності транспортування ґрунту. Так, максимальні показники продуктивності досягаються при переміщенні ґрунту на відстань до 30 м. Зі збільшенням цієї відстані до 250 м продуктивність навантажувача в середньому знижується приблизно у 4 рази через зростання часу холостих ходів. В умовах будівництва, де дальність переміщення ґрунту варіюється, навантажувачі використовують для транспортування на відстань до 150–180 м, що є оптимальним з точки зору балансу між продуктивністю та економічністю робіт.

Для підвищення ефективності роботи навантажувачів перед початком рекомендується ретельно вирівняти та спланувати робочу площадку. Це зменшить втрати ґрунту з ковша при транспортуванні, підвищить безпеку руху техніки, запобіжить можливим пошкодженням ходової частини та збільшить транспортну швидкість машин.

Разом з тим, для роботи на нестійких або болотистих ґрунтах доцільно застосовувати гусеничні навантажувачі з човниковою схемою руху, що забезпечує більш рівномірний розподіл навантаження на ґрунт та поліпшує прохідність у складних інженерно-геологічних умовах.

У разі стиснутих умов роботи (наприклад, у міських будівельних майданчиках) напівповоротні навантажувачі з можливістю повороту робочого обладнання значно підвищують продуктивність завдяки зменшенню часу на маневрування.

Організація оптимального розташування навантажувачів та самоскидів з урахуванням кута під'їзду, зони маневру і дальності переміщення ґрунту є ключовим фактором для підвищення продуктивності та безпеки робіт.

Запитання для самоконтролю

1. Які підготовчі заходи передують виконанню основних земляних робіт на об'єктах транспортного будівництва?

2. Як класифікуються допоміжні процеси в загальній структурі механізованих земляних робіт?

3. У чому полягає функціональне призначення тимчасових проїздів і під'їзних шляхів під час виконання підготовчих робіт?

4. Які методи тимчасового водовідведення застосовуються на територіях із підвищеним рівнем ґрунтових вод?

5. Яка послідовність зняття рослинного шару ґрунту та як вона впливає на подальші земляні роботи?

6. Які методи і особливості геодезичної розмітки застосовуються при підготовці ділянки до виконання земляних робіт?

7. У яких варіантах можливе розміщення бульдозера відносно забою та як це впливає на ефективність його роботи?

8. У яких випадках доцільне застосування бульдозерів, обладнаних поворотним відвалом?

9. Які технічні рішення забезпечують підвищення точності планувальних робіт при використанні бульдозерів?

10. Як формується фронт робіт при багатопрхідному способі переміщення ґрунту бульдозером?

11. Які складові операції формують робочий цикл скрепера, окрім процесу безпосереднього заповнення ковша?

12. У яких умовах використання скреперної техніки втрачає економічну доцільність?

13. Як тип ґрунту впливає на вибір методу його різання скрепером?

14. Які варіанти маршрутного руху скрепера застосовуються залежно від конфігурації ділянки?

15. За якими критеріями визначається доцільна кількість скреперів у складі механізованої колони?

16. Які функціональні завдання виконує автогрейдер у процесі формування корита під дорожній одяг?

17. У чому полягає відмінність між основним та чистовим проходом грейдера?

18. Які технологічні схеми використовуються при формуванні поперечного профілю земляного полотна автогрейдером?

19. Як обирається раціональний кут нахилу лемеша грейдера залежно від виду виконуваних робіт?

20. У чому полягає методика планування укосів за допомогою автогрейдера?

21. Які особливості має робота одноківшевого екскаватора в транспортній схемі при спорудженні виїмок?

22. Яким чином вибір робочого органа екскаватора впливає на глибину та характер розробки ґрунту?

23. Які конструктивні обмеження притаманні екскаваторам із прямою лопатою при роботі в стиснених умовах?

24. У яких виробничих ситуаціях застосування драглайна є більш ефективним порівняно з екскаватором зі зворотною лопатою?

25. У яких умовах доцільне використання роторних екскаваторів і яку продуктивність вони забезпечують?

26. Які техніко-експлуатаційні чинники впливають на вибір типу навантажувача для фронтальної розробки ґрунтів?

27. Як співвідношення між тривалістю навантаження ґрунту і транспортування впливає на ефективність роботи навантажувача?

28. У чому полягає суть комбінованого способу розробки ґрунту навантажувачем та коли його застосування є найбільш доцільним?

Розділ 3

Зведення земляних споруд

3.1. Вертикальне планування площадок

Планувальні роботи виконуються для надання будівельному майданчику необхідної конфігурації, зміни природного рельєфу або підготовки території під благоустрій. Залежно від обсягів, умов виконання та фізико-механічних властивостей ґрунтів, застосовуються бульдозери, скрепери та однокішшеві екскаватори.

Бульдозери ефективні при переміщенні ґрунту на відстань до 100 м, а у випадку використання базових тракторів потужністю понад 200 кВт – до 150 м. Продуктивність бульдозерів суттєво зростає при роботі під ухил 6–9° стружкою прямокутного перерізу максимально можливої товщини (див. рис. 2.11, в). У таких умовах досягається збільшення призми волочіння та швидкості руху, що і дає можливість підвищити продуктивність у 1,5–2 рази. На горизонтальних ділянках застосовується схема з поступовим зменшенням глибини різання (див. рис. 2.11, а). При розробці щільних ґрунтів ефективна схема ступінчастого заглиблення відвалу (див. рис. 2.11, б), що знижує зношення ріжучої кромки та оптимізує навантаження на машину.

Для зменшення втрат ґрунту застосовується траншейний спосіб (рис. 3.1): багаторазові проходи бульдозера по одному сліду формують траншею глибиною до 0,50 м, стінки якої запобігають осипанню. Міжтраншейні виступи (шириною 0,40–0,60 м) зрізаються у наступних проходах. Групова робота бульдозерів (див. рис. 2.12, в) підвищує ефективність: два чи три агрегати рухаються паралельно, формуючи спільну призму волочіння, більший об'єм ґрунту за один цикл.

Човникова схема (див. рис. 2.14) доцільна на відстанях до 50 м. Після відсіпання ґрунту бульдозер повертається заднім ходом, що виключає розвороти й скорочує цикл. При великих відстанях ця схема малоефективна через значний час холостого ходу. У такому випадку використовують еліптичну схему руху з двома поворотами або схему з проміжними валами через кожні 20–25 м. Кожен вал у міру накопичення матеріалу переміщується далі – до насипу або наступного вала.

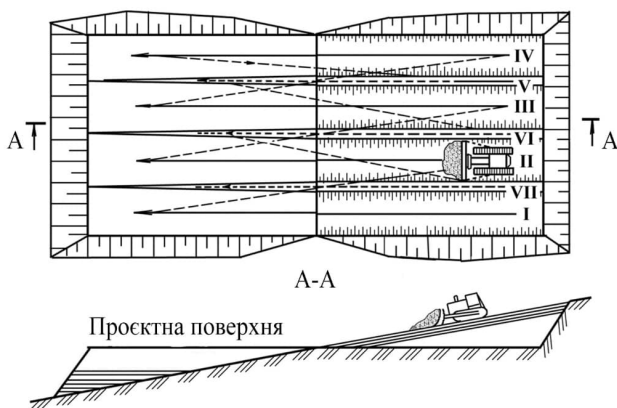


Рис. 3.1. Послідовність траншейної розробки ґрунту бульдозером

Скрепери – високопродуктивні землерийно-транспортні машини, здатні виконувати повний комплекс земляних робіт, таких як різання, транспортування та укладання ґрунту шаром заданої товщини.

Стружка прямокутного перерізу товщиною 0,10–0,25 м (див. рис. 2.19) застосовується в піщаних ґрунтах, при зніманні рослинного шару або роботі під ухил. Клиноподібна стружка забезпечує найкоротший шлях різання і високу продуктивність, але вимагає високої точності налаштувань і досвіду оператора. Стружка гребінчастого профілю – поширений варіант завдяки стабільності та меншим втратам ґрунту.

Для причіпних та напівпричіпних скреперів із прямими ножами схема «смуга поряд із смугою» (див. рис. 2.20, а) малоефективна через значні бокові втрати матеріалу. Натомість застосовують схеми «через смугу» або «ребристо-шахову» (див. рис. 2.20, б, в).

Самохідні скрепери зі ступінчастим ножом працюють за схемами «смуга поряд із смугою» або «через смугу» (рис. 3.2). Ступінчастий ніж формує стружку з потовщеною серединою, утворюючи траншею, яка утримує ґрунт. Щоб мінімізувати холостий хід, бульдозер-штовхач працює з кількома скреперами за човниково-ланцюговою схемою (див. рис. 2.21, б). На ділянках із чергуванням насипів і виймок скрепери рухаються «за спіраллю» або «за еліпсом» (рис. 3.3). У скреперних поїздах з 2–4 машин (рис. 3.4) підвищується зчіпна вага, що дозволяє розробляти ґрунт без допомоги бульдозера-штовхача.

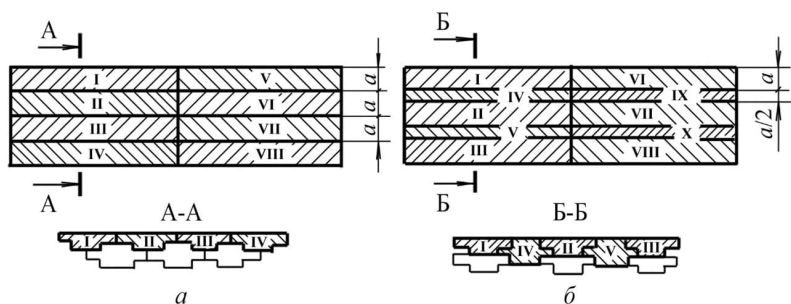


Рис. 3.2. Схеми планування площадок самохідними скреперами: *а* – «смуга поряд зі смугою»; *б* – «через смугу»; I–X – послідовність проходів

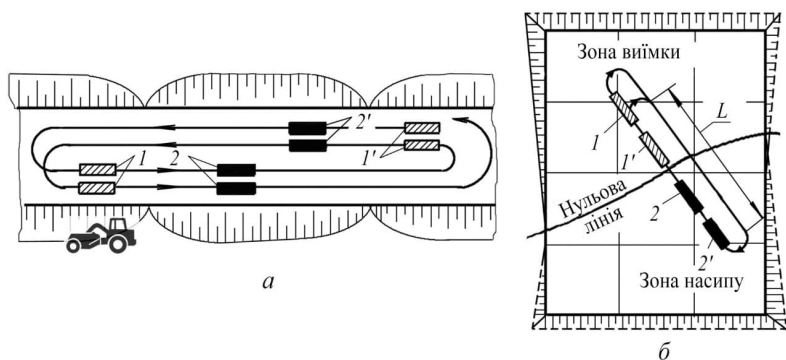


Рис. 3.3. Планування площадок скреперами: *а* – схема роботи скрепера «за спіраллю» на ділянці з насипами і виїмками, що чергуються; *б* – те ж саме, «за еліпсом» при плануванні площадки; 1, 1' – набір ґрунту; 2, 2' – розвантаження ґрунту

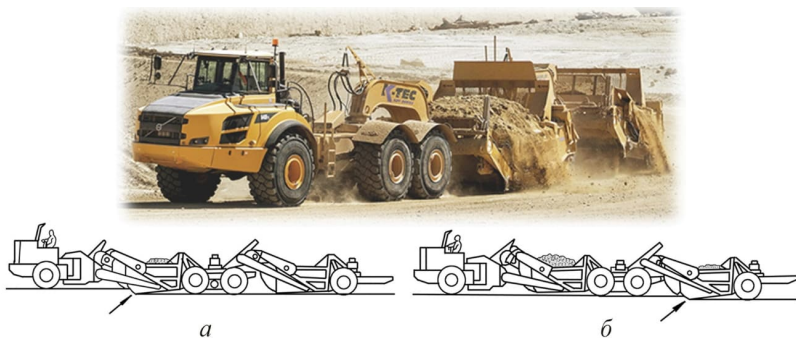


Рис. 3.4. Завантаження скреперного поїзда без бульдозера-штовхача: *а* – завантаження переднього скрепера; *б* – завантаження заднього скрепера

Екскаватори з прямою лопатою в комплексі з транспортними засобами застосовують, коли робочі відмітки дозволяють наповнити ківш за один цикл, ґрунт необхідно транспортувати на значні відстані.

Бокові проходки (рис. 3.5, *a*) з подачею транспорту на рівні підшви забою виконуються паралельно осі руху екскаватора. Лобові забої використовують переважно для створення піонерної траншеї.

При невеликій висоті забою доцільно застосовувати екскаватор у комплекті з бульдозером (рис. 3.5, *б*), який підводить ґрунт до машини для забезпечення достатньої висоти забою. Найчастіше розроблений ґрунт перевозять автосамоскидами завдяки їх маневреності, рідше – тракторними причепами або ланцюговими конвеєрами.

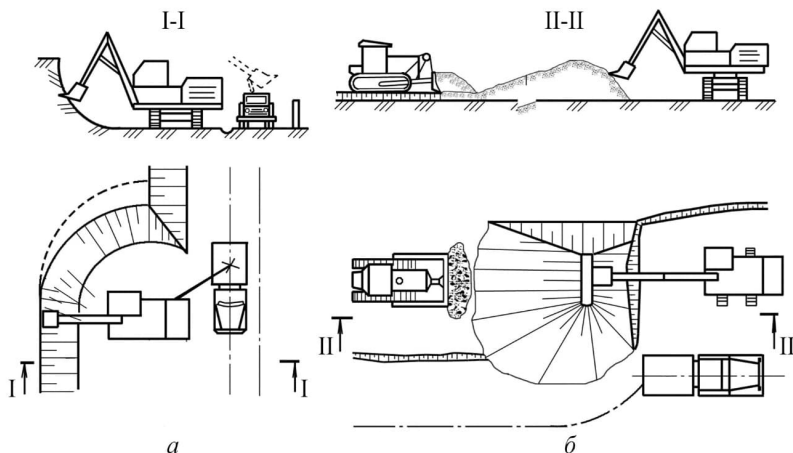


Рис. 3.5. Планування площадок одноківшевіми екскаваторами: *a* – розробка ґрунту боковою проходкою; *б* – сумісна робота екскаватора з бульдозером

Для забезпечення безперервної роботи екскаватора кількість транспортних засобів визначається за формулою

$$N = \frac{t_{\text{ц}}}{t_3},$$

де $t_{\text{ц}}$ – тривалість повного циклу роботи транспортного засобу, хв; t_3 – тривалість завантаження транспортного засобу, хв.

$$t_{\text{ц}} = t_3 + \frac{120 \cdot l}{v_{\text{сер}}} + t_p,$$

де l – відстань транспортування ґрунту в один бік, км; $v_{\text{сер}}$ – середня швидкість руху транспортного засобу (з вантажем і без нього), км/год; t_p – тривалість розвантаження транспортного засобу з урахуванням маневрування, хв.

Зіставлення розрахункової кількості транспортних засобів із фактичною кількістю, наявною в механізованому комплексі, дає можливість оцінити ймовірність простоїв екскаватора та ступінь використання парку автосамоскидів.

Планування та остаточне профілювання укосів виконується гідравлічними екскаваторами-планувальниками. Для цього машина пересувається вздовж брівки укосу на відстані 2–2,5 м від неї, що забезпечує безпечну роботу та зручний доступ робочого обладнання. Ківш, закріплений на телескопічній стрілі, зрізає надлишковий ґрунт, формуючи заданий профіль укосу. Видалений ґрунт завантажується у транспортні засоби або переміщується у відвал. Застосування телескопічної стріли забезпечує можливість роботи з різною глибиною захвату, а також дозволяє зменшити кількість перестановок машини, що позитивно впливає на продуктивність і економічність робіт.

Планувальні роботи виконуються з урахуванням вимог до стійкості укосів та запобігання зсувам. У разі роботи на нестійких ґрунтах передбачають додаткові заходи з укріплення або тимчасового відведення води.

3.2. Розробка котлованів і траншей

Котловани – це тимчасові виїмки у ґрунті, що виконуються з метою зведення фундаментів та інших конструктивних елементів будівель і споруд, розташованих нижче рівня поверхні землі.

За конструктивними особливостями котловани класифікують на такі, що мають вертикальні або похилі стінки (укоси), а також на котловани з кріпленням стінок або без нього.

Котловани з вертикальними стінками без кріплень влаштовують

у щільних ґрунтах природної вологості з незруйнованою структурою, за умови відсутності ґрунтових вод і за глибини розробки, що не перевищує 1–2 м. У випадках, коли глибина виїмки перевищує ці значення, або коли ґрунти не забезпечують стійкості вертикальних стінок, застосовують похилі укоси з дотриманням нормативних значень їх крутизни залежно від фізико-механічних властивостей ґрунту.

Кріплення стінок котлованів використовують при розробці в обмежених умовах щільної міської забудови, у нестійких або водонасичених ґрунтах, а також у випадках, коли відсутність укосів дає можливість зменшити обсяг земляних робіт і площу відведення під будівництво. Конструкція кріплення та спосіб монтажу визначаються глибиною котловану, геологічними умовами і тривалістю експлуатації.

Технологічний процес улаштування котлованів складається з розробки ґрунту з його завантаженням у транспортні засоби або відсипанням на брівку котловану, транспортування ґрунту на місце складування чи відвалу, зрізування укосів і планування дна котловану з досягненням проектних відміток, зворотне засипання пазух між стінками фундаменту та укосами котловану з розрівнюванням і ущільненням ґрунту, а також виконання допоміжних робіт (кріплення вертикальних стінок, водовідлив, зниження рівня ґрунтових вод тощо).

Основним процесом є розробка ґрунту, яка зазвичай виконується однокішшевіми екскаваторами та бульдозерами, іноді – скреперами або гідромеханічним способом.

Екскаватори з прямою лопатою застосовують переважно для розробки котлованів у сухих ґрунтах нормальної вологості. Робота виконується лобовими або боковими проходками з вивантаженням ґрунту безпосередньо у транспортні засоби. Через конструктивні особливості ці машини рідко використовують для відсипання ґрунту у відвал. Місткість ковша визначають залежно від обсягів робіт, глибини котловану та фізико-механічних властивостей ґрунту.

Так, у випадках високої вологості ґрунту або значного рівня ґрунтових вод застосовують відкритий водовідлив або системи зниження рівня ґрунтових вод.

Способи розробки котлованів екскаваторами з прямою лопатою:

– лобова проходка з розміщенням транспортних засобів у забої (див. рис. 2.31) або іноді вище підосви забою;

– ярусна розробка, за якої глибина котловану перевищує максимальну висоту копання екскаватора, при цьому забезпечують мінімальну кількість проходок у перерізі котловану (рис. 3.6).

Максимальна глибина котловану при вивантаженні у транспорт, розташований вище підосви забою, визначається за формулою

$$h \leq H_B - (h_T + 0,5),$$

де H_B – найбільша висота вивантаження екскаватора, м; h_T – висота борта транспортного засобу до його верхньої точки, м.

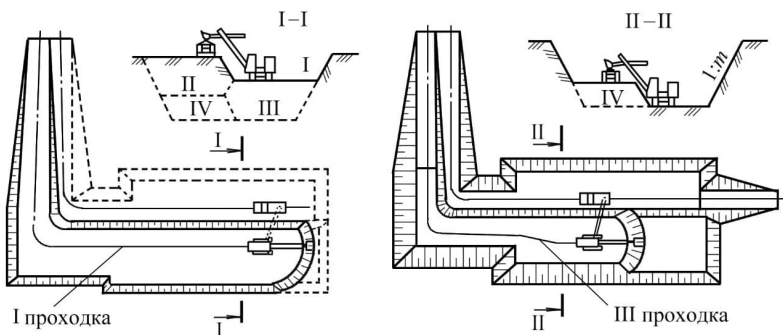


Рис. 3.6. Розробка глибоких котлованів однокішневим екскаватором з прямою лопатою ярусами: I–IV – послідовність проходок

Вибір схеми проходки котловану визначається насамперед його шириною, а також технологічними можливостями застосованих землерийних машин і умовами подачі транспорту для вивезення ґрунту. Залежно від габаритів котловану доцільно застосовувати такі варіанти організації робіт:

- при ширині $B = 1,5R$ – лобова проходка з однобічним розташуванням транспортних засобів (див. рис. 2.31, а), що характерно для відносно вузьких котлованів і забезпечує просту логістику подачі та відведення транспорту;

- при ширині $1,5R < B < 1,8R$ – лобова проходка з двобічною

подачею транспорту (див. рис. 2.31, б), що дозволяє скоротити простої екскаватора та рівномірно розподілити робоче навантаження;

- при ширині від $2R$ до $2,5R$ – уширена проходка з переміщенням екскаватора «за зигзагом» (див. рис. 2.31, в), що підвищує ефективність розробки за значної ширини та зменшує кількість холостих переміщень;

- при ширині до $3,5R$ – переміщення екскаватора поперек котловану з поетапним розробленням ґрунту, що забезпечує зручний доступ до робочої зони та рівномірний фронт робіт;

- для особливо широких котлованів $B > 3,5R$ – комбінована схема, коли спочатку виконують лобову проходку по центральній частині, а потім здійснюють розробку бокових ділянок.

Правильний вибір схеми проходки безпосередньо впливає на продуктивність екскаваторного комплексу, оптимальне використання транспортних засобів та мінімізацію витрат на переміщення машин.

Розробка котлованів екскаваторами з прямою лопатою виконується з недобором ґрунту в підшві котловану, величина якого не перевищує 0,05–0,20 м залежно від місткості ковша, 0,25–5 м³ відповідно. Такий недобір залишають для запобігання пошкодженню основи котловану робочим обладнанням і забезпечення її остаточного планування. Водночас доробка підшви здійснюється, як правило, механізованими засобами – найчастіше бульдозерами, а також автогрейдерами, екскаваторами-планувальниками або екскаваторами зі спеціальними ковшами для планувальних робіт.

Екскаватори зі зворотною лопатою застосовуються для розробки котлованів лобовими або боковими проходками, при цьому машина розташовується вище рівня дна забою з вивантаженням ґрунту безпосередньо у транспортні засоби (рис. 2.32, а, б). Такі умови роботи дозволяють ефективно виконувати розробку зволжених і навіть мокрих ґрунтів, оскільки екскаватор не опускається на дно котловану та не піддається ризику застрягання.

Ширина лобової проходки визначається схемою подачі транспортних засобів:

- при двобічному розвантаженні – в межах $(1,6...1,7)R$ (де R – радіус копання);
- при однібічній подачі транспорту – зменшується до $1,3R$, при цьому вісь переміщення екскаватора зміщують у бік розташування транспортних засобів.

Якщо ґрунт розвантажують у відвал, ширина проходки обмежується умовами розміщення ґрунту на відвалі з формуванням берми для запобігання осипанню.

Котловани, ширина яких перевищує максимально можливу ширину проходки за прямолінійного руху екскаватора, розробляють декількома лобовими проходками, а також із застосуванням зигзагоподібної або поперечно-торцевої схеми переміщення (рис. 3.7).

Кут повороту екскаватора при лобових проходках зазвичай становить $30-60^\circ$, що забезпечує раціональне використання робочого простору та мінімізацію холостих ходів.

У процесі розробки котлованів одноківшевыми екскаваторами необхідно правильно визначити параметри робочих проходок, щоб забезпечити раціональне використання техніки і уникнути перевитрат часу та ресурсів.

Найбільша ширина кожної наступної лобової проходки (якщо розробляється один борт котловану) визначається з залежності

$$B \leq 2 \cdot \sqrt{R^2 - l_{\Pi}^2} - h \cdot \operatorname{ctg} \theta,$$

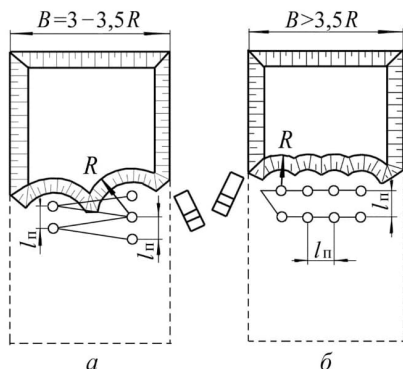


Рис. 3.7. Розробка котлованів одноківшевыми екскаваторами зі зворотною лопатою або драглайном: *a* – зигзагоподібним переміщенням екскаватора; *б* – поперечно-торцевою проходкою

де R – максимальний радіус копання, м; l_{Π} – довжина робочого пересування екскаватора, м; h – глибина котловану, м; θ – кут укосу котловану, град.

Довжина робочого пересування екскаватора дорівнює

$$l_{\Pi} \leq R_{\max} - R_{\min},$$

де R_{\max} і R_{\min} – відповідно найбільший і найменший радіуси копання на рівні дна виїмки, що залежать від глибини, м.

Для підвищення точності розрахунків рекомендується враховувати марку та тип екскаватора, реальні габаритні характеристики робочого обладнання, вплив кута повороту платформи, технологічні обмеження, пов'язані з умовами роботи на конкретному об'єкті.

Правильне визначення максимальної ширини проходки дозволяє скоротити кількість перестановок екскаватора, зменшити тривалість робіт і забезпечити рівномірний профіль укосів.

Екскаватори-драглайни застосовуються в умовах, аналогічних до тих, у яких працюють екскаватори зі зворотною лопатою. Їх основними перевагами є значний радіус та глибина копання, що дозволяє ефективно виконувати роботи без частого переміщення машини. Драглайни особливо результативні під час розробки м'яких і щільних ґрунтів, а також ґрунтів зі зниженою несучою здатністю, де використання іншої техніки ускладнене або економічно недоцільне.

Для розробки котлованів драглайнами застосовують поперечно-човникову та поздовжньо-човникову схеми роботи (див. рис. 2.35). Використання схем дозволяє підвищити продуктивність екскаватора у 1,5–2 рази, що особливо важливо при влаштуванні широких котлованів. Якщо ґрунт необхідно укладати у відвал, доцільним є застосування човниково-кільцевої схеми роботи (див. рис. 2.36).

Бульдозери для розробки котлованів використовують переважно за траншейною технологією з переміщенням ґрунту за човниковою схемою. При цьому ґрунт переміщується вздовж осі котловану, починаючи з його середини, в обидва напрямки (рис. 3.8). Роботи виконуються поетапно: спочатку знімається перша захватка на глибину

0,80–1,0 м, потім друга – на ту ж глибину і т.д. Між суміжними траншеями залишаються перемички шириною 0,50–1,20 м, які зрізуються після розробки кількох траншей.

Планування дна і зрізування укосів виконують після завершення основних робіт екскаваторами. Якщо дно котловану служить основою під фундаменти, то ґрунт недобирають на 0,10–0,30 м (залежно від типу і місткості ковша). Остаточне зачищення дна виконує бульдозер, переміщуючи ґрунт до екскаватора (рис. 3.9) або самостійно – при невеликих обсягах робіт та відстанях переміщення.

Зрізування та планування укосів найефективніше виконують гідравлічними екскаваторами-планувальниками з телескопічним робочим органом (рис. 3.10).

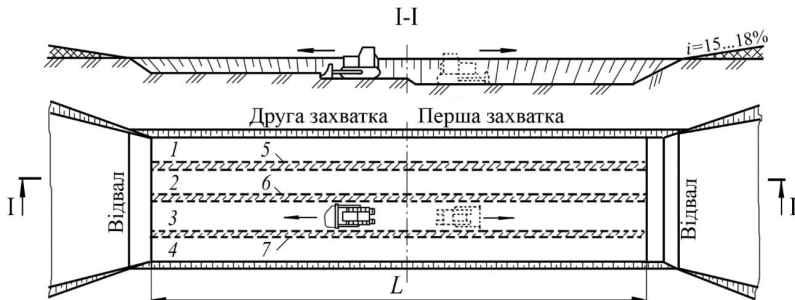


Рис. 3.8. Розробка котлованів бульдозером траншейним способом за човниковою схемою: 1–7 – послідовність руху бульдозера

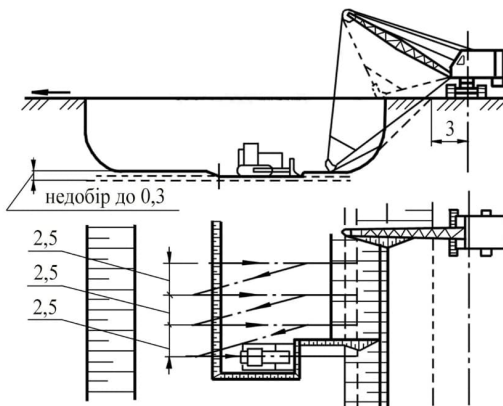


Рис. 3.9. Зачистка дна котловану від недоборів ґрунту

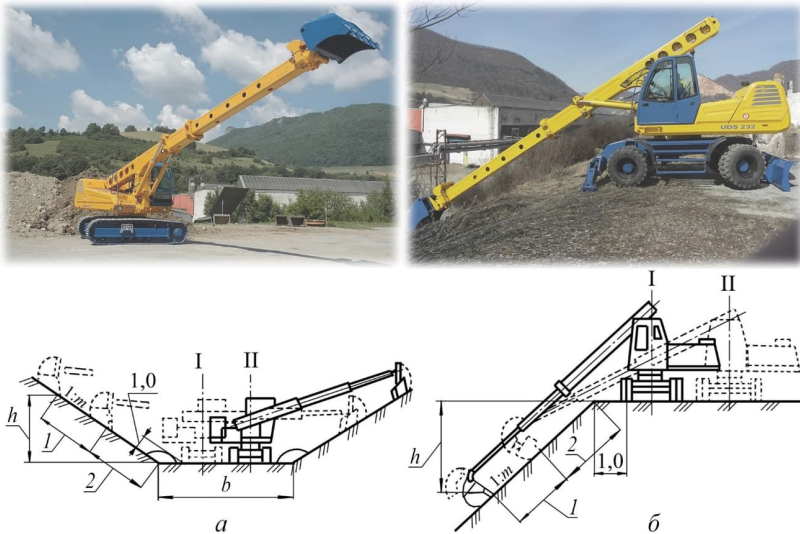
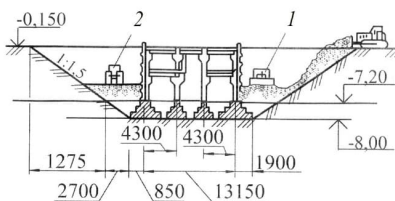


Рис. 3.10. Зрізування і планування укосів екскаваторами-планувальниками: *а* – з нижньої стоянки; *б* – з верхньої стоянки; I – положення осі екскаватора в можливу наблизненні до укосу (*1, 2* – зони планування); II – те ж саме в можливу віддаленні від укосу

Пазухи між стінками підвалу та укосами котловану засипають після влаштування перекриття над підвалом і виконання гідроізоляції стін. Як засипний матеріал зазвичай використовують залишки ґрунту після риття котловану, який переміщують бульдозерами. Засипання здійснюють шарами товщиною 0,20–0,30 м з наступним ущільненням пневматичними або електричними трамбівками, підвісними плитами.

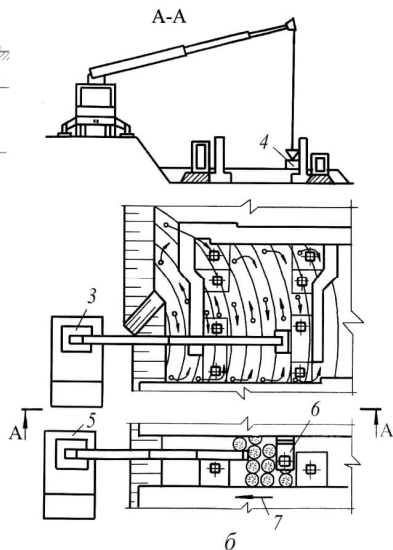
У випадку глибоких підвальних частин промислових споруд засипання виконується з двох боків. Спочатку ґрунт подають і розрівнюють бульдозером з одного боку (рис. 3.11, *а*), потім, під час ущільнення цього шару, проводять засипання з протилежного боку.

При складній конфігурації підземних конструкцій зворотне засипання виконують після зведення підземної частини споруди. Часто для цього застосовують екскаватори з грейферним обладнанням у поєднанні з малогабаритними бульдозерами (рис. 3.11, *б*). Ущільнення ґрунту проводять віброплитами або підвісними плитами, діючі концентрованими смугами в межах ділянки підземних конструкцій.



a

Рис. 3.11. Зворотнє засипання і ущільнення ґрунту в котлованах: *a* – засипання пазух котловану; *б* – ущільнення ґрунту підвісною плитою при складних в плані фундаментах; 1 – бульдозер; 2 – ґрунтоущільнювальна машина; 3 – кран; 4 – підвісна плита; 5 – екскаватор, обладнаний грейфером; 6 – малогабаритний бульдозер; 7 – напрямок відсипання



б

Траншеї – це тимчасові виїмки, призначені для укладання труб, інших інженерних мереж або для зведення стрічкових фундаментів.

За формою поперечного перерізу траншеї бувають з вертикальними стінками (з кріпленням або без), з укосами та змішаного профілю.

Траншеї з вертикальними стінками без кріплення влаштовують у ґрунтах природної вологості зі збереженою структурою, за відсутності ґрунтових вод та при невеликій глибині – 1–2 м (іноді до 3 м при використанні траншейних екскаваторів). Щоб запобігти обсипанню стінок, рекомендується одразу після відривання виконувати укладання труб або монтаж фундаментів. Для глибоких траншей (10 м і більше) стійкість вертикальних стінок забезпечують методом «стіна в ґрунті».

Траншеї з укосами розробляють за аналогічною технологією, як і котловани, тоді як траншеї змішаного профілю влаштовують за наявності ґрунтових вод і значної глибини розробки.

Технологічний процес будівництва траншеї передбачає виконання таких основних операцій: розробка ґрунту з вивантаженням у відвал чи транспортні засоби, улаштування кріплення стінок (за необхідності), планування дна, зворотнє засипання та ущільнення ґрунту.

Планування дна під трубопроводи зазвичай не виконують. Необхідний профіль забезпечується попереднім плануванням траси перед початком риття.

Екскараторами зі зворотною лопатою або драглайнами траншеї розробляють лобовими та боковими проходками. Найпоширеніший спосіб – лобова проходка, коли екскаватор розташований по осі траншеї, а ґрунт укладають з одного боку при кутах повороту стріли 60–90° (рис. 3.12, *а*). Якщо відвал неможливо розмістити поза призму обвалення, додатково використовують бульдозер (рис. 3.12, *б*) або зміщують стоянку екскаватора у бік відвалу.

Розробка ґрунту з однієї стоянки виконується ярусами глибиною 1,5–2,0 м. У легких сипких ґрунтах розробку можна починати з осі траншеї. У горизонтальній площині зв'язні ґрунти розроблюють спочатку з одного боку, потім – з іншого (рис. 3.13).

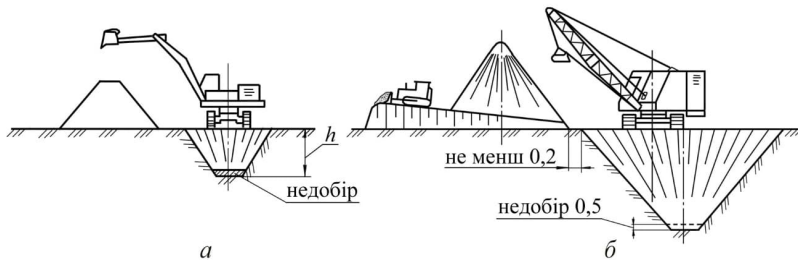


Рис. 3.12. Розробка траншеї екскаваторами зі зворотною лопатою або драглайном: *а* – лобовою проходкою; *б* – боковою проходкою

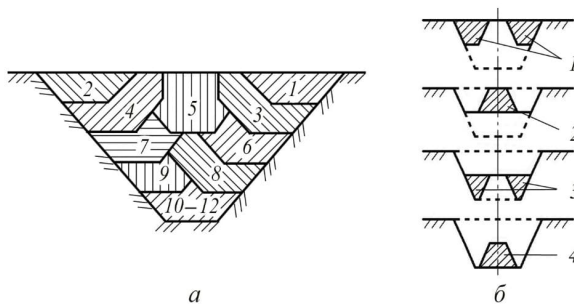


Рис. 3.13. Послідовність розробки екскаваторами зі зворотною лопатою широких (*а*) і вузьких (*б*) траншеї: 1–12 – послідовність копання ґрунту

Зворотне засипання траншей (див. рис. 2.16, б) здійснюють після перевірки правильності прокладання трубопроводів. Спочатку підбивають пазухи та присипають труби на висоту близько 0,20 м, після чого виконують повне засипання траншеї бульдозером.

Ущільнення ґрунту є обов'язковим у межах населених пунктів, на територіях промислових підприємств та в місцях транспортних переїздів. У таких випадках проводиться пошарове ущільнення пневматичними або електричними трамбівками. Поза населеними пунктами ущільнення часто не виконується, а надлишковий ґрунт укладається валиком по осі траншеї.

Вибір способу розробки котловану або траншеї здійснюють з урахуванням глибини виїмки, стійкості ґрунту та наявності необхідних машин і обладнання для виконання земляних робіт (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Способи розробки котлованів і траншей

Вид виїмки	Спосіб розробки	Техніка	Переваги	Обмеження/недоліки
Котлован	Поперечно-човниковий, поздовжньо-човниковий, кільцевий, траншейний	Драглайн, екскаватор зі зворотною лопатою, бульдозер, скрепер	Велика глибина без перестановки, висока продуктивність	Потреба у площі для відвалу, невисока точність dna
Траншея з вертикальними стінками	Лобовий, боковий, з кріпленням або без нього	Екскаватор зі зворотною лопатою, траншейний екскаватор, драглайн	Мінімальний обсяг робіт, зручний монтаж комунікацій	Глибина обмежена стійкістю ґрунту
Траншея з укосами	Розширення у верхній частині, по ярусах	Екскаватор зі зворотною лопатою, бульдозер, грейдер	Стійкість без кріплення	Збільшення обсягів робіт

Вид виїмки	Спосіб розробки	Техніка	Переваги	Обмеження/недоліки
Траншея змішаного профілю	Верх – укоси, низ – вертикальне кріплення	Екскаватор зі зворотною лопатою, драглайн, бульдозер	Робота у складних умовах	Висока вартість, складна організація
Зворотне засипання та ущільнення	Пошарове, концентрованими смугами, з двох сторін	Бульдозер, віброплита, трамбівка	Проектна щільність, зменшення осідань	Потрібне обладнання, обмеження взимку

Кріплення стінок котлованів і траншей класифікують за принципом роботи як несучих конструкцій. Основними типами є підкісні, анкерні, консольні (шпунтові), розпірні та спеціальні (зокрема, торкретовані).

Підкісне кріплення (рис. 3.14, *a*) встановлюють усередині котловану під кутом до стінок. Воно складається з вертикальних елементів (стояків), забірки та похилих підкосів, які передають навантаження на основу котловану. Недоліком такого способу є значне ускладнення виконання наступних будівельно-монтажних робіт через наявність підкосів у робочій зоні. З цієї причини підкісне кріплення застосовують обмежено – переважно в котлованах невеликої глибини та в сухих зв'язних ґрунтах.

Анкерне кріплення (рис. 3.14, *б*) являє собою конструкцію, що включає забірку (дерев'яну або металеву), вертикальні стояки, анкерні тяги та палі, розташовані за межами котловану. Відстань розташування анкерів визначають за формулою:

$$B = h \cdot \operatorname{ctg} \varphi,$$

де h – глибина котловану, м; φ – кут природного укосу, град.

Такий тип кріплення ефективний у випадках, коли робочий простір котловану необхідно залишити вільним від підкосів і розпірок, а також при значних глибинах розробки.

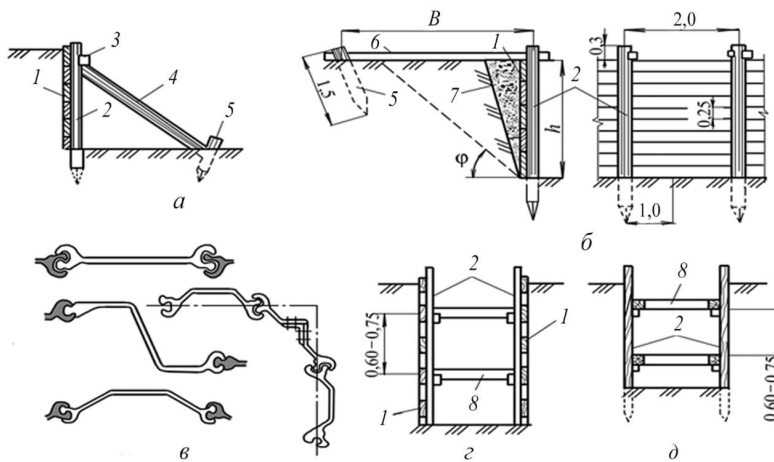


Рис. 3.14. Кріплення стінок котлованів і траншей:
а – підкісне; *б* – анкерне; *в* – шпунтове; *г* – розпірне горизонтальне з прорізами; *д* – розпірне вертикальне суцільне; 1 – забірка з дошок; 2 – стояк; 3 – бобишка; 4 – підкіс; 5 – паля; 6 – анкерна тяга; 7 – засипка; 8 – розпірка

Консольне або шпунтове кріплення виконується у вигляді шпунтової стінки, яка жорстко затиснута в ґрунті. Матеріалом шпунта найчастіше є сталь; дерев'яний шпунт застосовується рідше – зазвичай у тимчасових спорудах та при невеликих навантаженнях. Шпунтове кріплення доцільне для огородження неглибоких котлованів і траншей у водонасичених ґрунтах, особливо коли неможливе або економічно недоцільне штучне зниження рівня ґрунтових вод.

Металевий шпунт (рис. 3.14, *в*) вирізняється високою несучою здатністю, універсальністю та багаторазовістю використання навіть у складних ґрунтових умовах і при значній глибині розробки.

Розпірні конструкції сприймають основне навантаження через горизонтальні або вертикальні розпірки, а щити кріплення та шпунтові стінки виконують переважно огорожувальну функцію.

За конструктивною схемою розрізняють:

- горизонтальні розпірні кріплення з прорізами (рис. 3.14, *г*);
- вертикальні розпірні кріплення (рис. 3.14, *д*).

У більшості випадків такі конструкції виконують з деревини; огорожувальними елементами служать інвентарні щити. Якщо

глибина котловану або траншеї перевищує 2,5 м, замість щитів установлюють дерев'яну шпунтову стінку, яку заглиблюють у ґрунт на 0,50–0,70 м для підвищення стійкості. Недоліком розпірних систем, як і підкісних, є ускладнення проведення подальших робіт.

Сучасною технологією зміцнення стінок котлованів є торкретування, яке виконують за допомогою цемент-гармати. Бетонна суміш наноситься під високим тиском: перший шар проникає у верхні шари м'якого ґрунту, а наступні шари – у ще не затужавілий бетон попереднього шару.

Для підвищення міцності конструкції іноді між шарами або безпосередньо по ґрунту укладають арматурну сітку. У результаті утворюється монолітне захисне покриття товщиною близько 75 мм, яке ефективно запобігає осипанню та розмиванню стінок.

Торкретування траншей також можливе, але на практиці застосовується рідко та має певні обмеження. У більшості випадків метод торкретування використовують для укріплення вертикальних або крутих стінок котлованів, підземних камер, тунелів або вертикальних шахт. Для траншей цей метод доцільний лише за умов:

- ґрунт нестійкий і схильний до осипання або розмивання;
- глибина траншеї достатня, щоб обґрунтувати економічність методу (зазвичай від 2–2,5 м і більше);
- необхідно швидко закріпити стінки без встановлення громіздких підкосів або розпірок;
- наявний доступ цемент-гармати, компресора вздовж траншеї;
- виконуються роботи в умовах щільної міської забудови або обмеженого простору, де класичні кріплення важко застосувати.

У будівництві транспортних споруд торкретування траншей доцільне, наприклад, при влаштуванні кабельних або трубопровідних комунікацій у глибоких вузьких траншеях, коли стінки потрібно закріпити швидко та без масивних дерев'яних конструкцій.

Горизонтальне кріплення з прорізами (див. рис. 3.14, з) допускається при глибині траншеї до 3 м у зв'язних ґрунтах і за відсутності або мінімальної кількості ґрунтових вод. Водночас при глибині від 3 до 5 м, за тих же умов, застосовують суцільне кріплення.

У сипких або зволжених ґрунтах, незалежно від глибини, обов'язкове використання суцільного горизонтального або вертикального кріплення (див. рис. 3.14, д). При значному притоку ґрунтових вод і загрозі виносу частинок ґрунту доцільно застосовувати шпунтові кріплення з дощок, металевого шпунта або брусів (див. рис. 3.14, е).

Технологія та організаційні схеми робіт при розробці каналів аналогічні до тих, що застосовуються для котлованів і траншей.

Так, одноківшеві екскаватори використовують із навісним обладнанням типу зворотної лопати або драглайна. Бульдозери застосовують поздовжньо-поперечним або поперечним способом: перший варіант – при ширині каналу по дну більшій за довжину відвалу бульдозера, а другий варіант – при ширині каналу по верху понад 10–15 м та пологих укосах не крутіше 1:3. Скрепери з місткістю ковша до 10 м³ використовують для каналів завширшки по дну не менше 3 м, а з місткістю понад 10 м³ – не менше 4,3 м.

3.3. Насипи із зв'язних ґрунтів

Насипи – це штучно створені елементи земляного полотна, основні площадки яких розташовані вище природної поверхні землі. Вони широко застосовуються у транспортному будівництві для влаштування земляного полотна автомобільних доріг та залізниць, зведення земляних гребель і дамб, підготовки площадок під промислові та інші об'єкти.

Для насипів зазвичай використовують зв'язні ґрунти, що забезпечують достатню міцність і стійкість споруди. При спорудженні невеликих насипів ґрунт відсипають із виїмок-кюветів або резервів, розташованих уздовж траси. Якщо ж обсяг насипу значний, ґрунт транспортують з великих виїмок або ґрунтових кар'єрів.

Земляне полотно виконує функцію основи для верхньої будови автомобільних доріг і залізниць, тому його конструкція повинна забезпечувати необхідну міцність та стійкість. Ці властивості досягаються шляхом дотримання нормативних параметрів укосів, що залежать від висоти насипу, типу ґрунту, рівня ґрунтових вод, а також способу укладання та ущільнення ґрунту.

Технологічний процес зведення земляного полотна поділяється на підготовчі та основні роботи. До підготовчих належать: очищення будівельного майданчика від рослинного шару, кущів, дерев, пнів, валунів та інших перешкод. Основні роботи включають: розробку ґрунту, транспортування, розрівнювання та ущільнення ґрунту, а також остаточне профілювання поверхні насипу та укосів.

Вибір способу виконання робіт визначається низкою факторів, таких як обсяги насипу, терміни будівництва, фізико-механічні властивості ґрунтів, дальність їх транспортування, висота насипу, рельєф місцевості, гідрогеологічні та кліматичні умови.

Найбільш поширеними базовими машинами для зведення насипів є скрепери, бульдозери та екскаватори. За певних умов також застосовують автогрейдери, екскаватори-планувальники та засоби гідромеханізації.

Скрепери доцільно використовувати при переміщенні ґрунту на відстань понад 100 м. У залежності від умов роботи та взаємного розташування забою і місця відсипання застосовують різні технологічні схеми:

- «за еліпсом» (див. рис. 2.23, *а*) для насипів заввишки до 2 м при фронті робіт 50–100 м;
- «за вісілкою» (див. рис. 2.23, *б*) для насипів висотою 4–6 м потребує більшого фронту, проте забезпечує високу продуктивність;
- «за зигзагом» (див. рис. 2.23, *в*) ефективна для насипів 2,5–6 м заввишки при довжині захватки понад 200 м, що підвищує продуктивність на 15% у порівнянні з еліптичною схемою;
- «за спіраллю» (див. рис. 2.23, *г*) для насипів до 2,5 м з двобічних резервів або при влаштуванні кавальєрів;
- поперечно-човникова схема (див. рис. 2.23, *д*) підвищує продуктивність на 20–25% і застосовується для насипів та дамб з набором ґрунту перпендикулярно до осі виїмки;
- поздовжньо-човникова схема (див. рис. 2.23, *е*) для насипів 4–6 м заввишки з мінімізацією холостих пробігів.

Бульдозери використовують для насипів висотою до 2 м з однібічних або двобічних резервів (див. рис. 2.15, *а*; рис. 3.15, *а*).

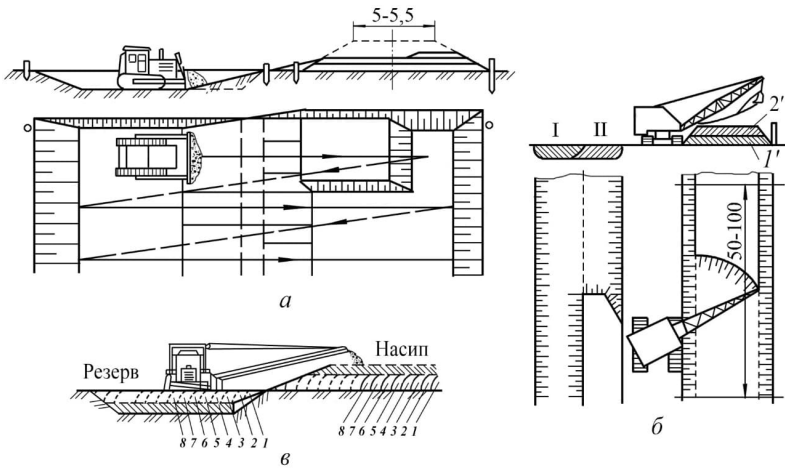


Рис. 3.15. Зведення насипів: *а* – бульдозером з однієї сторони резерву; *б* – екскаватором-драглайном з однієї сторони резерву (I, II – проходи екскаватора; 1', 2' – шари відсіпання насипу); *в* – грейдером-елеватором (1–8 – послідовність операцій з виїмки та укладання ґрунту)

Екскаватори з прямою лопатою ефективні при глибині виїмки, що не менша за висоту забою, драглайни застосовують для відсіпання насипів із бокових резервів (рис. 3.15, *б*). При цьому нижні шари насипу відсіпають з віддалених ділянок резерву, верхні – з ближчих. Розробка резерву здійснюється смугами на повну глибину.

Екскаватори-планувальники виконують планування укосів як з нижньої, так і з верхньої стоянок (див. рис. 3.10). Висота насипу за їх застосуванням зазвичай становить 1,1–4 м при закладанні укосів від 1,1:1,25 до 1:3.

Грейдери-елеватори переважно працюють у рівнинній місцевості для насипів 2–2,5 м заввишки з двобічних резервів (рис. 3.15, *в*). Фронт робіт становить 1,2–3 км, довжина захватки – не менше 400 м. Роботи ведуться на двох суміжних захватках: на одній шар ґрунту відсіпають, на іншій – вирівнюють і ущільнюють. Розробка можлива у ґрунтах I–III груп, а також IV групи після розпушення. Для забезпечення ефективності процесу ґрунт попередньо зволожують до оптимальної вологості з використанням поливальних машин. Товщина відсіпаних шарів визначається типом ущільнювального обладнання.

Земляні греблі та дамби споруджують з однорідних зв'язних ґрунтів. Послідовність підготовчих і основних робіт аналогічна до технології зведення земляного полотна, проте особлива увага приділяється ретельному ущільненню та контролю вологості ґрунту, щоб забезпечити водонепроникність і стійкість споруди.

3.4. Методи ущільнення ґрунтів

Ущільнення ґрунту є завершальною та надзвичайно відповідальною операцією у комплексі земляних робіт. Воно виконується під час планування будівельних і промислових майданчиків, зведення насипів, зворотного засипання траншей і пауз фундаментів, а також при підготовці основи під дорожнє покриття.

Мета ущільнення полягає у збільшенні щільності ґрунту до проектних значень, що забезпечує необхідну несучу здатність та стабільність земляних споруд протягом усього періоду експлуатації.

Процес ущільнення здійснюють пошарово: відсипаний ґрунт розрівнюють до рівномірної товщини за допомогою бульдозерів або автогрейдерів. Вибір товщини шару залежить від конструктивних можливостей і потужності застосовуваних ущільнювальних машин. Надмірна товщина шару знижує ефективність процесу, оскільки механічний вплив не проникає на необхідну глибину.

Досягнення необхідної щільності економічно доцільне лише за оптимальної вологості ґрунту. Сухі ґрунти перед ущільненням зволожують, а перезволожені – осушують природним способом або із застосуванням спеціальних технологій (дренування, перемішування з сухими матеріалами тощо).

Роботи виконують на захватках (картах) – ділянках, розмір яких повинен забезпечувати достатній фронт робіт та запобігати висиханню підготовленого ґрунту до моменту ущільнення.

Ущільнення здійснюють трьома основними способами:

- укочуванням (статичним або динамічним діями котків);
- трамбуванням (ударним способом);
- вібруванням (передачею коливань ґрунтовому масиву).

Кулачкові котки (рис. 3.16, *a*) застосовують для ущільнення

зв'язних та грудкуватих ґрунтів. Робочі елементи (кулачки) створюють високий тиск, що перевищує межу міцності ґрунту, сприяючи його руйнуванню та ущільненню. Легкі котки масою до 5 т ущільнюють шари товщиною 0,10–0,20 м при 8–18 проходках. Важкі котки масою 25–30 т – шари товщиною 0,50–0,65 м при 4–10 проходках.

Пневмоколісні котки (рис. 3.16, б) ефективні при ущільненні піщаних і глинистих ґрунтів. Середні котки (до 10 т) ущільнюють шари товщиною 0,10–0,25 м при 2–10 проходках. Великі котки (до 45 т) – шари товщиною 0,25–0,50 м при аналогічній кількості проходок.

Роботу кулачкових і пневмоколісних котків виконують замкненими проходками з перекриттям попередньої смуги на 0,15–0,25 м до досягнення проектної щільності.

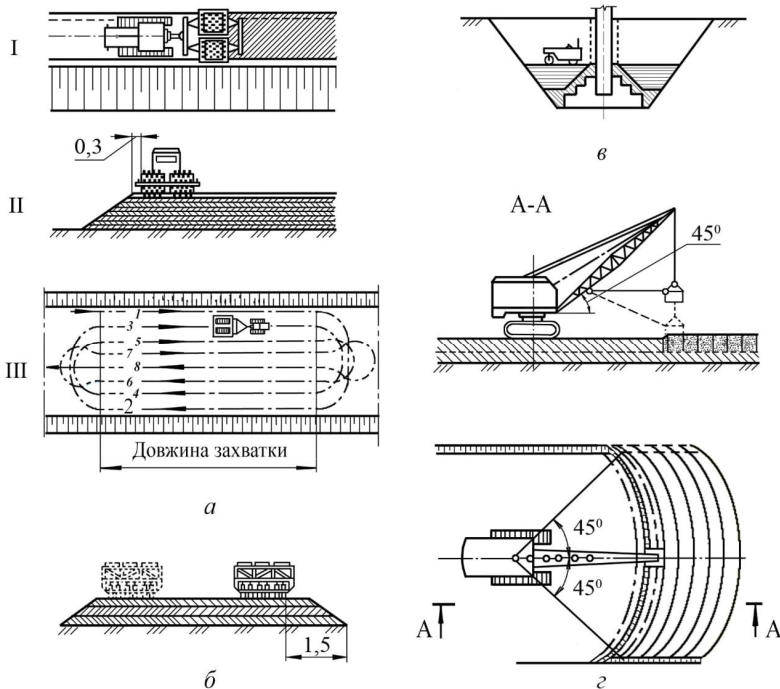


Рис. 3.16. Технологічні схеми ущільнення ґрунтів:
а – кулачковими котками (I – план, II – розріз, III – схема руху машин, 1–8 – проходки котка); *б* – пневмоколісним котком; *в* – котком із гладким вальцем; *г* – трамбувальною плитою

Котки з гладкими металевими вальцями (рис. 3.16, в) застосовують для ущільнення зв'язних ґрунтів шаром до 0,15 м або піщано-гравелистих сумішей товщиною 0,05–0,15 м. Використовуються також у роботах, де верхній шар насипу є основою фундаментів, під'їзних шляхів або верхньою частиною пазух у стиснених умовах. Для нижніх шарів пазух навколо фундаментів завтовшки 0,15–0,20 м застосовують пневматичні чи електричні трамбівки.

Трамбувальні плити масою 2–7 т, підвішені до стріли крана чи екскаватора (рис. 3.16, з), використовують для ущільнення піщаних і глинистих ґрунтів товщиною 0,40–1,00 м при 1–5 ударах по одному місцю. Недоліком є підвищене зношування базової машини.

Вібраційні котки призначені для ущільнення піщаних ґрунтів: при збурювальній силі 50–100 кН – шари 0,40–0,50 м, при 180–280 кН – шари до 1,50 м. Кількість проходок по одному сліду – 2–6. Рух виконують за коловою або човниковою схемою.

Для підвищення ефективності ущільнення також застосовують комбіновані технології, наприклад первинне ущільнення кулачковими котками для руйнування грудок і зменшення пористості, а в якості завершального етапу – пневмоколісними котками для досягнення проектною щільності та вирівнювання поверхні.

Після детального огляду конструктивних особливостей та сфер застосування ущільнювальних машин доцільно узагальнити наведені відомості у зведеному форматі (табл. 3.2).

При виборі ущільнювальної машини перш за все враховують тип і структуру ґрунту, його вологість, товщину відсипаного шару та необхідний ступінь ущільнення. Важливо підбирати обладнання, технічні характеристики якого відповідають конкретним умовам роботи, щоб забезпечити якісне ущільнення без перевантаження машин і з оптимальним використанням енергії.

Для локальних робіт або в умовах обмеженого простору доцільно застосовувати компактні ущільнювачі – трамбувальні плити та ручні трамбівки. При великих обсягах земляних робіт перевагу надають коткам різних типів, які ефективно ущільнюють ґрунт на заданій товщині шару.

Таблиця 3.2

Технологічні особливості ущільнювальних машин

Тип машини	Вид ґрунту	Маса машини, т	Товщина шару, м	Прохідки	Особливості застосування
Кулачковий коток (легкий)	Зв'язні, грудкуваті	до 5	0,10–0,20	8–18	Руйнує грудки, для сухих і помірно вологих ґрунтів
Кулачковий коток (важкий)	Зв'язні, грудкуваті	25–30	0,50–0,65	4–10	Первинне ущільнення великих обсягів
Пневмо-колісний (середній)	Піщані, глинисті	до 10	0,10–0,25	2–10	Рівномірний тиск, ущільнення сумішей
Пневмо-колісний (важкий)	Піщані, глинисті	до 45	0,25–0,50	2–10	Остаточне ущільнення, рівність поверхні
Гладко-вальцевий коток	Зв'язні, піщано-гравелісті	5–15	0,05–0,15	4–8	Верхні шари насипу, основи, під'їзні шляхи
Трамбувальна плита	Піщані, глинисті	2–7	0,40–1,00	1–5 ударів	Важкодоступні місця, підвіс на кран/екскаватор
Віброкоток (середній)	Піщані	3–12	0,40–0,50	2–6	Збурювальна сила 50–100 кН
Віброкоток (потужний)	Піщані	до 20	до 1,50	2–6	Збурювальна сила 180–280 кН
Пневматичні електричні трамбівки	Зв'язні	0,05–0,15*	0,15–0,20	4–12 ударів	Пазухи фундаментів (*маса робочого органа, т)

Дотримання оптимальної товщини шару та рекомендованої кількості проходок відповідно до технічних вимог і проектних завдань забезпечує максимальну ефективність ущільнення, стабільність ґрунтового масиву і довговічність земляних споруд.

Запитання для самоконтролю

1. Які основні технологічні операції включає процес вертикального планування площадок?
2. Які особливості технології розробки виїмок залежать від їх глибини та геометрії?
3. Які схеми розробки ґрунту одноківшевыми екскаваторами з прямою лопатою є найбільш ефективними для широких виїмок?
4. Як форма і розміри виїмки впливають на вибір способу розробки ґрунту?
5. За якими критеріями здійснюється підбір комплексу машин для будівництва глибоких котлованів?
6. Які технологічні особливості визначають послідовність розробки котлованів бульдозерами?
7. В яких випадках доцільно споруджувати траншеї з вертикальними стінками і як забезпечується їх стійкість?
8. У чому полягає суть методу торкретування для кріплення стінок котлованів?
9. Які основні етапи включає процес зведення насипів із зв'язних ґрунтів?
10. Які типи машин найчастіше використовують як провідні при будівництві насипів і чому?
11. Як вологісний режим ґрунту впливає на вибір технології ущільнення насипу?
12. Які методи ущільнення ґрунту застосовуються залежно від типу і властивостей ґрунту?
13. За якими критеріями визначають розміри захваток роботи ущільнювальних машин?
14. В чому полягає суть комбінованого методу ущільнення ґрунтів?
15. Які типи котків є найбільш ефективними для ущільнення піщаних ґрунтів і чому?
16. Які методи контролю якості ущільнення ґрунтів застосовуються під час будівництва земляних споруд?

Розділ 4

Земляні роботи в особливих умовах

4.1. Земляні роботи при реконструкції об'єктів

Виконання земляних робіт у процесі реконструкції промислових об'єктів та підприємств характеризується низкою особливостей, обумовлених специфікою технологічних процесів, умовами діючого виробництва та організаційними обмеженнями:

- стиснені умови виконання робіт як у межах цехів з діючим виробництвом, так і на території підприємства, де розташовані будівлі, споруди та комунікації;

- обмежені терміни виконання робіт;
- необхідність розробки котлованів поблизу існуючих фундаментів на глибину, що може перевищувати позначку їх закладання, а також у насипних ґрунтах, які містять тверді включення (цеглу, залізобетон, цементований шлак тощо);

- попереднє розбирання покриттів (доріг, площадок, підлог) у багатьох випадках перед початком земляних робіт;

- забезпечення високого ступеня ущільнення ґрунту під час зворотного засипання – для подальшого улаштування покриттів підлог, доріг, площадок;

- велика кількість технологічних обмежень, зокрема заборона використання машин з двигунами внутрішнього згоряння всередині цехів, машин динамічної дії поблизу підземних комунікацій, обмеження щодо штучного водозниження тощо;

- відсутність площ для тимчасового складування ґрунту, розробленого в котлованах і траншеях;

- значний обсяг ручної праці при виконанні робіт у важкодоступних місцях.

Найбільш характерною рисою земляних робіт у період реконструкції промислових об'єктів є суттєва стисненість робочого простору, яка проявляється як під час внутрішньоцехових робіт у межах діючого виробництва, так і при виконанні робіт на відкритих територіях із обмеженим доступом (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Виконання земляних робіт в умовах обмеженого простору

В умовах реконструкції об'єктів виїмки зазвичай виконуються з вертикальними стінками, іноді – з укосами в один або два боки. Тип кріплення стінок обирають залежно від глибини виїмки, наявності підземних комунікацій та доступного простору.

Консольне кріплення (рис. 4.2, *а*) застосовується тоді, коли зовнішні обмеження не дозволяють використати анкерні системи, і потрібне вільне місце всередині виїмки. Виконується з дерев'яного шпунта при глибині виїмки до 3 м, з металевого шпунта – до 6 м та з буронабивних паль та монолітних або збірних залізобетонних конструкцій, зокрема методом «стіна в ґрунті» – для більших глибин та складних умов.

Анкерне кріплення доцільне за наявності поблизу підземних комунікацій. Якщо простір дозволяє, анкери заглиблюють на 2 м і більше у попередньо відриті Т-подібні траншеї (рис. 4.2, *б*). Використовують як поверхневе розташування анкерів (рис. 4.2, *в*), так і заглиблення (рис. 4.2, *г*) шляхом буріння свердловин з боку котловану.

Методи хімічного та термічного закріплення ґрунтів (рис. 4.2, *е*) застосовують у випадках, коли традиційні способи кріплення неможливі або недоцільні.

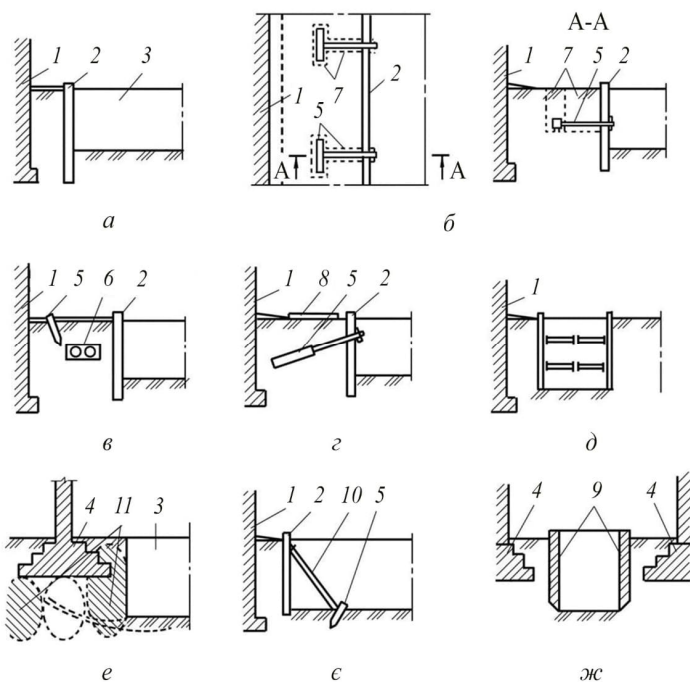


Рис. 4.2. Кріплення стінок виїмок у стиснених умовах:

a – консольне; *б* – анкерне з анкером у Т-подібній траншеї; *в* – анкерне з анкером на поверхні ґрунту; *г* – анкерне з анкером у свердловині; *д* – розпірне; *е* – закріплення ґрунту; *е* – підкісне; *ж* – опускний колодезь; 1 – існуюча конструкція; 2 – огорожувальна конструкція; 3 – котлован; 4 – фундамент; 5 – анкер; 6 – існуюча комунікація; 7 – траншея для улаштування анкера; 8 – дорожнє покриття; 9 – опускний колодезь; 10 – підкіс; 11 – масив закріпленого ґрунту

Опускні колодезі (рис. 4.2, *ж*) використовують для розробки невеликих, але глибоких котлованів у край стиснених умовах – наприклад, поблизу фундаментів діючого обладнання.

Торкретування (див. розділ 3) застосовують для закріплення стінок малих котлованів, наносячи під тиском цементно-піщаний розчин, що зміцнює ґрунт і запобігає його обваленню.

Найпоширенішими машинами для розробки котлованів і траншей при реконструкції промислових об'єктів є екскаватори, бульдозери та навантажувачі, які виконують основні технологічні операції з виїмки,

переміщення та завантаження ґрунту в транспортні засоби. Вибір конкретного типу машини визначається глибиною виїмки, умовами стисненого простору, категорією ґрунтів, наявністю підземних комунікацій та вимогами до точності формування контурів виїмки.

Екскаратори зі зворотною лопатою працюють лобовими (рис. 4.3, *а*) або боковими проходками (рис. 4.3, *б*). За близького розташування конструкцій поворот на розвантаження здійснюють з мінімальним радіусом, що дещо збільшує тривалість робочого циклу. Спеціальне змінне обладнання зі зміщеною віссю копання (приміром, ЕО-2621А, ЕО-5015А) дозволяє працювати впритул до стін будівель і конструкцій, з вивантаженням ґрунту як у відвал, так і в транспортний засіб. Гідравлічні екскаратори ЕО-3322Б та ЕО-4321 використовують для розробки траншей, що перетинають діючі комунікації (рис. 4.4). Переміщення здійснюють по прямій або зигзагом, залежно від траси комунікацій, уздовж траншеї, поперек або під кутом до неї.

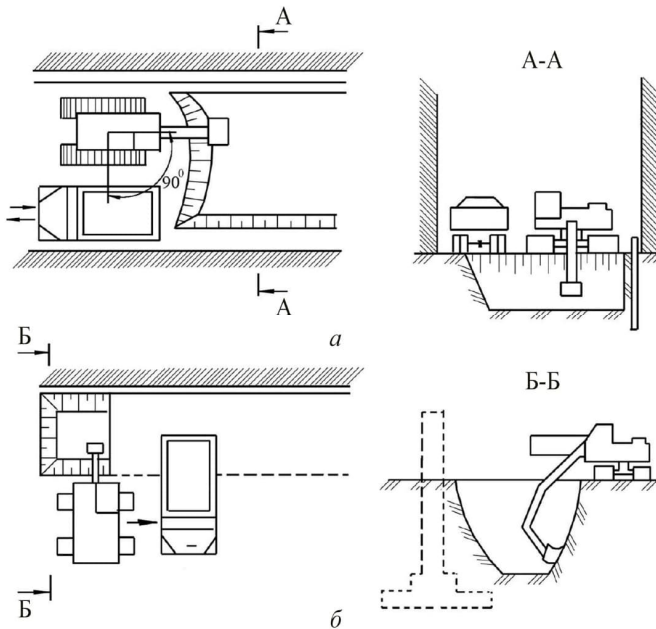


Рис. 4.3. Розробка ґрунту екскаратором зі зворотною лопатою поблизу конструкцій: *а* – лобовою проходкою; *б* – боковою проходкою

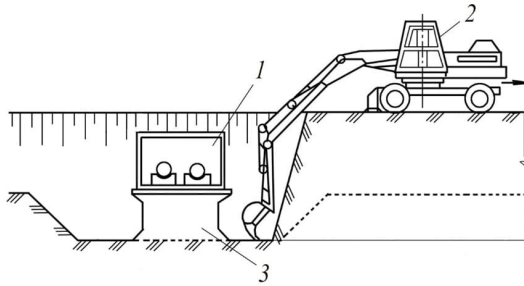


Рис. 4.4. Розробка траншеї біля інженерних комунікацій:
1 – колектор тепломереж; 2 – екскаватор; 3 – ручна розробка ґрунту

У процесі розробки глибоких котлованів часто застосовується ярусне виїмання ґрунту, що дає можливість забезпечити стійкість стінок і безпечні умови роботи. Наприклад, під час риття котловану глибиною близько 12 м використовують екскаватори типу ЕО–4121А. Технологія передбачає виконання робіт у два яруси з поетапним навантаженням ґрунту в автотранспорт (рис. 4.5, а). Якщо в зоні розробки знаходяться фундаменти, колони або технологічне обладнання, розташовані вище проектної позначки дна виїмки, роботи виконують у два етапи: спочатку видаляють ґрунт першого ярусу, далі здійснюють закріплення ґрунту під існуючими конструкціями, після чого проводять розробку ґрунту до проектної відмітки дна котловану (рис. 4.5, б). Такий підхід мінімізує ризик пошкодження споруд і забезпечує стійкість укосів та вертикальних стінок котловану.

У випадках, коли транспортування ґрунту здійснюється у стиснених умовах, зокрема всередині виробничих цехів, застосування автосамоскидів неможливе через обмежені габарити проїздів і робочих зон. Тому в таких ситуаціях доцільно використовувати малогабаритні навантажувачі, моторизовані візки (мотовізки), а також мостові крани, призначені для переміщення контейнерів із ґрунтом. Це дозволяє ефективно організувати вивезення та переміщення ґрунтових мас без суттєвого переривання основних технологічних процесів на об'єкті.

Одним із сучасних та перспективних методів улаштування фундаментів у котлованах, що застосовується як у новому будівництві, так і при реконструкції промислових підприємств, є витрамбовування

котлованів. Суть методу полягає в ущільненні ґрунту багаторазовими ударами масивного штампa, який вільно падає з певної висоти. Для цього використовують спеціальне обладнання у вигляді падаючих вантажів (штампів), що навішуються на базові машини – екскаватори з прямою лопатою, драглайни, трактори або палубні установки.

Маса штампів, залежно від проектних параметрів і категорії ґрунтів, становить від 2 до 16 т, а глибина котлованів, що піддаються витрамбовуванню, може досягати 1,0–2,7 м. Конструкція обладнання, змонтованого на базі драглайна (рис. 4.6), забезпечує підйом штампa на максимальну висоту, що збільшує енергію удару та ефективність ущільнення ґрунтової основи.

Зворотне засипання та ущільнення ґрунту в стиснених умовах значною мірою залежать від технологічної специфіки робіт, зокрема від обмеженості фронту виконання та складної конфігурації геометричних елементів земляної споруди. Такі умови часто ускладнюють, а іноді – унеможливають застосування стандартних машин і механізмів, що традиційно використовуються для зворотного засипання та ущільнення ґрунту.

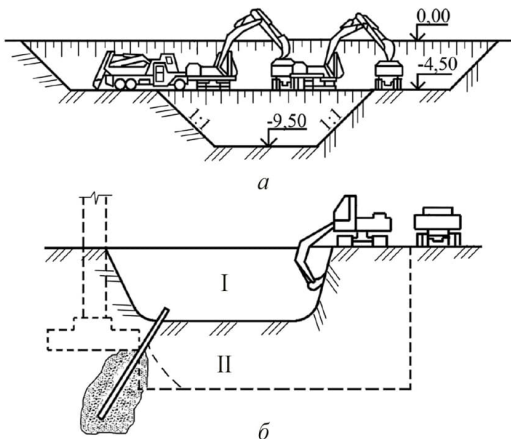


Рис. 4.5. Розробка ґрунту в котловані у два яруси: *а* – за відсутності конструкцій; *б* – за наявності фундаменту

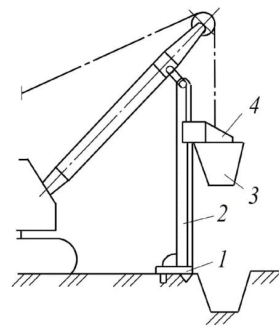


Рис. 4.6. Обладнання для витрамбовування котлованів драглайном: 1 – опорна плита; 2 – напрямна штанга; 3 – штамп; 4 – каретка

Найчастіше роботи з ущільнення в подібних умовах виконуються у вузьких і важкодоступних зонах – у пазухах фундаментів, траншеях трубопроводів і колекторів, навколо оглядових колодязів, а також в основах під підлоги всередині будівель (рис. 4.7). Обмежені габарити робочого простору зумовлюють використання малогабаритних або спеціалізованих ущільнювальних механізмів, здатних ефективно працювати поблизу вже змонтованих конструкцій.

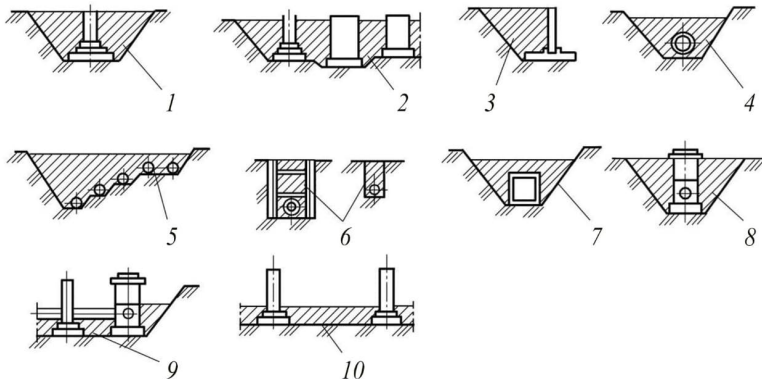


Рис. 4.7. Схеми стиснених місць при зворотному засипанні та ущільненні ґрунтів: 1 – пазухи між стінками котловану і фундаментами під колони; 2 – пазухи між стінками фундаментів під технологічне обладнання; 3 – пазухи між стінками котлованів і підпірними стінками; 4 – пазухи між стінками траншей і трубопроводами; 5 – пазухи між трубами і стінками траншей (з кріпленнями і без них); 6 – пазухи між стінками траншей; 7 – пазухи між стінками траншей і колекторами; 8 – пазухи між стінками траншей і оглядовими колодязями; 9 – пазухи під трубопроводами; 10 – засипка ґрунту усередині споруд під підлоги

Під час виконання зворотного засипання дрібні об'єкти, як правило, здаються в експлуатацію після завершення передбачених робіт у повному обсязі. Великі об'єкти (наприклад, виробничі цехи) засипаються частинами – після закінчення робіт з улаштування підземних комунікацій або у межах окремого виділеного ярусу.

Як приклад, на рис. 4.8 показано технологічну схему зворотного засипання і ущільнення траншей з рядом фундаментів через 12 м.

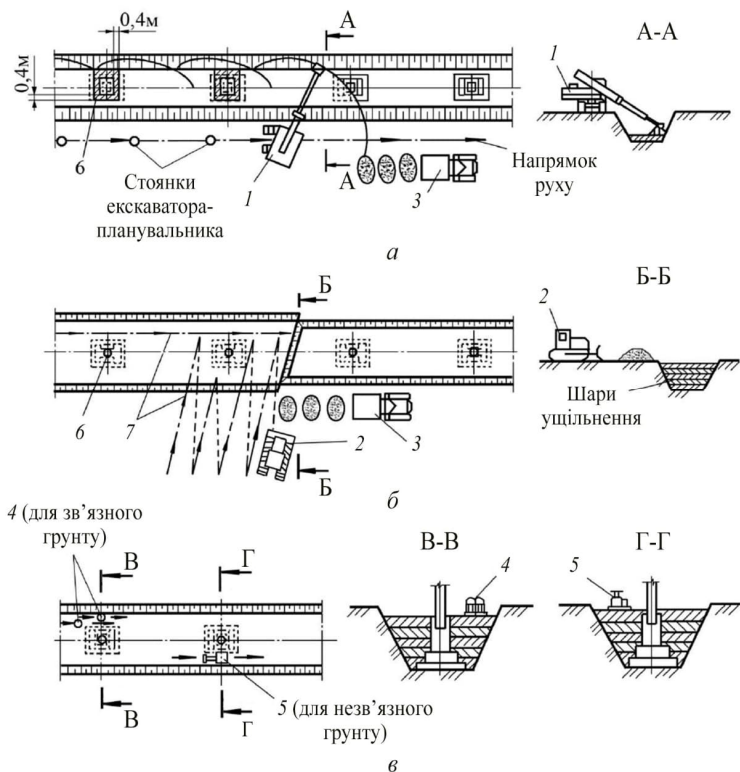


Рис. 4.8. Схема виконання робіт зі зворотного засипання та ущільнення ґрунту траншеї під фундаменти колон: *а* – подача та розрівнювання нижніх шарів ґрунту; *б* – подача та розрівнювання верхніх шарів ґрунту; *в* – послідовність ущільнення ґрунту; 1 – екскаватор-планувальник; 2 – бульдозер; 3 – автосамоскид; 4 – ручна електротрамбівка; 5 – самохідна віброплита; 6 – зона ручного розрівнювання ґрунту; 7 – напрямок руху бульдозера під час подачі та розрівнювання ґрунту

Зворотна засипка здійснюється привізним ґрунтом, що доставляється автосамоскидами. Розподілення та розрівнювання ґрунту, за винятком останнього шару, виконується екскаватором-планувальником, який переміщується по верхній брівці траншеї вздовж лінії фундаментів. Зони завширшки близько 0,40 м, розташовані безпосередньо навколо фундаментів та недоступні для роботи екскаватора, розрівнюються вручну.

Останній шар ґрунту укладається та розрівнюється бульдозером, обладнаним поворотним відвалом, що забезпечує формування заданого профілю поверхні.

Ущільнення ґрунту здійснюється з урахуванням його фізико-механічних властивостей:

- для зв'язних ґрунтів застосовують ручні електротрамбівки;
- для незв'язних ґрунтів – самохідні віброплити, причому на нижніх шарах використовують машини з меншою робочою масою та габаритами, а на верхніх – віброплити більшої потужності та розміру робочої плити.

Процес ущільнення починають з ділянок навколо фундаментів, після чого переходять до зон між ними. Кожен наступний прохід ущільнювальної машини повинен перекривати смугу попереднього проходу на 0,10–0,20 м, що гарантує рівномірне ущільнення шару.

Товщина окремого шару, який ущільнюється, залежить від типу ґрунту та конструктивних характеристик ущільнювальної машини. Вона може змінюватися від 0,20–0,30 м (для більш важких в ущільненні ґрунтів і малопотужних машин) до 0,50–0,60 м (для легкоущільнюваних ґрунтів і потужної техніки).

4.2. Буропідrivна розробка ґрунтів

Буріння у комплексі підrivних робіт виконується з різними виробничими цілями, серед яких: геологічна розвідка шаруватих ґрунтів і покладів кам'яних матеріалів, водопостачання та водозниження при зведенні споруд, розробка міцних ґрунтів і скельних порід для земляних споруд, виконання інших технологічних операцій, пов'язаних з будівництвом та реконструкцією об'єктів (рис. 4.9).

У процесі буріння створюються циліндричні отвори – виробітки. Залежно від розмірів їх поділяють на шпури – діаметр до 75 мм, глибина до 6 м, і свердловини більших розмірів. Виробітки можуть бути вертикальними, похилими або горизонтальними. Початкова частина виробітки називається устям, кінцева – забоем, а бічні поверхні – стінками. Буріння складається з двох основних операцій: руйнування породи на дні та видалення її з виробітку.



Рис. 4.9. Виконання буропідричних робіт у транспортному будівництві

Підривання ґрунтів і скельних порід застосовують під час:

- улаштування траншей, котлованів, земляних дамб, каналів;
- розпушення мерзлих і скельних ґрунтів;
- реконструкції промислових об'єктів;
- дроблення негабаритних кам'яних блоків.

Для цього використовують різні типи зарядів: для переміщення маси ґрунту на певну відстань – заряди викиду, для полегшення механізованої розробки – заряди розпушення, для створення підземних порожнин без викиду матеріалу на поверхню – камуфлети.

Всі зазначені типи відносять до поняття горни.

При буропідричних роботах важливо забезпечити рівномірне дроблення породи, задану форму і розміри розвалу та об'єм підірваної маси для безперервної роботи екскаваторів і навантажувачів. При цьому ефективність зарядів визначають за радіусом і глибиною воронки.

Основними методами підривання в земляних роботах є: шпуровий, свердловинний, котловий, малокамерний, камерний, щілинний, накладний, а також комбіновані способи, які застосовуються залежно від типу ґрунту, обсягу робіт та умов будівництва (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Методи підривання ґрунтів

Метод	Призначення	Основні параметри	Примітки
Шпуровий	Дроблення скельних і напівскельних порід, розпушення мерзлих ґрунтів	Ø 25–75 мм, глибина ≤ 6 м, відстань між шпурами 1–2 довжини	Простий і дешевий, але обмежена глибина
Свердловинний	Масові вибухи на викид, розпушення великих обсягів	Ø ≥ 200 мм, глибина 10–30 м, відстань між свердловинами 2–3 м	Великий об'єм вибуху, потребує потужного бурового обладнання
Котловий	Великі об'єми підірваної маси при обмежених діаметрах отворів	Ø 75–200 мм + камера (котел), глибина до 6 м	Зменшує обсяг буріння, при цьому складність улаштування котла
Мало-камерний (рукави)	Нескельні та мерзлі ґрунти, висота забою ≤ 6 м	Довжина рукава 2/3 висоти забою, відстань 0,8–1,5 м	Працює в мерзлих ґрунтах, обмежений об'єм вибуху
Камерний	Масові вибухи (котловани, канали)	Камери в шурфах або штольнях, відстань між камерами 5–10 м	Великий радіус дії, значні підготовчі роботи
Щілинний	Розпушення мерзлих ґрунтів	Щілини 0,2–0,3 м × 0,9 глибини промерзання, відстань 1–1,5 м	Економія 20–30%, потребує спецтехніки
Накладний	Дроблення окремих каменів, під водою	Параметри залежать від об'єкта	Простий, але малий об'єм вибуху
Комбінований	Складні умови, поєднання задач	Параметри комбінації методів	Гнучкий, однак потребує точних розрахунків

Шпуровий метод використовується на відкритих і підземних розробках. Заряд вибухової речовини заповнює не більше 2/3 довжини шпуру, решта простору забивається піщано-глинистою сумішшю та піском. Підривання рядів шпурів виконують електричним способом або детонуючим шнуром, з ряду, розташованого ближче до забою.

Свердловинні заряди передбачають буріння ряду глибоких свердловин (10–30 м, діаметром від 200 мм і більше) вздовж фронту уступу. Свердловини можуть бути вертикальними або похилими, з заглибленням на 1–2 м нижче підосви забою.

Котлові заряди застосовуються, коли об'єм заряду перевищує місткість стандартного шпуру чи свердловини. На дні виробітку створюють камеру, куди послідовно опускають один або кілька зарядів.

Малокамерні заряди (у рукавах) використовуються у нескельних ґрунтах при висоті забою до 6 м. Довжина рукава становить близько 2/3 висоти забою.

Камерні заряди призначені для масових вибухів великого об'єму. Передбачають створення вертикальних шурфів або горизонтальних штولень з бічними камерами.

Щілинні заряди ефективні для розпушення мерзлих ґрунтів. Щілини нарізають баровими або дискофрезерними машинами. Заряджують лише середню з трьох суміжних щілин, решта виконує компенсаційні функції.

Накладні заряди використовують для дроблення окремих каменів, у тому числі під водою. Для зменшення розльоту уламків заряд вкривають шаром ґрунту.

Комбіновані методи передбачають одночасне застосування кількох способів – наприклад, шпурових і свердловинних зарядів під час проходки траншей у гірській місцевості.

Під час улаштування або розширення виїмок у скельних і напівскельних ґрунтах підривання виконують у межах проектного контуру з урахуванням властивостей гірських порід. У скельних ґрунтах застосовують підривання «на розпушення», що забезпечує подрібнення породи до стану, придатного для подальшого розроблення екскаваторами та іншими землерийними машинами. У напівскельних

грунтах використовують підривання «на струшування», основною метою якого є порушення монолітної структури та полегшення розробки матеріалу без надмірного подрібнення.

Одним із поширених технологічних рішень є метод шпурових зарядів, який застосовують як при одношаровому, так і при багатшаровому (ярусному) підриванні траншей. Вибір кількості шарів (ярусів) та параметрів розташування зарядів залежить від геометричних розмірів виїмки, глибини траншеї та міцності порід.

У виїмках, де ширина по верху приблизно дорівнює глибині, шпури розташовують в один ряд. При відношенні ширини по верху до глибини близько 1,5 заряди розташовують у два ряди.

Якщо ширина по верху значно перевищує глибину, застосовують три і більше рядів шпурів. Для глибоких, але вузьких траншей (коли глибина перевищує ширину) висота вибухового шару, як правило, становить 0,50–0,70 ширини траншеї. Якщо ж траншея має значну ширину, глибину шпурів визначають таким чином, щоб не відбувалося порушення заданого поперечного профілю виїмки.

Для утворення виїмок великого об'єму застосовують метод свердловинних зарядів, що забезпечує ефективне руйнування породи на значну глибину. Проходка повним перерізом використовується при розробці траншей глибиною до 15 м за умови, що крутість укосів не менша ніж 1:1. Проходка з поділом на шари (яруси) застосовується у більш глибоких траншеях та у випадках, коли необхідно влаштовувати укоси з пологішою крутістю (менш ніж 1:1).

У всіх варіантах технологічних схем спільним принципом є розташування крайніх рядів основних свердловин по лініях нижніх брівок траншеї, що забезпечує точність формування проектного контуру і мінімізацію обсягів післявибухового доопрацювання ґрунту.

Розпушення мерзлих та сезонно-мерзлих ґрунтів вибуховим способом є ефективним технологічним прийомом, що застосовується у випадках, коли використання лише механічних засобів є недостатнім або економічно невиправданим. У практиці транспортного будівництва найбільш поширені три основні методи: шпурових зарядів, щільних зарядів та малокамерних зарядів.

Метод шпурових зарядів застосовується переважно для розпушення сезонно-мерзлих ґрунтів за глибини промерзання до 1,5 м. Шпури бурять на глибину, що становить приблизно 0,80–0,90 від фактичної глибини промерзання ґрунту. За розрахункову лінію найменшого опору приймається повна глибина промерзлого шару. Вибір цього методу обумовлюється його відносною простотою та можливістю використання стандартного бурового обладнання.

Метод щілинних зарядів є більш ефективними порівняно зі шпуровими, особливо при розпушенні суцільних масивів мерзлого ґрунту. Основними перевагами цього методу є:

- можливість формування проектного профілю траншей будь-якої ширини без додаткової механічної доробки укосів;
- зниження трудомісткості та підвищення продуктивності робіт;
- можливість повної механізації операцій заряджання щілин вибуховими речовинами та засипання їх забивним матеріалом;
- зменшення собівартості робіт у середньому на 20–30%.

Щілини нарізають на глибину 0,90–0,95 від глибини промерзання ґрунту. Відстань між щілинами визначають з урахуванням допустимих розмірів кусків ґрунту, що утворюються після вибуху, – відповідно до характеристик землерийного обладнання.

Метод малокамерних зарядів застосовують переважно для розширення траншей та виїмок у мерзлих ґрунтах. Камери (так звані рукави) виконують у мерзлих укосах перерізом близько 0,25×0,25 м на всю глибину промерзлого шару. Відстань між зарядами становить, як правило, 1,0–1,5 від глибини промерзання. Для розпушення промерзлих укосів часто використовують похилі свердловини з розсередженими зарядами у поєднанні зі шпуровими, що дає змогу досягти рівномірного дроблення ґрунту по всій товщині шару.

При виконанні підричних робіт у населених пунктах, поблизу споруд, комунікацій чи інших об'єктів, що потребують захисту від впливу вибуху, застосовують спеціальні засоби локалізації. Найпоширенішими є пересувні локалізатори вибуху та захисні укриття, які запобігають розкиданню кусків мерзлого ґрунту та зменшують зону дії вибухової хвилі.

Таким чином, вибір конкретного методу розпушення мерзлого ґрунту залежить від глибини промерзання, обсягів робіт, характеристик ґрунту, наявності обладнання та умов виконання робіт, зокрема вимог щодо безпеки та охорони довкілля.

Для утворення котлованів, траншей та влаштування насипів широко застосовується підривання ґрунтів на викид. Вибухові роботи виконуються залежно від розмірів і конфігурації у плані виїмок: підриваються як одиночні заряди, так і групи великих зосереджених зарядів, розташованих в один або кілька паралельних рядів. Такий підхід дозволяє ефективно керувати обсягом переміщення ґрунту та формою котловану або траншеї.

Для зосереджених зарядів у ґрунті передбачають створення спеціальних колодязів (шурфів) і свердловин. На рівні дна кожного колодязя в його боковій стінці формують камеру, у яку розміщується вибуховий заряд. Після установки капсуля-детонатора заряд ретельно закривається ґрунтом. Засипка шурфу проводиться поетапно: насипний ґрунт засипається шаром завтовшки не менше 0,5 м, після чого здійснюється його ретельне трамбування для забезпечення щільності і безпечного підривання.

Такий технологічний підхід дозволяє контролювати напрямок викиду ґрунту, зменшувати розпилення матеріалу та підвищувати безпеку вибухових робіт. Крім того, правильне розташування зарядів і трамбування насипного ґрунту над ними сприяє більш рівномірному утворенню котловану та зниженню ризику утворення осідань чи обвалів у прилеглий зоні.

4.3. Безтраншейні технології прокладання трубопроводів

Прокладання водопровідних, каналізаційних, газо- та нафтопроводних мереж, а також кабельних електричних ліній та інших комунікацій у місцях перетину з автомобільними дорогами та залізницями, як правило, здійснюють закритим (безтраншейним) способом (рис. 4.10). Такий підхід дає можливість уникнути розкриття дорожнього полотна та значно скоротити терміни виконання робіт, зменшити вплив на транспортний рух і навколишнє середовище.



Рис. 4.10. Технології безтраншейного прокладання інженерних мереж

Сутність безтраншейної технології полягає в утворенні в масиві ґрунту горизонтальної свердловини заданого діаметра, у яку надалі укладають трубопровід або інший вид мережі. На відміну від традиційного способу з розкриттям траншей, ґрунт при цьому або ущільнюється навколо труби, або видаляється з утвореної порожнини спеціальними механізмами.

У сучасній будівельній практиці застосовують такі основні способи безтраншейного прокладання трубопроводів:

- Проколювання – впровадження труби у ґрунтовий масив під дією зовнішнього осьового зусилля без видалення ґрунту. Ґрунт при цьому витісняється та ущільнюється навколо зовнішньої поверхні труби, що сприяє підвищенню її стійкості у ґрунті. Метод ефективний на відстанях до 40–50 м та в маловологих, малосуглинкових ґрунтах.

- Прокладання труб за допомогою піонерної свердловини – виконання свердловини малого діаметра з подальшим поетапним розширенням до необхідного розміру за допомогою розширювачів (бурових або розпірних). Після досягнення проєктного діаметра у свердловину вводиться трубопровід.

- Продавлювання – втискування труб у ґрунт з одночасною

розробкою та видаленням ґрунтової маси з порожнини труби. Для цього застосовують гідравлічні домкрати, що створюють значні осьові зусилля, а видалення ґрунту здійснюють шнековими або пневматичними механізмами.

- Вібропроколювання та вібропродавлювання – впровадження труб у ґрунт під дією поздовжньо-спрямованих вібрацій. Вібраційний вплив зменшує сили тертя між трубою та ґрунтом, полегшуючи просування трубопроводу. Метод ефективний для щільних, але не скельних ґрунтів.

- Горизонтальне буріння – створення свердловини в заданому напрямку за допомогою бурового обладнання з наступним протягуванням або проштовхуванням труби. Цей спосіб забезпечує високу точність проходки і широко застосовується при прокладанні труб великого діаметра та на значні відстані.

Перевагами безтраншейних методів є збереження існуючого дорожнього та інженерного господарства, відсутність потреби у масштабних земляних роботах, зменшення витрат часу та коштів на відновлення благоустрою території. Вибір конкретного способу залежить від діаметра та призначення трубопроводу, довжини переходу, інженерно-геологічних умов і наявності відповідної техніки.

До 80% закритих прокладань трубопроводів у транспортному та комунальному будівництві виконуються за допомогою установок для проколювання ґрунту (див. рис. 4.10). Цей метод застосовують переважно для прокладання труб діаметром від 0,05 до 0,50 м у піщаних і глинистих ґрунтах з достатньою несучою здатністю.

Глибину закладання труб визначають з урахуванням запобігання деформаціям поверхні. Зазвичай вона становить не менше п'ятикратного зовнішнього діаметра прокладеної труби, що забезпечує виконання умови відсутності підняття ґрунту на поверхні.

Натискні пристрої, які застосовують під час проколювання, можуть бути: гідравлічні домкрати та лебідки, а також будівельні машини з достатнім тяговим зусиллям (трактори, трубоукладальники, бульдозери тощо). Проколювання виконується двома основними способами: безпосереднім вдавлюванням труби в ґрунт – використо-

вугється для відносно коротких ділянок і ґрунтів із низьким опором проникненню, або попереднім виконанням піонерної свердловини, яка потім розширюється до необхідного діаметра.

Технологічна послідовність виконання робіт проколюванням за допомогою гідравлічних домкратів наступна (рис. 4.11).

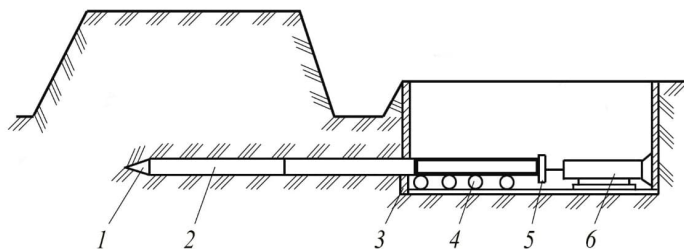


Рис. 4.11. Проколювання ґрунту за допомогою гідравлічних домкратів:

1 – конусний наконечник; 2 – труба; 3 – упор; 4 – напрямні; 5 – заглушка; 6 – гідроциліндр

1. По обидва боки насипу або перешкоди розробляють робочий (8–13 м) та приймальний (2,5–3,5 м) котловани. Робочий котлован призначений для встановлення обладнання та подачі зусилля на трубу, приймальний – для її приймання після проходження ділянки.

2. У торці робочого котловану монтують металевий упор, що сприймає зусилля від домкратів. Бокові стінки котлованів укріплюють дошками чи щитовими кріпленнями для запобігання обсыпання ґрунту.

3. На дно робочого котловану встановлюють один або два гідравлічні домкрати на жорсткій рамі для стабільної передачі зусилля.

4. Поблизу котловану розташовують гідронасос високого тиску з приводом, зварювальний апарат та вантажопідйомні засоби для подачі і встановлення труб.

5. До забійного кінця труби приварюють конусний наконечник, трубу укладають на ковзні напрямні, на другий кінець кріплять натискну заглушку. Під дією домкрата труба поступово вдавлюється в ґрунт. Після проходження відрізка шток домкрата втягується, встановлюється натискний патрубок, і цикл повторюється до повного впровадження ланки.

6. Наступна ланка труби укладається на напрямні, центрується та зварюється з попередньою, далі проколювання продовжується. Після виходу труби в приймальний котлован проходка завершується, а конусний наконечник відрізається.

7. Напірне зусилля при проколюванні досягає 200 кН, швидкість проходки – 6–12 м/год, максимальна довжина проколу за цикл – до 30 м.

Спосіб забезпечує безпечно та відносно швидко прокладання труб під транспортними шляхами, водними перешкодами та іншими об'єктами без розкриття поверхні, що особливо важливо у міських умовах та на діючих транспортних магістралях.

Прокладання трубопроводів за допомогою піонерної траншеї (рис. 4.12) починається з формування горизонтальної свердловини малого діаметра – зазвичай від 5 до 10 см. У цю свердловину пропускається сталевий канат, один кінець якого закріплюється на барабані лебідки, а інший – на розширювачі. Діаметр розширювача перевищує діаметр труби на 10–20 см, що забезпечує безперешкодне введення труби у ґрунт. Труба з'єднується з розширювачем сталевим канатом довжиною 1–1,5 м.

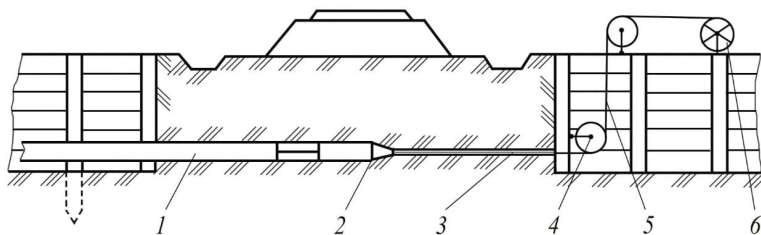


Рис. 4.12. Проколювання ґрунту за допомогою піонерної траншеї:

1 – труба, що прокладається; 2 – розширювач; 3 – піонерна свердловина; 4 – напрямні блоки; 5 – сталевий канат; 6 – тягова лебідка

Спосіб продавлювання застосовується для прокладання труб діаметром від 0,5 до 2 м і довжиною до 80 м. Допустимі різні форми труб – круглі, овальні, трикутні, прямокутні, а також різні матеріали: сталь, залізобетон тощо. При прокладанні залізобетонних труб на кінці встановлюється сталеве ножове кільце для зменшення опору ґрунту.

Установки, що працюють за способом продавлювання, відрізняються більшою потужністю силових агрегатів, натискних пристроїв, упорів та напрямних. Зусилля, що виникають під час процесу, можуть досягати 10 МН. Водночас відмінною особливістю продавлювання є відкритість забійної частини труби, що дозволяє безперервно контролювати процес.

У міру заглиблення труби її внутрішня порожнина заповнюється ґрунтовим керном. Зі збільшенням довжини керна зростає необхідне зусилля для його проштовхування, що призводить до ущільнення ґрунту. У результаті довжина керна завжди менша за довжину заглиблення. Тому процес продавлювання має супроводжуватися безперервним або періодичним видаленням ґрунту з труби, інакше ущільнений kern може створити критичний лобовий опір, при якому kern і труба рухатимуться як єдине ціле.

Видалення ґрунту здійснюється залежно від діаметра труби: для труб діаметром 0,50–0,80 м використовується гідравлічний спосіб, для труб більшого діаметра – малогабаритні ґрунтоавантажувальні машини, ланцюгові або скребкові конвеєри.

Установки для вібропродавлювання та вібропроколювання оснащуються вібратором для створення поздовжніх коливань труби. Вібратор може кріпитися до хвостової частини труби або мати наскрізний отвір із захоплювачем, через який проходить труба.

Вібраційні способи характеризуються високою продуктивністю, однак потребують значного обсягу підготовчих робіт і складнішого обладнання, порівняно з класичними способами продавлювання.

Установки горизонтального буріння розробляють ґрунт безпосередньо в забої шляхом різання. Видалення розробленого ґрунту здійснюється механічним або гідромеханічним способом. Діаметр свердловин при цьому варіюється від 0,1 до 5 м.

Шнекові установки горизонтального буріння мають робочий орган у вигляді різальної головки з напрямною голкою, закріпленою на конусі шнека. Шнек розташовується всередині труби та транспортує розроблений ґрунт назовні. Такі установки призначені для прокладання труб у м'яких ґрунтах природної вологості без включень.

Для буріння скельних порід застосовуються установки на базі тракторів з фрезерним робочим органом. Видалення породи здійснюється гвинтовим конвесром, розташованим всередині труби. Цей метод дозволяє виконувати прокладання трубопроводів у складних ґрунтових умовах з підвищеною міцністю порід.

4.4. Гідромеханічна розробка ґрунтів

Гідромеханічний метод виконання земляних робіт полягає у розробленні, транспортуванні та укладанні ґрунту в насип або відвал за допомогою води. Під дією потужного струменя вода розмиває ґрунт, утворюючи водно-ґрунтову суміш – пульпу, яка далі переміщується до місця укладання. У процесі планування територій гідромеханічним способом ґрунт розмивається у межах виїмки та переміщується до насипу. Проте на практиці цей метод частіше застосовується для намівання великих площ (промислових майданчиків, територій під забудову, портових споруд) ґрунтом з кар'єрів, розташованих як на суші, так і на дні водойм.

Для розробки ґрунту на суші використовують гідромоніторні установки – спеціалізовані машини, які формують і подають під високим тиском концентрований струмінь води, здатний руйнувати структуру ґрунту.

Існують дві основні схеми роботи гідромоніторів (рис. 4.13):

- зустрічний забій – розмивання знизу вгору;
- попутний забій – розмивання згори вниз.

При розробці зустрічним забоем гідромонітор встановлюють на підшві забюю, а струмінь води спрямовують у напрямку, протилежному руху пульпи до водоприймача.

Незв'язні ґрунти, зокрема піски та суглинки, змиваються струменем по всій ширині укусу, крутість якого зазвичай відповідає куту їхнього природного укусу. Для зв'язних ґрунтів (суглинків, глин) робочий укіс може бути значно крутішим, майже вертикальним. У таких випадках спочатку виконують підрізання укусу знизу, викликаючи його обвалення, після чого обвалений масив ґрунту ретельно розмивають та переміщують водою.

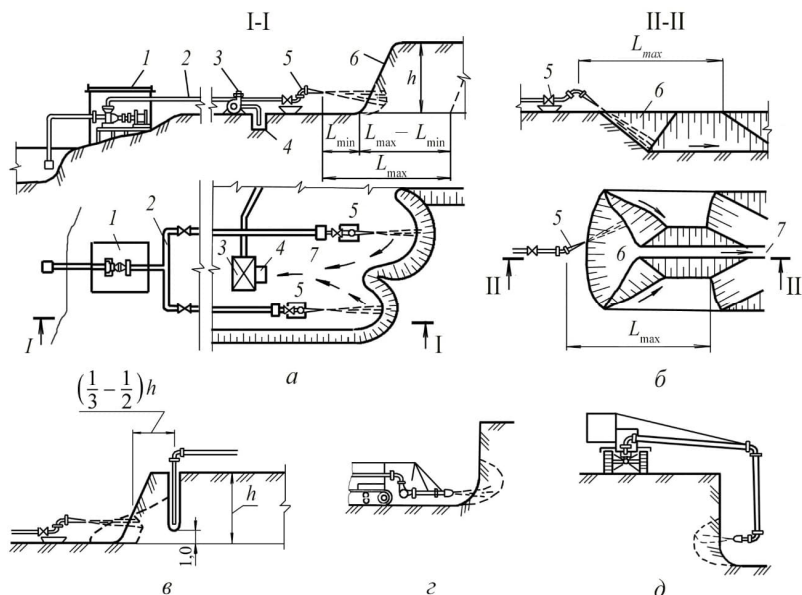


Рис. 4.13. Розробка ґрунту гідромоніторними установками:

а – зустрічним забором з транспортуванням пульпи землесосною установкою; *б* – попутним забором; *в* – зустрічним забором з додатковим розмиванням ґрунту; *г, д* – гідромоніторами на гусеничному ході; 1 – насосна станція; 2 – магістральний водопровід; 3 – землесосна установка; 4 – колодязь (зумпф); 5 – гідромонітор; 6 – забій; 7 – канава для відведення пульпи

Продуктивність гідромоніторів суттєво зростає, якщо перед розмиванням у ґрунт подати воду через свердловини під тиском до 0,7 МПа (рис. 4.13, *в*). Попереднє насичення ґрунту водою значно полегшує його руйнування, особливо у випадку пористих лесових ґрунтів. У такому режимі висота забою може досягати 20 м.

Недоліком зустрічного забою є утворення нерозроблених ділянок ґрунту (недомивів), для ліквідації яких необхідно залучати додаткову техніку, наприклад бульдозери.

При розробці попутним забором гідромонітор встановлюють на верхній брівці, спрямовуючи струмінь у бік руху пульпи. Спершу розмивають осьову канаву для її відведення, після чого – ґрунт біля гідромонітора та укоси. Ширина одного елемента забою зазвичай становить 10–15 м.

Основний недолік цього способу – зниження продуктивності через ускладнене підрізання та обвалення забою. Саме тому в більшості випадків перевага надається розробці зустрічним забоем.

У новітніх моделях гідромоніторів застосовують дистанційні системи керування, які у поєднанні з гусеничним ходом (рис. 4.13, з, д) дають можливість виконувати розмивання у безпосередній близькості від забою, забезпечуючи високу інтенсивність руйнування ґрунту та підвищену безпеку роботи оператора.

Переміщення водно-ґрунтової суміші від місця розробки до насипу або відвалу здійснюється двома способами:

- самопливом, за наявності достатніх уклонів, що забезпечують рух пульпи з частинками ґрунту у завислому стані;
- під напором, коли пульпа збирається у зумпфі й перекачується ґрунтовим насосом (землесосом) або гідроелеватором.

Гідромеханічний метод вирізняється високою продуктивністю, особливо на великих об'єктах, але водночас потребує ретельного проектування гідравлічної частини процесу, щоб мінімізувати втрати ґрунту та забезпечити ефективне використання водних ресурсів.

4.5. Роботи у мерзлих ґрунтах

Мерзлі ґрунти характеризуються значно підвищеною механічною міцністю, що суттєво ускладнює виконання земляних робіт у зимовий період. Це зумовлює зниження ефективності роботи основних землерийних та землерийно-транспортних машин, а в окремих випадках – робить їх застосування технічно або економічно недоцільним без попередньої підготовки ґрунту.

Для підготовки та розробки мерзлих ґрунтів у транспортному будівництві використовують такі основні технологічні способи:

- екскаваторний метод – розробка ґрунту одноківшевыми або багатоківшевыми екскаваторами;
- розпушення статичними розпушниками – руйнування мерзлої маси шляхом створення високих зосереджених зусиль;
- розпушення робочими органами динамічної дії – застосування вібропробійників або ударних механізмів;

- блочний спосіб – попереднє розділення масиву на окремі блоки з подальшим переміщенням;
- вибуховий спосіб – використання контрольованих вибухів для дроблення мерзлого ґрунту;
- запобігання промерзанню – комплекс заходів, що унеможливають промерзання робочої зони;
- відтавання – штучне нагрівання та розморожування ґрунту за допомогою теплових установок або електротермічних пристроїв.

Розробка мерзлого ґрунту одноківшевіми гідравлічними екскаваторами з прямою або зворотною лопатою зазвичай виконується за стандартними технологічними схемами, проте з урахуванням зменшеної швидкості копання та можливого зниження коефіцієнта наповнення ковша. Максимальна глибина копання у мерзлому ґрунті може бути визначена за емпіричною залежністю

$$h = \frac{a \cdot q}{k_{cx}},$$

де a – коефіцієнт, що залежить від групи ґрунту у немерзлому стані; q – місткість ковша, м³; k_{cx} – коефіцієнт, який визначається схемою копання.

Для підвищення ефективності роботи екскаваторів у зимових умовах часто застосовують спеціальні змінні робочі органи, що забезпечують більш інтенсивне руйнування мерзлого масиву (рис. 4.14). Такі пристрої можуть мати посилене ріжуче обладнання, зубці зі змінними наконечниками або елементи, здатні працювати в режимі ударно-вібраційного впливу.

Під час механізованої розробки мерзлих ґрунтів із застосуванням розпушників використовують чотири основні технологічні схеми роботи: поздовжньо-кільцеву, спіральну, човникову, поздовжньо-поперечну (рис. 4.15).

Вибір оптимальної схеми розпушення залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту, його категорії міцності, а також від технологічних умов виконання робіт.

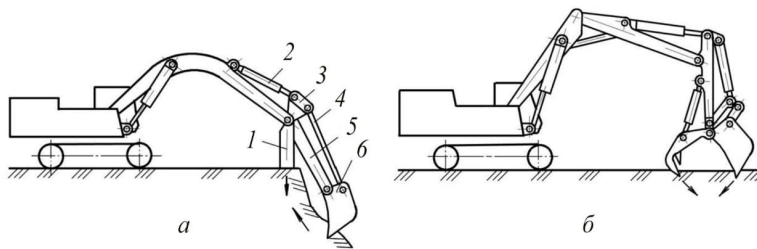


Рис. 4.14. Спеціальні пристрої для руйнування мерзлих ґрунтів на базі одноківшового екскаватора: *а* – упорно-захоплювальний; *б* – захоплювально-кліщовий; 1 – упор; 2 – гідроциліндр повороту упору; 3 – поворотний важіль; 4 – тяга; 5 – рукоятка; 6 – ківш

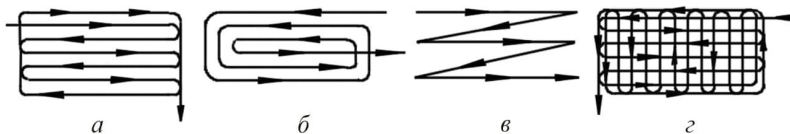


Рис. 4.15. Схеми розробки ґрунтів розпушниками:

а – поздовжньо-кільцева; *б* – спіральна; *в* – човникова зі зміщенням; *г* – поздовжньо-поперечна

Для розпушення ґрунтів IV категорії та міцних гірських порід найбільш доцільно застосовувати поздовжньо-кільцеву та спіральну схеми, оскільки вони забезпечують максимальну продуктивність машини за рахунок раціональної траєкторії руху робочого органу.

Човникова та поздовжньо-поперечна схеми застосовуються переважно під час розпушення скельних порід та вічномерзлих ґрунтів. При цьому поздовжньо-поперечна схема використовується у випадках, коли необхідно отримати розпушений матеріал з меншими розмірами грудок, що полегшує подальше транспортування та планування.

Процес розробки виконується пошарово, на глибину, що дорівнює максимально можливій глибині розпушення для конкретної машини. Глибина розпушення визначається насамперед потужністю двигуна базового трактора. За потужності 150–200 кВт глибина h становить 0,45–1,0 м. Використання надпотужних тракторів з двигунами 400–450 кВт дає можливість збільшити h до 1,5 м.

Високу ефективність при розробці мерзлих ґрунтів демонструють машини, оснащені робочими органами динамічної дії: розпушники з активними робочими органами та однокішшеві екскаватори з гідромолотами або пневмомолотами.

Технологічна схема розробки траншеї екскаватором, оснащеним гідромолотом, наведена на рис. 4.16.

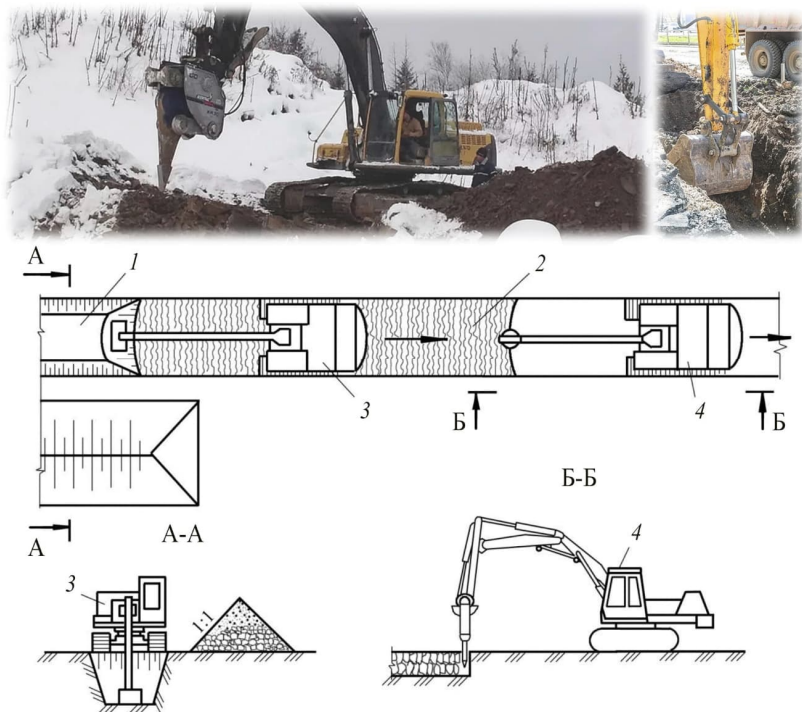


Рис. 4.16. Розробка траншеї з розпушенням мерзлого ґрунту гідромолотом: 1 – траншея; 2 – зона розпушеного ґрунту; 3 – екскаватор з ковшем; 4 – екскаватор з гідромолотом

Метод розробки мерзлих ґрунтів блоками полягає у порушенні монолітності мерзлого масиву шляхом нарізання його на окремі блоки за допомогою дискових пилок або різальних барабанів. Після нарізання блоки переміщують та завантажують:

- однокішшевіми екскаваторами в транспорт (рис. 4.17, а);

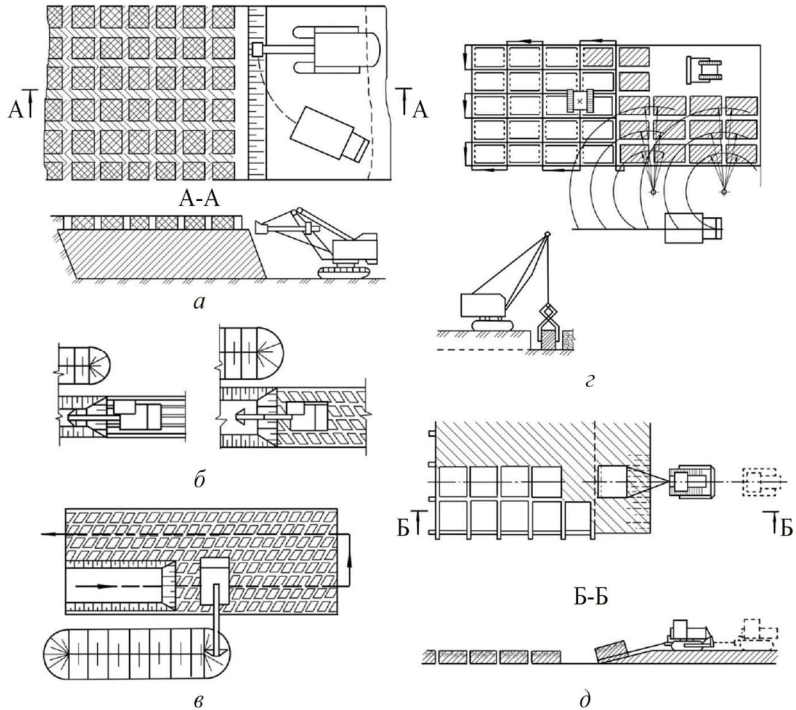


Рис. 4.17. Розробка мерзлого ґрунту блочним способом:

а – дрібноблочний спосіб розробки прямою лопатою; *б* – те ж саме, зворотною лопатою при створенні траншей; *в* – те ж саме, при створенні котлованів; *г* – великоблочний спосіб розробки з використанням кранів; *д* – те ж саме, з використанням бульдозерів

- за допомогою екскаваторів у відвал (рис. 4.17, *б*, *в*);
- кранами (рис. 4.17, *г*) або бульдозерами (рис. 4.17, *д*) у випадку великих за розмірами блоків.

Застосування методу блокової розробки дозволяє мінімізувати витрати енергії на подрібнення матеріалу, зберігаючи його цілісність до етапу транспортування або складування.

Вибуховий спосіб розробки мерзлих ґрунтів застосовується у випадках, коли глибина їх промерзання перевищує 0,80 м. Така технологія є однією з ефективних для забезпечення продуктивності земляних робіт за низьких температур. Розробка ґрунтів здійснюється

переважно з використанням шпурових і щілинних зарядів. У випадках, коли товщина промерзлого шару перевищує 2 м, застосовуються свердловинні заряди, а також котлові або дрібнокамерні заряди, які забезпечують локальне руйнування ґрунтового масиву.

Перед виконанням вибухових робіт виїмки поділяють на захватки – окремі ділянки, що розробляються послідовно. На першій захватці розпушений після вибуху ґрунт розробляють екскаваторами або іншими землерийними машинами. На другій, де вибухові роботи вже виконані, але обробка ґрунту ще не розпочата, проведення будь-яких операцій тимчасово заборонено з міркувань техніки безпеки. На третій захватці ведуться бурові роботи та закладання зарядів, після чого здійснюється підрив. Така схема організації забезпечує безпечне поєднання вибухових і землерийних операцій.

Для зниження витрат на вибухові роботи та уникнення значного промерзання ґрунту застосовуються профілактичні заходи з його утеплення. До них належать:

- оранка з наступним боронуванням і снігозатриманням, що дозволяє створити шар снігу для природної теплоізоляції;
- глибоке попереднє розпушення, яке сприяє утворенню гребінчастої поверхні, що утримує сніг;
- утеплення теплоізоляційними матеріалами (тирса, солома, мінераловатні мати тощо);
- хімічний вплив на ґрунт шляхом внесення солей (хлористого кальцію або натрію), які знижують температуру його замерзання.

Оранку та снігозатримання доцільно застосовувати для захисту ділянок, розробка яких запланована у першу третину зимового періоду. Для оранки використовуються плуги та статичні розпушники. При попередньому глибокому розпушенні ґрунту на глибину до 1,5 м формується рельєф з підвищеннями та заглибленнями, що сприяє накопиченню снігу та значно зменшує глибину промерзання.

Якщо ширина майбутньої виїмки не перевищує 12 м, ефективним заходом може бути обгортання ґрунту (рис. 4.18), яке полягає у створенні по периметру виїмки теплоізоляційного екрану зі снігу, торфу або інших матеріалів.



Рис. 4.18. Запобігання промерзанню ґрунту методом обгортання

Хімічний спосіб запобігання промерзанню ґрунтів застосовується у випадках, коли температура на поверхні ґрунту під сніговим покривом не знижується нижче $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сутність методу полягає у зниженні температури замерзання вологи в ґрунтових порах шляхом внесення реагентів, переважно хлоридів натрію або кальцію. Восени сіль розподіляють по заздалегідь очищеній від рослинних решток і сміття поверхні ґрунту або вносять безпосередньо в товщу ґрунту на глибину 0,10–0,25 м. Така обробка ефективно стримує процеси кристалізації води та забезпечує збереження пластичності ґрунту протягом зимового періоду.

Для захисту від промерзання невеликих площ ґрунту, які планується розробляти у зимовий період, використовують метод утеплення теплоізоляційними матеріалами. Як утеплювачі застосовують тирсу, подрібнену солому, сухе листя, шлакову крихту та інші матеріали з низькою теплопровідністю. Товщина теплоізоляційного шару визначається залежно від строків виконання робіт та розраховується за спеціальними інженерними формулами: чим пізніше планується розробка ґрунту, тим більшою повинна бути товщина утеплювального покриття.

В останні роки широкого розповсюдження набувають сучасні теплоізоляційні матеріали у вигляді швидкотвердіючих пін, зокрема пінопласту. Нанесення піни здійснюють після настання стійких від'ємних температур. Шар товщиною 0,30–0,50 м дозволяє відтермінувати початок промерзання ґрунту на 1,5–2 місяці, що значно розширює можливості виконання земляних робіт у зимових умовах.

Відтавання мерзлих ґрунтів застосовують у випадках, коли необхідно виконати земляні роботи на обмежених ділянках – під час створення невеликих котлованів і траншей, у важкодоступних місцях,

у стиснених міських умовах, а також під час аварійно-відновлювальних та ремонтних робіт. Найпростішим, проте й найменш ефективним різновидом відтавання є прогрівання ґрунту шляхом спалювання твердого палива (торфу, вугілля, деревної тирси чи інших горючих матеріалів) під металевим коробом, встановленим безпосередньо на поверхні ділянки робіт. Металевий короб спрямовує тепло у товщу ґрунту, створюючи локальну зону підвищеної температури.

Технологія відзначається простотою виконання і мінімальними вимогами до спеціального обладнання. Водночас вона має низку суттєвих недоліків: значні витрати часу та палива при невисокій швидкості прогрівання, малу глибину відтавання за цикл, обмежену низькою теплопровідністю ґрунту, а також високу енергоємність процесу, що у десятки разів перевищує енергоємність механічних методів розробки мерзлих ґрунтів (табл. 4.2).

Більш економічним і продуктивним є використання спеціальних теплотехнічних установок, що працюють на рідкому паливі (переважно дизельному). Принцип дії полягає у подачі палива зі зливного бака по шлангу самопливом до форсунки, розташованої перед головним теплогенеруючим коробом (рис. 4.19).

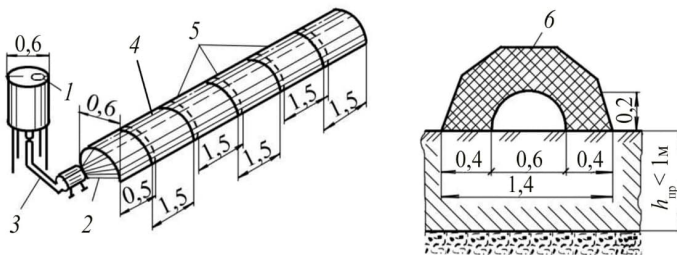


Рис. 4.19. Відтаювання мерзлого ґрунту рідким паливом:

1 – паливний бак; 2 – форсунка; 3 – шланг для подачі палива; 4 – головна секція короба; 5 – секції короба; 6 – утеплювач

При цьому ділянка довжиною близько 8 м та шириною 1 м розмерзається протягом 6–8 годин на глибину 0,20–0,30 м. Після прогрівання установка переміщується на суміжну ділянку, а поверхню розігрітого ґрунту вкривають шаром тирси завтовшки до 0,30 м.

Завдяки акумулюванню тепла ґрунт за 10–12 годин розмерзається на глибину 0,70–0,80 м. Витрати палива при такому способі становлять 4–5 кг на 1 м³ ґрунту, що робить метод ефективним у порівнянні з традиційними способами відкритого нагрівання.

Таблиця 4.2

Технічні показники способів розробки мерзлих ґрунтів

Спосіб розробки ґрунту	Енергоємність, кВт·год/м ³	Трудомісткість, чол·дн/м ³	Тип обладнання
Запобігання промерзанню	1,36	0,020–0,002	Теплоізоляційні матеріали, навіси
Відтавання:			
парове	190	0,16	Парові голки, парогенератори
вогневе	136	0,11–0,14	Металеві коробки, тверде паливо
електричне	81	0,70–0,28	Електричні голки, нагрівальні кабелі
інші способи	—	0,05–0,06	Спеціальні теплогенератори
Ручна розробка	—	1,90	Лопати, кайла
Механізований ручний інструмент	17,7	0,57–0,85	Відбійні молотки, ручні бурильні машини
Буропідривний спосіб	1,4	0,048	Бурові установки, вибухові речовини
Механічний:			
різання	5,45	0,003–0,09	Фрези, ріжучі барабани
вібрація	1,64	0,044–0,08	Віброплити, віброкопри
удар	0,55	0,005–0,05	Копри, молоти
відрив від масиву	0,28	0,005	Бульдозери, екскаватори з ковшами

Запитання для самоконтролю

1. У чому полягають основні особливості організації земляних робіт при реконструкції транспортних споруд?
2. Які технологічні рішення дозволяють виконувати земляні роботи без зупинки руху транспорту на діючих об'єктах?
3. Які додаткові вимоги висуваються до техніки та організації робіт у стиснених міських або промислових умовах?
4. У яких випадках доцільно застосовувати буропідривну технологію розробки ґрунтів у транспортному будівництві?
5. Які методи буріння шпурів застосовуються для підготовки скельних масивів до підриву?
6. Які види зарядів використовують у буропідривних роботах та які їх основні характеристики?
7. Які переваги та обмеження мають безтраншейні методи прокладання підземних комунікацій?
8. Які основні етапи виконання робіт методом горизонтального направленої буріння?
9. Як контролюється траєкторія і точність прокладання трубопроводу при безтраншейних роботах?
10. У чому полягає принцип роботи гідромоніторних установок і землесосів при гідромеханічній розробці ґрунтів?
11. Які особливості організації гідромеханічних робіт у заболочених або важкодоступних місцевостях?
12. Як здійснюється транспортування та укладання гідросуміші на місце відсіпання насипу?
13. Які природні та технологічні фактори ускладнюють виконання земляних робіт у мерзлих ґрунтах?
14. Які способи відтавання застосовуються перед механізованою розробкою мерзлих ґрунтів?
15. У чому полягає технологія блочного методу розробки мерзлих масивів?
16. Які конструктивні та технологічні вимоги висуваються до робочих органів землерийної техніки, призначеної для розробки мерзлих ґрунтів?

Розділ 5

Основи дорожнього будівництва

5.1. Загальна характеристика дорожньо-будівельних робіт

5.1.1. Методи організації виконання робіт

Дорожньо-будівельні роботи за призначенням і технологічними ознаками поділяються на три основні групи:

1) заготівельні роботи, що включають заготівлю дорожньо-будівельних матеріалів (щебінь, пісок, бітум, цемент тощо) та підготовку напівфабрикатів, необхідних для подальшого виконання основних технологічних процесів;

2) транспортні роботи, які охоплюють перевезення дорожніх матеріалів різними видами транспорту: залізничним, водним або автомобільним – вибір визначається відстанню перевезення, обсягом вантажу, термінами виконання робіт та економічними міркуваннями;

3) будівельні роботи, які безпосередньо пов'язані з виконанням технологічних операцій з улаштування земляного полотна, мостів, дорожнього одягу та інших споруд.

У свою чергу, будівельні роботи поділяються на:

– зосереджені (площадкові) роботи великої трудомісткості, які виконуються на обмеженій території з невеликою протяжністю (наприклад, будівництво окремих мостів, естакад або ділянок насипу);

– лінійні роботи значної протяжності, що виконуються у вузькій смузі (наприклад, будівництво земляного полотна дороги, укладання дорожнього одягу).

Для виконання зосереджених площадкових робіт застосовують:

1) метод роздільної організації – кожен будівельний процес виконується окремо, незалежно від інших – доцільний для нескладних об'єктів з невеликим обсягом робіт, таких як реконструкція окремої ділянки дороги або спорудження малої лінійної споруди;

2) циклічний потоковий метод – використовується на об'єктах, що складаються з однотипних споруд або допускають поділ на рівні за складністю й обсягом захватки (наприклад, будівництво великих мостів, високих насипів або укріплювальних споруд у гірській місцевості).

Виконання лінійних робіт у транспортному будівництві може здійснюватися за двома основними організаційними методами:

1) метод роздільної організації – застосовується на об'єктах малої протяжності, де періоди розгортання та згортання робіт перевищують час їх ефективного виконання;

2) потоковий метод – доцільний на об'єктах з достатньою протяжністю, що дозволяє забезпечити неперервний рух спеціалізованих бригад або колон уздовж траси.

У реальних умовах будівництва, окрім класичних методів організації робіт, широко впроваджуються й альтернативні схеми, що враховують специфіку об'єкта, особливості ґрунтових умов, наявність машин та обладнання, а також вимоги до термінів будівництва:

- паралельний метод – одночасне виконання робіт на значній протяжності дороги декількома універсальними організаціями, а введення дороги в експлуатацію відбувається одночасно по всій довжині. При цьому є можливість форсованого будівництва, однак виникає потреба у великій концентрації техніки та персоналу, складність управління, часті передислокації, підвищені витрати;

- послідовний метод – будівництво ведеться ділянками, одна за одною, тоді вже до наступної ділянки переходять лише після повного завершення робіт на попередній. Метод простіший в організації, але може призводити до простоїв спеціалізованих підрозділів і збільшення загальної тривалості будівництва;

- некомплексний потоковий метод – окремі етапи будівництва (наприклад, земляне полотно та споруди) виконуються за рік до зведення дорожнього одягу, однак відсутність єдиного графіка призводить до розпорошення ресурсів і подовження строків робіт.

Потоковий комплексний метод є основним і прогресивним способом організації дорожнього будівництва, що знайшов широке застосування насамперед на лінійно-протяжних об'єктах (рис. 5.1).

При цьому ефективність методу пояснюється можливістю раціонального використання будівельних машин і механізмів, скороченням тривалості виконання робіт та забезпеченням безперервності виробничого процесу.



Рис. 5.1. Потоковий комплексний метод виконання земляних робіт

До характерних ознак потокового комплексного методу належать:

- відсутність перебоїв у постачанні матеріалів і виконанні технологічних процесів;
- постійний обсяг робіт за одиницю часу при стабільному використанні трудових та технічних ресурсів;
- взаємопов'язана робота механізованих підрозділів (колон, загонів, бригад), що забезпечені матеріалами з централізованих стаціонарних або пересувних виробничих баз.

При застосуванні потокового комплексного методу спеціалізовані будівельні бригади переміщуються вздовж траси дороги з відносно постійною середньою швидкістю. Кожна бригада виконує повний комплекс закріплених за нею робіт, використовуючи відповідний комплект машин та механізмів. Завдяки такій організації досягається безперервність виробничого процесу, рівномірне завантаження техніки та персоналу, а також оптимальне використання ресурсів. У результаті після проходження бригади на окремій ділянці формується завершений етап або повністю готовий до експлуатації відрізок дороги, що скорочує терміни будівництва і підвищує якість виконання робіт.

Методи організації виконання робіт у транспортному будівництві відрізняються за протяжністю ділянок, ефективністю використання машинного парку та ступенем організації виробничих процесів, що дозволяє обґрунтовано визначати оптимальні умови їх застосування з урахуванням специфіки об'єкта та наявних ресурсів (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Методи організації будівельних робіт

Метод	Ділянка, км	Будівництво 1 км, діб	Коеф. викор. машин.	Переваги	Недоліки
Роздільний (площадковий)	до 1,0	45–60	0,55–0,65	Простота організації, гнучкість	Низька продуктивність, значні простой
Циклічний потоковий (площадковий)	0,5–3,0	25–40	0,70–0,80	Скорочення термінів, стабільна якість	Складніший графік, потреба в синхронізації
Роздільний (лінійний)	до 5,0	30–50	0,60–0,70	Простота організації	Значні втрати часу на розгортання та згорання
Потоковий (лінійний)	понад 5,0	15–25	0,85–0,90	Висока продуктивність, ефективне використання ресурсів	Потребує ретельної логістики
Паралельний	понад 10,0	10–20	0,70–0,80	Швидке завершення проекту	Високі витрати, складність управління
Послідовний	будь-яка	20–35	0,65–0,75	Простота планування	Простої спеціалізованих бригад, збільшення тривалості

Метод	Ділянка, км	Будівництво 1 км, діб	Коеф. викор. машин.	Переваги	Недоліки
Некомплексний потоковий	будь-яка	25–40	0,55–0,65	Можливість гнучкого фінансування	Розпорошення ресурсів, подовження термінів
Комплексний потоковий	понад 5,0	12–20	0,90–0,95	Висока ефективність, мінімальні терміни, якість	Високі вимоги до підготовки та координації

Примітка. Коефіцієнт використання машинного парку визначається як відношення фактичного часу роботи техніки до календарного часу її перебування на об'єкті.

5.1.2. Видобування і переробка кам'яних матеріалів

У процесі видобування та подальшої переробки кам'яних матеріалів здійснюється комплекс взаємопов'язаних технологічних операцій (рис. 5.2). До основних видів робіт належать:

- розкривні роботи, пов'язані з видаленням пустої породи;
- відокремлення корисного шару від гірського масиву та його попереднє розпушення для виймально-навантажувальних робіт;
- транспортування гірської маси до пунктів переробки;
- дроблення та сортування кам'яного матеріалу відповідно до заданих фракцій і технічних вимог.

Відокремлення корисного шару від гірського масиву та його розпушення, як правило, виконується буропідричним методом (див. підрозділ 4.2), який забезпечує достатній ступінь подрібнення породи та створює умови для ефективного використання навантажувачів, екскаваторів та іншої техніки. Залежно від призначення і послідовності виконання розрізняють первинні та вторинні буропідричні роботи:

- під час первинних робіт відбувається відокремлення корисного шару від масиву та його загальне розпушення;
- у процесі вторинних робіт проводиться подрібнення негабаритних уламків породи, розміри яких перевищують місткість

ковша екскаватора або габарити приймального отвору дробарки. Вторинні підриви застосовують і для очищення підшви уступу від залишків незруйнованої гірської породи, що полегшує розробку далі.

За тривалістю експлуатації кар'єри дорожньо-будівельних матеріалів поділяють на: тимчасові (притрасові) – відкриваються безпосередньо на період спорудження окремих ділянок дороги, та постійні – функціонують упродовж тривалого часу та забезпечують кам'яними матеріалами декілька об'єктів будівництва.

За положенням покладу відносно земної поверхні розрізняють: поверхневі кар'єри – з глибиною до 40–60 м, глибинні – з глибиною понад 60 м, нагріні – при заляганні породи вище рівня прилеглої місцевості, нагріно-глибинні – комбінованого типу, підводні – при видобутку матеріалу з-під водного дзеркала (наприклад, у руслах річок або на дні водойм).

За типом гірської породи, що розробляється, виділяють такі кар'єри: з видобутку скельних і напівскельних порід (граніти, базальти, вапняки), гравійні та піщані.



Рис. 5.2. Видобування і переробка кам'яних будівельних матеріалів

Організація процесу видобування кам'яних матеріалів потребує врахування геологічних, технологічних і експлуатаційних факторів,

що визначають методи розробки, вибір комплексу машин та подальшу схему транспортування і переробки породи.

Гірський відвід – це визначена ділянка земних надр, яка офіційно надається для промислової розробки корисних копалин.

Підготовчі роботи на кар'єрі включають:

- вирубання лісу та викорчування пнів;
- облаштування огорожень і водовідвідних споруд для захисту від притоку поверхневих і підземних вод;
- видалення ґрунтового покриву з подальшим складуванням для рекультивації;
- вирівнювання робочої поверхні;
- спорудження первинних під'їзних доріг до місць гірничих робіт і відвалів.

Такі заходи створюють умови для безпечної та ефективної експлуатації родовища.

Рациональна технологія вибухових робіт визначається правильним вибором методу, параметрів, послідовності проведення підривів і організації процесу. Основою є проєкт буровибухових робіт, який встановлює технологічні та безпекові вимоги.

Виділяють такі методи розміщення зарядів вибухових речовин:

- накладні заряди розташовують на поверхні об'єкта – метод характеризується низьким коефіцієнтом використання енергії вибуху та високими витратами вибухових речовин і застосовується лише у виняткових випадках, під час вторинного дроблення або виконання допоміжних робіт;
- камерні заряди потужністю від десятків до сотень тон розміщують у спеціальних камерах – метод ефективний при масових вибухах, для нарізування уступів і прокладання доріг на крутих схилах, однак характеризується недостатнім рівнем дроблення породи;
- котлові заряди 300–2000 кг розміщують у «котлах», створених шляхом розширення свердловин – метод характеризується нерівномірністю дроблення, підвищеним виходом негабаритів, сильним подрібненням в зоні заряду і слабким руйнуванням на відстані;
- шпурові заряди розміщують у шпурах діаметром до 75 мм

(частіше 40–45 мм) і глибиною до 5 м – метод використовують при розробці малопотужних покладів, у мерзлих ґрунтах, під час дроблення негабаритів або при висоті уступів до 5 м, розмір уламків зазвичай становить 0,35–0,45 м;

- свердловинні заряди розміщують у свердловинах діаметром 105–400 мм і глибиною 30–50 м – найпоширеніший і найбільш механізований метод, що забезпечує високу продуктивність і ефективність для більшості умов відкритих гірничих робіт та має велику кількість варіантів застосування.

У приотрасових кар'єрах переробка гірської маси здійснюється на пересувних дробильно-сортувальних установках, які складаються з комплекту взаємопов'язаних агрегатів і можуть швидко перебазуватися. За продуктивністю такі установки поділяються на: малі – до 10 т/год, середні – до 50 т/год та великі – понад 50 т/год.

Під час видобування гравійних матеріалів потужність розкривних порід зазвичай невелика, а необхідність у попередньому розпушенні відсутня. Основними машинами для видобування є однокішцеві екскаватори (з прямою лопатою або драглайном), іноді навантажувачі, рідше – бульдозери, скрепери або засоби гідромеханізації. Для ефективної роботи екскаватора з прямою лопатою висота забою повинна перевищувати максимальну висоту копання.

Основними засобами транспортування гравійних матеріалів є автомобілі і конвеєри. Для завантаження на конвеєри використовують бункери-живильники.

Переробка гравійних матеріалів здійснюється на пересувних дробильно-сортувальних установках. Для піщано-гравійних матеріалів застосовуються спеціальні бункери з лотковим живильником та колосниковим грохотом для попереднього відсіву. Технологія може забезпечувати як роздільний, так і сумісний випуск щебеню та гравію.

Піски видобувають у піщано-гравійних і гравійно-піщаних родовищах відкритим способом. Технологія подібна до видобування гравію, а основна мета збагачення полягає у видаленні пилювато-глинистих домішок, підвищенні чистоти та оптимізації гранулометричного складу матеріалу.

Технологічний процес видобування матеріалу включає:

- утворення пульпи та виділення зерен понад 5 мм на вібраційному грохоті;
- промивання та зневоднювання у спіральних класифікаторах.

Схема може бути складовою переробки гравійно-піщаної маси або самостійною установкою. За цією технологією також виробляють дроблені піски з відсіву дроблення масивних порід.

Мінеральні порошки поділяють на активовані та неактивовані.

Так, неактивовані виготовляють з карбонатних, піщанистих, магматичних порід, промислових відходів і металургійних шлаків (вміст глинистих домішок – не більше 5%). Активовані виробляють з карбонатних порід із домішками глини до 5% або з вапняків із домішками до 15% за умови застосування активуючих смол.

Технологія включає сушіння сировини (у сушильному барабані), змішування з активуючою домішкою (на асфальтобетонних заводах), подрібнення у кульових млинах та транспортування готового порошку в роздавальні бункери або на склад.

5.1.3. Приготування асфальтобетонних сумішей

Склад асфальтобетону підбирається за принципом забезпечення оптимальної щільності, високої зчіплюваності мінеральних зерен з бітумом та необхідної шорсткості поверхні. Від правильності складу залежить міцність, довговічність і зносостійкість дорожнього покриття.

Бітум перед введенням у змішувач повинен бути повністю збезводнений і розігрітий до робочої температури. Для в'язкого бітуму вона становить 100–150 °С, для рідкого – 70–100 °С залежно від марки.

Щебінь та пісок підлягають ретельному просушуванню та нагріванню. Температура має перевищувати температуру бітуму на 5–10 °С, щоб забезпечити необхідний тепловий баланс суміші.

Мінеральний порошок може подаватися у змішувач без попереднього підігрівання, проте температура щебеню і піску має компенсувати відсутність нагріву, гарантувавши температуру суміші.

Дозування компонентів здійснюється у два етапи: попереднє (у бункерах агрегату живлення) та остаточне (за масою у вагових

дозаторах безпосередньо перед подачею до змішувача). Точність дозування повинна становити не менш ніж $\pm 3,0\%$ для щебеню, піску та мінерального порошку.

Гарячі асфальтобетонні суміші виготовляють у стаціонарних, напівстаціонарних і пересувних установках періодичної та безперервної дії, технологічну схему приготування якої наведено на рис. 5.3.

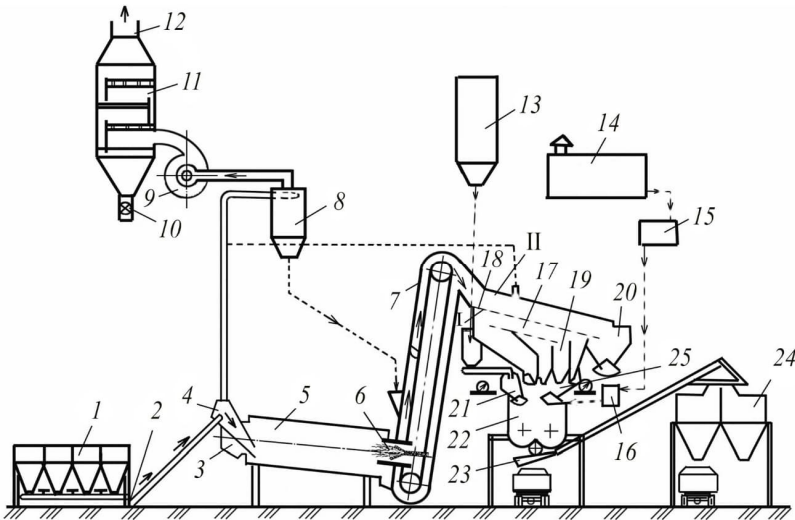


Рис. 5.3. Технологічна схема приготування асфальтобетонної суміші:

1 – агрегат живлення; 2 – стрічковий транспортер; 3 – димова коробка; 4 – завантажувальний пристрій; 5 – сушильний агрегат; 6 – топка; 7 – гарячий елеватор; 8 – перша ступінь очищення димових газів; 9 – димовсмоктувач; 10 – дозатор; 11 – друга ступінь очищення димових газів; 12 – труба; 13 – агрегат мінерального порошку; 14 – бітумосховище; 15 – нагрівач; 16 – насосно-дозувальний пристрій; 17 – сортувальний агрегат; 18 – перекидний лоток; 19 – гарячі бункери; 20 – бункер негабаритів; 21 – дозатор мінерального порошку; 22 – змішувач; 23 – скіповий підйомник; 24 – накопичувальний бункер; 25 – дозатор піску і щебеню

Послідовність технологічного процесу наступна.

1. Зі складу мінеральні матеріали надходять в агрегат живлення, де кожен витратний бункер обладнано дозатором для попереднього вагового або об'ємного дозування.

2. Матеріали транспортуються стрічковим конвеєром у сушильний барабан, де відбувається їхнє висушування та нагрівання. Топка барабана оснащена форсункою для спалювання палива.

3. Гарячим елеватором матеріали подаються у сортувальний агрегат (грохот), де відбувається поділ за фракціями та подальше накопичення у відсіках гарячих бункерів. Негабаритні включення скидаються у спеціальний бункер.

4. При необхідності перекидний лоток установлюється в положення II, що дає можливість подавати пісок безпосередньо у дозатор, минаючи грохот.

5. Установки періодичної дії працюють за принципом порційного дозування – кожен заміс формується окремо. Віддозовані компоненти подаються у змішувач, куди насосно-дозувальним пристроєм вводиться підігрітий бітум з бітумосховища.

6. Готова асфальтобетонна суміш розвантажується зі змішувача у скіповий підйомник для подачі у накопичувальний бункер або безпосередньо в кузов автосамоскида.

У процесі сушіння мінеральних матеріалів утворюються димові гази, що містять значну кількість пилоподібних частинок. З метою запобігання забрудненню довкілля та забезпечення нормативних показників викидів такі гази підлягають обов'язковому очищенню.

Технологічна схема очищення зазвичай включає дві послідовні стадії. На першій стадії здійснюється грубе відділення пилу в апаратах сухої дії (циклонних пиловловлювачах, інерційних або відцентрових сепараторах), де видаляється основна маса твердих частинок великої й середньої фракції. Друга стадія передбачає тонке очищення апаратами вологого типу (скрубери, пилоуловлювачі з водяною завісою тощо), що забезпечують уловлювання дрібнодисперсних частинок і доведення концентрації викидів до допустимих нормативів.

Після проходження обох ступенів очищення газоподібний потік надходить у димову трубу та відводиться в атмосферу. Вловлений пил або утворений у процесі мокрогo очищення шлам збирається у спеціальних приймальних ємностях і видаляється з системи через дозатори або транспортувальні пристрої для подальшої утилізації.

5.2. Поліпшення стану ґрунтових доріг і основ

Під час будівництва сільських і місцевих ґрунтових доріг, а також при улаштуванні основ під різні типи дорожніх покриттів однією з ключових вимог є забезпечення достатньої стійкості та несучої здатності земляного полотна. Досягти цього можливо шляхом поліпшення (стабілізації) ґрунтів, що передбачає введення до їх складу мінеральних або органічних домішок. Така технологія дозволяє не лише підвищити міцність і водостійкість ґрунту, але й забезпечує довговічність експлуатації дорожньої конструкції.

Найбільш ефективним і поширеним способом поліпшення властивостей ґрунтів є їх обробка органічними та мінеральними в'язучими матеріалами (цемент, вапно, бітум, зола, шлаки тощо). Застосування цього методу створює можливість одержати міцну й однорідну основу дорожнього покриття, здатну сприймати навантаження від руху транспортних засобів без значних деформацій.

Існуюча технологія укріплення передбачає виконання комплексу взаємопов'язаних операцій, які включають:

- попереднє дроблення ґрунту (особливо актуальне для глинистих порід, що мають грудкувату структуру);
- точне дозування і рівномірне внесення води та в'язучих матеріалів у товщу ґрунтової маси;
- ретельне перемішування отриманої суміші та її рівномірний розподіл по ширині проїжджої частини дороги;
- ущільнення суміші за допомогою спеціальних котків, що забезпечує необхідну щільність і міцність шару;
- догляд за укріпленим ґрунтом, тобто підтримання оптимальної вологості та захист від передчасного висихання або руйнування.

Типові технологічні схеми будівництва дорожніх покриттів методом укріплення ґрунтів наведені на рис. 5.4

Для стабілізації ґрунтів цементом застосовують комплекс машин, до складу якого входить дорожня фреза та бункерний розподільник цементу. Останній завантажується цементом з автоцементовозів, обладнаних системою пневморозвантаження. Так, розподільник за допомогою сошників вводить цемент у верхній шар подрібненого

грунту, забезпечуючи його рівномірний розподіл у різних дозах. Одним розподільником може обслуговуватися робота двох дорожніх фрез, що підвищує продуктивність процесу.

При використанні бітуму дорожня фреза обладнується спеціальною системою: бітумним насосом і розподільним пристроєм. У цьому випадку вона працює в комплекті з великовантажними бітумовозами, від яких живиться через гумово-металевий рукав довжиною 20–30 м. Особливістю є синхронізація швидкостей руху фрези та бітумовоза. При цьому різниця ліквідується періодичними зупинками транспортного засобу та можливістю його короткочасного волочіння завдяки достатній довжині рукава. Такий спосіб забезпечує безперервність технологічного процесу і високу якість укріплення.

Заключним етапом технології є ущільнення готової ґрунтової суміші. Для цього застосовують самохідні пневмоколісні котки, які завдяки поєднанню ваги машини та багатократних проходів забезпечують необхідну щільність, рівність та міцність укріпленого шару ґрунту.

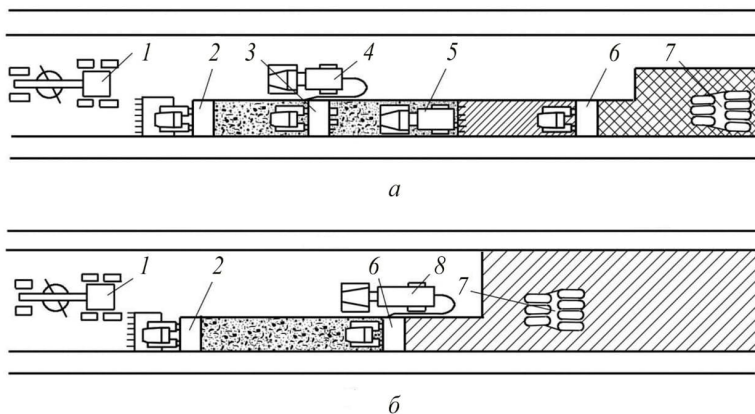


Рис. 5.4. Технологічні схеми укріплення ґрунтів комплектом машин з дорожньою фрезою:

a – цементом; *б* – бітумінозними матеріалами; 1 – автогрейдер; 2 – дорожня фреза для розпушування і дроблення ґрунту; 3 – розподільник цементу; 4 – цементовоз; 5 – поливальна машина; 6 – дорожня фреза для перемішування ґрунту; 7 – самохідний пневмоколісний коток; 8 – бітумовоз

5.3. Технології улаштування дорожніх покриттів

5.3.1. Будівництво асфальтобетонних покриттів

Процес будівництва дорожніх покриттів з гарячих та теплих асфальтобетонних сумішей складається з ряду послідовних технологічних операцій, до яких належать: підготовка основи, транспортування суміші, її укладання та ущільнення в шарах покриття. Кожна з цих операцій має вирішальне значення для забезпечення міцності, рівності та довговічності дорожнього одягу.

Перед початком укладання асфальтобетонної суміші необхідно ретельно підготувати основу. Поверхня очищується від пилу, бруду, сторонніх матеріалів і залишків попередніх робіт, що можуть погіршити адгезію між шарами. Для цього застосовуються спеціальні дорожні машини з механічними щітками та пиლოსосними установками.

Додатковим технологічним заходом є обробка поверхні підґрунтовкою – розподіл по ній бітумної емульсії або рідкого бітуму. Такий прийом забезпечує надійне зчеплення нового шару покриття з нижнім конструктивним шаром. Роботи з підґрунтовки виконуються за 1–2 доби до початку укладання асфальтобетонної суміші. Норма витрат в'язучого матеріалу становить у середньому 0,5–0,6 л/м², що визначається проєктними вимогами та фактичним станом основи.

Асфальтобетонна суміш, виготовлена на заводі, має відповідати проєктним параметрам за складом, гранулометричним складом та температурним режимом. Перед відвантаженням здійснюється перевірка її якості та робочої температури. Перевезення здійснюється автомобілями-самоскидами з теплоізоляційними кузовами, що знижує втрати тепла під час транспортування.

Важливо, щоб температура суміші на момент укладання відповідала нормативним вимогам: для гарячих сумішей – не менше 120 °С, для теплих сумішей – не менше 80 °С.

Недотримання температурних параметрів призводить до зниження пластичності суміші та, як наслідок, погіршення ущільнення і довговічності дорожнього покриття.

Доставлена суміш подається у приймальний бункер асфальтоукладальника, який рівномірно розподіляє її по ширині смуги.

У процесі укладання виконуються такі дії:

- попереднє ущільнення суміші трамбувальним брусом;
- вирівнювання шару вигладжувальною плитою, що формує необхідний поперечний профіль дороги.

Якщо ширина проїжджої частини перевищує робочу ширину асфальтоукладальника, укладання здійснюється кількома суміжними смугами (рис. 5.5). Для забезпечення належного зчеплення між ними передбачають почергове виконання робіт на коротких ділянках. Якість стикування суміжних смуг і однорідність покриття значною мірою залежать від температурно-погодних умов. У теплу пору року та за відсутності сильного вітру довжина однієї робочої смуги укладання може досягати 100–120 м. Натомість у холодний або вітряний період цей показник суттєво зменшується та становить лише 20–30 м.

Технологія будівництва асфальтобетонних покриттів вимагає суворого дотримання послідовності операцій, правильного вибору режимів транспортування та укладання, врахування погодних умов.



Рис. 5.5. Технологія будівництва асфальтобетонного покриття:

1 – автомобіль-самоскид; 2 – транспортер; 3 – асфальтоукладальник; 4 – легкий коток; 5 – важкий коток

Від цих чинників залежить не тільки рівність і водонепроникність покриття, а й його довговічність у реальних умовах експлуатації.

У процесі влаштування покриття укладання нижнього шару виконується з певним випередженням верхнього (орієнтовно на одну змінну захватку). Це дозволяє створити безперервний фронт робіт та забезпечити раціональну організацію технологічного процесу. Для одночасного укладання двох шарів асфальтобетону необхідна наявність щонайменше двох асфальтозмішувальних установок, здатних готувати суміші різного гранулометричного складу. Такий підхід забезпечує необхідну щільність і зчеплення між шарами покриття, що визначає його довговічність.

Завершальним і надзвичайно важливим етапом є ущільнення свіжоукладеної асфальтобетонної суміші. Для цього застосовують різні типи дорожніх котків:

- легкі, середні та важкі котки статичної дії з металевими вальцями;
- вібраційні котки, які поєднують статичний тиск із вібраційним впливом, що сприяє більш щільному приляганням зерен мінерального скелета;
- пневмоколісні котки, які завдяки еластичності шин забезпечують рівномірне ущільнення по всій товщині шару.

Процес укочування починається легкими котками від краю проїжджої частини у напрямку до середини з обов'язковим перекриттям сліду попереднього проходу на 0,20–0,25 м. Такий спосіб дозволяє уникнути утворення поздовжніх швів і забезпечує рівномірність структури дорожнього покриття.

Кількість проходів котка залежить від ряду факторів, зокрема типу застосованої асфальтобетонної суміші, в'язкості бітуму, товщини шару, що ущільнюється, а також температурних умов укладання.

Недостатнє ущільнення призводить до зниження міцності стійкості до дії вологи та динамічних навантажень, тоді як надмірне – може спричинити руйнування зернової структури суміші. Оптимальне ущільнення досягається при дотриманні регламентованої технології та використанні комплексу котків різних типів.

5.3.2. Будівництво цементобетонних покриттів

Будівництво цементобетонних покриттів (рис. 5.6) здійснюється двома основними технологічними способами із застосуванням:

- комплекту машин, що працюють на рейко-формах;
- машин на гусеничному ході, обладнаних ковзною опалубкою.

У першому випадку висока якість та рівність готового покриття забезпечується завдяки точному монтажу рейко-форм, які фіксують проектне положення дорожньої конструкції та слугують напрямними для укладальних і обробних машин. Цей спосіб потребує значних підготовчих робіт, але водночас характеризується високою точністю геометричних параметрів дорожнього полотна.

У другому випадку функції рейко-форм виконують дорожні машини, що пересуваються безпосередньо по земляному полотну чи по нижніх шарах основи. Вони оснащуються системами автоматичного керування, які дозволяють копіювати проектний профіль та забезпечувати необхідні параметри укладання бетонної суміші без використання стаціонарних напрямних. Такий метод є більш мобільним і технологічно гнучким, що особливо важливо при будівництві довгих магістралей та в умовах обмежених термінів (табл. 5.2).



Рис. 5.6. Приклади будівництва цементобетонних покриттів

Способи будівництва цементобетонних покриттів

Критерій	Будівництво з використанням рейко-форм	Будівництво з ковзною опалубкою (гусеничні машини)
Точність геометрії покриття	Висока, забезпечується жорсткою фіксацією рейко-форм	Висока, завдяки автоматизованим системам керування
Обсяг підготовчих робіт	Значний: монтаж і регулювання рейко-форм	Мінімальний: спеціальні напрямні не потрібні
Мобільність технології	Обмежена, внаслідок переміщення комплекту машин вимагає демонтажу та монтажу рейок	Висока, машини можуть працювати безпосередньо по основі дороги
Швидкість будівництва	Низька, через трудомісткість підготовчих операцій	Висока, особливо на довгих ділянках трас і магістралей
Необхідність у висококваліфікованому персоналі	Потребує кваліфікації для монтажу і вирівнювання рейко-форм	Потребує операторів, здатних працювати з автоматизованими системами
Сфера доцільного застосування	Об'єкти з високими вимогами до точності та рівності покриття, обмежені за протяжністю	Великі магістралі, швидкісні дороги, об'єкти з жорсткими термінами виконання робіт
Економічні аспекти	Високі витрати на підготовку та монтаж рейко-форм	Витрати на мобільні машини, низькі підготовчі витрати

Загальна технологічна схема будівництва цементобетонного покриття за допомогою машин на рейковому ході, у поєднанні з роботою стаціонарного бетонного заводу, наведена на рис. 5.7.

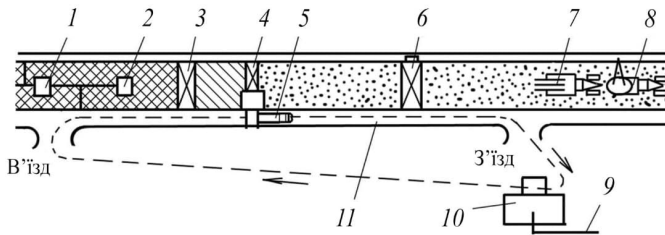


Рис. 5.7. Технологічна схема будівництва цементобетонного покриття комплектом машин на рейко-формах з використанням бетонного заводу:

1 – машина для заливання швів; 2 – машина для нарізування швів; 3 – бетонооздоблювальна машина; 4 – розподільник бетону; 5 – самоскид з боковим розвантаженням; 6 – профілювальник основи; 7 – рейко-форми; 8 – автокран; 9 – водопровід; 10 – бетонний завод; 11 – уширене узбіччя

Схема включає приготування бетонної суміші, транспортування, укладання в опалубку, ущільнення, вирівнювання поверхні та завершальну обробку покриття. Бетонна суміш транспортується до місця укладання автосамоскидами з боковим розвантаженням. У процесі будівництва односмугового покриття завширшки 7,0–7,5 м виникає необхідність у створенні умов для безперешкодного руху самоскидів. Це може бути забезпечено двома шляхами:

- розширенням одного з узбіч на 3–4 м;
- застосуванням комплекту машин для укладання смуги завширшки 3,5 м (аналогічно двосмуговому способу), що, однак, удвічі знижує темп робіт.

При влаштуванні двосмугового покриття автосамоскиди рухаються або по земляному полотну, або по вже збудованій смузі. З кузова самоскида бетонна суміш надходить у бункер розподільника бетону, який рівномірно викладає її на основу у шар необхідної товщини. Подальше ущільнення та вирівнювання здійснюється бетонооздоблювальною машиною.

Оздоблювальні операції мають на меті надання покриттю високої рівності та гладкості. Невеликі дефекти, що виникають у процесі укладання, ліквідуються вручну робітниками з містка машини. Свіжоукладене покриття потребує догляду, головним завданням якого є забезпечення тривалого збереження вологості в бетоні для нормального

перебігу процесів тужавіння і тверднення. Для цього його поверхню вкривають водонепроникними плівкоутворювальними матеріалами.

Після досягнення бетоном необхідної міцності здійснюється нарізування поздовжніх і поперечних швів. Для цього застосовують дводискові швонарізувальні машини. Отримані шви заповнюють спеціальними герметизуючими мастиками.

Для будівництва сучасних цементобетонних дорожніх покриттів використовується спеціалізований комплект машин, який забезпечує виконання всіх технологічних операцій – від підготовки основи до обробки поверхні та герметизації швів (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Базовий комплект машин для цементобетонних покриттів

Машина	Призначення	Основні технічні характеристики	Модель
Профільювальна машина	Підготовка земляного полотна, розпушення, вирівнювання, розподіл матеріалів	Ширина захвату 9–10 м, глибина до 0,25 м, швидкість 2–4 км/год	Caterpillar 14M, John Deere 872G
Бетоно-розподільна машина	Прийом і розподіл бетонної суміші, попереднє ущільнення	Ширина 7,5–8 м, товщина шару до 0,5 м, продуктивність 150–200 м ³ /год	Wirtgen SP 25, Gomaco RTP-500
Візок для арматури	Транспортування та укладання арматурної сітки, занурення у бетон	Вантажопідйомність 2–3 т, ширина укладання до 7–9 м	Gomaco Steel Mesh Carrier
Бетоно-укладальник (фінішер ковзної опалубки)	Формування бетонної плити, забезпечення профілю та нарізування швів у свіжому бетоні	Ширина укладання 7,5–12 м, товщина шару до 0,45 м, продуктивність 250–350 м ³ /год	Wirtgen SP 94i, Gomaco GP-2400

Машина	Призначення	Основні технічні характеристики	Модель
Фінішер	Остаточне вирівнювання поверхні, забезпечення рівності	Ширина до 10 м, швидкість 1,5–3 км/год	Wirtgen TCM 180, Gomaco T/C-600
Машина для обробки поверхні	Формування шорсткості, нанесення плівкоутворювальних матеріалів	Ширина 9–10 м, витрата матеріалу 0,2–0,5 л/м ²	Gomaco Texture/Cure Machine
Швонарізувальні машини	Нарізування швів у затужавілому бетоні	Глибина різання 150–200 мм, ширина 3–8 мм	Husqvarna FS 7000 D, Stihl TS 800
Машина для герметизації швів	Заливання швів мастиками	Продуктивність 10–15 л/хв, температура мастики 160–180 °С	Crafco Super Shot, Bomag Crack Sealer
Асфальтоукладальне обладнання	Влаштування тонкошарового асфальтобетонного покриття	Ширина укладання 3–10 м, товщина шару 40–100 мм	Vögele SUPER 1800-3i, Дунарас SD2500
Допоміжний транспорт	Перевезення комплекту та забезпечення логістики	Вантажопідйомність 20–40 т, швидкість до 80 км/год	MAN TGX, Volvo FH, Scania R-series

До складу базового комплекту можуть входити:

- профілювальні та розподільні машини для підготовки основи та формування робочого шару;
- бетонорозподільники і бетоноукладальники ковзної опалубки;
- обладнання для транспортування і укладання арматурних сіток;
- фінішери для остаточного вирівнювання та затирання;
- машини для створення шорсткості поверхні та нанесення плівкоутворювальних матеріалів;

- шварівальні установки та машини для герметизації швів;
- допоміжний транспорт для перевезення обладнання.

Необхідним елементом технологічної лінії є автоматизований бетонний завод продуктивністю не менше 120 м³/год. Для забезпечення темпів будівництва на рівні 1 км покриття на добу необхідно застосовувати два заводи такої продуктивності або один потужніший – 240 м³/год і більше (рис. 5.8).

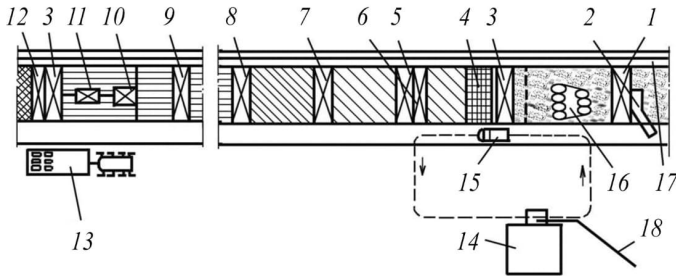


Рис. 5.8. Технологічна схема швидкісного будівництва цементобетонного покриття комплектом машин з ковзною опалубкою:

1 – профілювальник земляного полотна і основи; 2 – конвеєр-перевантажувач; 3 – бетонорозподільник; 4 – візок для перевезення арматурної сітки; 5 – бетоноукладальник; 6 – віброзанурювач арматурної сітки; 7 – бетонооздоблювальна машина; 8 – машина для надання шорсткості поверхні і нанесення плівкоутворювальних матеріалів; 9 – машина для нарізування поперечних швів; 10 – машина для нарізування подовжніх швів; 11 – машина для заливання швів; 12 – асфальтоукладальне обладнання; 13 – трейлер з тягачем; 14 – бетонний завод; 15 – великовантажний самоскид; 16 – пневмоколісний коток; 17 – копірний шнур; 18 – водопровід

Кожна машина має визначене призначення та виконує конкретну операцію, що у поєднанні утворює цілісну технологічну систему.

Профілювальні машини розпушують і вирівнюють верхній шар земляного полотна, розподіляють матеріали на ширину до 9–10 м.

Бетонорозподільники приймають бетонну суміш з автосамоскидів, рівномірно розподіляють її по робочій смузі шириною до 7,5–8 м та здійснюють попереднє ущільнення.

Бетоноукладальники ковзної опалубки формують цементобетонну плиту необхідної товщини та забезпечують точність поздовжнього і поперечного профілю. Вони здатні нарізувати поздовжні шви у свіжоукладеному бетоні. Товщина плити зазвичай становить до 0,45 м, а ширина укладання – до 7,5 м (у деяких моделях до 12 м).

Обладнання для укладання арматури транспортує арматурні сітки, здійснює їх монтаж з використанням кранового обладнання та занурює арматуру в бетонну суміш за допомогою віброзанурювачів.

Фінішери виконують остаточне вирівнювання та затирання поверхні, забезпечуючи високу рівність цементобетонного покриття.

Машини для обробки поверхні формують шорсткість щіткуванням або бороздуванням, а також наносять плівкоутворювальні матеріали для захисту бетону від передчасного висихання.

Швонарізувальні машини застосовуються для нарізання поперечних і поздовжніх швів у затужавілому бетоні, що забезпечує розтріскування і підвищує довговічність плити.

Машини для герметизації швів заповнюють нарізані шви спеціальними мастиками, запобігаючи проникненню вологи та агресивних середовищ у конструкцію покриття.

Асфальтоукладальники застосовуються для улаштування тонкошарових асфальтобетонних шарів поверх цементобетонної плити, що підвищує зчеплення коліс транспортних засобів і знижує рівень шуму.

Допоміжний транспорт забезпечує перевезення обладнання, матеріалів та логістичне обслуговування будівельного процесу, що підтримує безперебійне функціонування основних машин.

Таким чином, комплекс машин і обладнання для будівництва цементобетонних покриттів функціонує як єдина технологічна лінія, у якій кожна операція – від підготовки основи і транспортування сумішей до укладання та ущільнення покриття – чітко синхронізована. Узгоджене виконання цих операцій дозволяє забезпечувати високий рівень продуктивності, точність технологічних процесів, якість укладання та довговічність дорожнього одягу.

Запитання для самоконтролю

1. Які існують методи організації виконання дорожньо-будівельних робіт і в чому їх відмінності?
2. Як здійснюється видобування кам'яних матеріалів для дорожнього будівництва?
3. Які технологічні процеси включає переробка кам'яних матеріалів для використання в дорожніх шарах?
4. Які особливості має приготування асфальтобетонних сумішей на стаціонарних і пересувних установках?
5. Які фактори впливають на вибір температурного режиму приготування асфальтобетону?
6. Які методи застосовують для поліпшення несучої здатності слабких ґрунтів?
7. У чому полягають вимоги до ущільнення основи перед укладанням покриття?
8. Які машини використовують для стабілізації ґрунтів цементом і вапном?
9. Як організовується технологічний процес укладання асфальтобетонного шару?
10. Як забезпечується рівність і зчеплення шарів дорожнього покриття?
11. Які сучасні вимоги до водовідведення на дорогах?
12. Як здійснюється технологічний контроль якості під час укладання різних типів дорожніх покриттів?
13. Як організовується робота асфальтоукладальника і котків у потоці?
14. Які типові дефекти асфальтобетонних покриттів виникають у процесі експлуатації та як їх попередити?
15. Які технологічні відмінності має улаштування цементобетонного покриття?
16. Які методи нарізання та герметизації деформаційних швів застосовують у цементобетонних дорогах?

Розділ 6

Сучасні та перспективні технології

6.1. Геосинтетичні матеріали в земляних спорудах

Геосинтетичні матеріали становлять окрему групу сучасних інженерних виробів синтетичного або напівсинтетичного походження, спеціально призначених для роботи у взаємодії з ґрунтом, кам'яними матеріалами та іншими елементами земляних споруд. Їх застосування суттєво підвищує надійність та довговічність конструкцій, забезпечує збереження проєктних параметрів земляного полотна, а також сприяє зниженню вартості будівництва і подальших експлуатаційних витрат.

Оснoву більшості геосинтетичних матеріалів становлять полімери – поліпропілен, поліестер, поліетилен, поліамід та інші. Завдяки особливим властивостям такі матеріали характеризуються:

- високою міцністю на розтяг і довговічністю;
- стійкістю до впливу агресивних хімічних сполук та біологічної корозії;
- низькою чутливістю до зміни вологості;
- здатністю протистояти руйнівній дії ультрафіолетового випромінювання.

Необхідність застосування геосинтетичних матеріалів (рис. 6.1) у транспортному будівництві зумовлена низкою чинників:

- зростанням транспортних навантажень на дорожні та залізничні конструкції;
- дефіцитом та високою вартістю природних інертних матеріалів, що стимулює пошук альтернативних рішень;
- складними інженерно-геологічними умовами, серед яких слабкі ґрунтові основи, підтоплення, підвищена вологість тощо;
- вимогами екологічної безпеки щодо раціонального використання природних ресурсів та мінімізації впливу на довкілля.

За результатами досліджень та узагальненою практикою, яку висвітлює Міжнародна геосинтетична асоціація (International Geosynthetics Society, IGS), впровадження геосинтетичних матеріалів у будівництві земляних споруд дозволяє:

- зменшити витрати на спорудження на 10–30%;
- подовжити термін служби конструкцій у 1,5–2 рази;
- поліпшити експлуатаційні характеристики земляного полотна та дорожнього одягу;
- забезпечити більш високу якість робіт у складних умовах будівництва.

Таким чином, геосинтетичні матеріали нині розглядаються не лише як допоміжні елементи, а як невід’ємна складова сучасних технологій транспортного будівництва, що поєднує економічну ефективність з підвищеною надійністю та екологічною безпечністю.



Рис. 6.1. Застосування геосинтетичних матеріалів у земляних спорудах

Відповідно до положень EN ISO 10318-1:2015 «Geosynthetics – Part 1: Terms and definitions», а також практики, яку систематизує Міжнародна геосинтетична асоціація (IGS), усі геосинтетичні матеріали поділяють на кілька основних типів залежно від конструктивних особливостей та матеріалу виготовлення. Кожен тип має певне функціональне призначення у транспортному будівництві (табл. 6.1), його вибір залежить від конкретних умов експлуатації об’єкта, а також від вимог до довговічності та надійності споруди.

Таблиця 6.1

Основні характеристики геосинтетичних матеріалів

Вид матеріалу	Щільність, г/м ²	Міцність на розтяг, кН/м	Водопроникність / ізоляція	Основні функції
Геотекстиль	100–600	8–30	0,01–0,05 м/с	Розділення, фільтрація, захист
Георешітки	>200	20–120	—	Армування, стабілізація
Геосітки	200–400	15–50	—	Армування, захист від ерозії
Геомембрани	500–1500	>15	Непроникні	Гідроізоляція, протифільтраційні бар'єри
Геомати	300–800	5–15	Висока	Протиерозійний захист, укріплення
Геокласти	500–2000	10–150	Залежить від складу	Комбіновані функції
Геоклітки	Стінка 1,2–1,6 мм	—	—	Стабілізація, армування основи

Геотекстиль – плоский гнучкий матеріал із синтетичних волокон, що виготовляється тканим або нетканим способом:

- нетканий геотекстиль застосовується насамперед для фільтрації, дренажу та розділення конструктивних шарів;
- тканий геотекстиль має високу міцність на розтяг і використовується для армування та розділення шарів земляного полотна.

Георешітки – решітчасті полімерні матеріали з жорсткою структурою:

- одновісні георешітки сприймають зусилля в одному напрямку та ефективно застосовуються для армування укосів і підпірних стінок;
- двовісні та тривісні георешітки забезпечують рівномірний розподіл навантажень, що особливо важливо для зміцнення основ дорожніх покриттів.

Геомембрани – непроникні полімерні полотна, що використовуються для створення гідроізоляційних і протифільтраційних бар'єрів у земляних спорудах (наприклад, у дамбах, водосховищах, шламонакопичувачах).

Геосітки – гнучкі сітчасті матеріали, які відрізняються від георешіток меншою жорсткістю та більшою еластичністю. Основні функції: армування та стабілізація шарів дорожніх конструкцій, зміцнення основ насипів.

Геомати – просторові полімерні матеріали, утворені з хаотично розташованих волокон. Використовуються для протиерозійного захисту, укріплення відкосів і схилів, закріплення рослинності завдяки здатності утримувати ґрунт і кореневу систему рослин.

Геокомпозити – комбіновані матеріали, що поєднують властивості кількох геосинтетиків (наприклад, геотекстиль + дренажна сітка або геомембрана + геотекстиль). Забезпечують одночасне виконання кількох функцій – фільтрації, дренажу, армування чи ізоляції.

Геокомірки (геосотові структури) – тривимірні решітчасті конструкції з полімерних стрічок. Використовуються для стабілізації поверхонь, армування слабких основ, укріплення укосів і формування протиерозійного захисту.

Згідно з вимогами ААШТО М288 та положень ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Частина І. Проектування», геосинтетичні матеріали виконують низку ключових функцій, що забезпечують їх ефективне застосування у транспортному будівництві (рис. 6.2):

- розділення – геосинтетичні матеріали створюють бар'єр між різнорідними шарами (наприклад, між ґрунтом та щебеневою основою), запобігаючи їх змішуванню, що дозволяє зберегти несучу здатність конструкції та підвищує її довговічність;
- армування – завдяки високій міцності на розтяг, геосинтетики сприймають частину зусиль від ґрунтового масиву, підвищуючи стійкість земляних споруд та зменшуючи ризик деформацій;
- фільтрація – матеріали забезпечують вільне проходження води через свою структуру із затриманням частинок ґрунту, що запобігає замулюванню, зниженню проникності та втраті стійкості основи;

- дренаж – геосинтетики здатні відводити надлишкову вологу у власній площині, що знижує гідродинамічний тиск і ризик розм’якшення основи насипів чи виїмок;
- захист – використовуються для запобігання механічним пошкодженням гідроізоляційних або протифільтраційних шарів (геомембран, глиняних екранів тощо) від проникнення гострих частинок або дії зовнішніх навантажень;
- ерозійний контроль – геосинтетики стабілізують укоси насипів і виїмок, захищають відкриті поверхні від водної та вітрової ерозії, сприяють збереженню проєктних параметрів земляного полотна;
- ізоляція – утворюють суцільний бар’єр, що обмежує проникнення води, солей, агресивних хімічних середовищ і сприяє збереженню експлуатаційних властивостей конструкції.



Рис. 6.2. Функціональні можливості геосинтетичних матеріалів

Застосування геосинтетичних матеріалів у транспортному будівництві охоплює низку технологічних рішень, які спрямовані на підвищення надійності земляних споруд і дорожніх конструкцій:

1. Укріплення укосів та відкосів виїмок і насипів – для стабілізації схилів широко використовуються георешітки та геомати, які забезпечують утримання ґрунту, захист від ерозії та зсувів.

Матеріали закріплюють анкерами, після чого виконується засівання багаторічними травами або озеленення відкосів, що додатково підвищує їхню стійкість завдяки розвитку кореневої системи.

2. Розділення шарів основи дорожнього одягу – для запобігання змішуванню несучих та підстильних шарів укладається геотекстиль із нахльостом 30–50 см. Такий підхід зменшує ризик втрати міцності основи, покращує роботу дренажних систем і підвищує рівномірність розподілу навантажень.

3. Дренажні системи земляного полотна – використання геокомпозитів із вбудованими дренажними каналами дозволяє ефективно відводити надлишкову вологу. Найчастіше їх укладають уздовж насипу чи на стику шарів земляного полотна, що забезпечує зниження водонасичення ґрунту та підвищення стійкості споруди.

4. Гідроізоляція та протифільтраційний захист – геомембрани застосовуються як водонепроникний бар'єр для запобігання інфільтрації поверхневих і ґрунтових вод у тіло земляного полотна. Це особливо важливо під час спорудження насипів на ділянках із підвищеним рівнем ґрунтових вод та у районах із несприятливими інженерно-геологічними умовами.

Використання геосинтетичних матеріалів забезпечує не лише технічні переваги, але й значний економічний та екологічний ефект:

- зменшення товщини шарів щебеню на 20–40%, що безпосередньо скорочує обсяги використання дорогих інертних матеріалів;
- подовження строку служби земляного полотна на 30–50%, завдяки підвищенню стійкості та зниженню впливу водонасичення;
- економія на поточному ремонті до 25%, завдяки зменшенню деформацій та руйнувань у процесі експлуатації;
- зменшення обсягів виймання природних матеріалів, що сприяє збереженню мінеральних ресурсів;
- захист родючого шару ґрунту та зниження негативного впливу будівельних робіт на довкілля.

У сучасному транспортному будівництві активно впроваджуються інноваційні рішення, спрямовані на розширення функціональних можливостей геосинтетичних матеріалів, підвищення їхньої надійності

та екологічної безпечності. Це зумовлено як зростанням вимог до довговічності транспортних споруд, так і необхідністю дотримання принципів сталого розвитку. Серед ключових тенденцій розвитку можна виділити такі напрями:

1. Біорозкладні геосинтетики – перспективним напрямом є створення матеріалів, які після завершення строку експлуатації здатні до природного розкладання без утворення шкідливих залишків. Це дозволяє істотно знизити негативний вплив на довкілля, скоротити обсяги будівельних відходів і забезпечити більш гармонійну взаємодію інженерних споруд із природним середовищем.

2. Геосинтетики з вбудованими сенсорами – інтеграція сенсорних технологій (датчиків деформацій, вологості, температури тощо) у структуру геосинтетиків відкриває нові можливості для моніторингу стану земляних споруд у режимі реального часу. Такі «розумні матеріали» дозволяють здійснювати своєчасний контроль технічного стану конструкцій, запобігати розвитку аварійних ситуацій і підвищувати ефективність експлуатаційного обслуговування.

3. Багатофункціональні композитні системи – сучасні розробки спрямовані на поєднання в одному матеріалі кількох функцій, наприклад, армування, фільтрації та дренажу. Це забезпечує зменшення кількості шарів у конструкції земляного полотна, скорочує обсяги будівельно-монтажних робіт, підвищує ефективність використання матеріалів і знижує загальну вартість будівництва.

Таким чином, геосинтетичні матеріали становлять сучасне та високоєфективне інженерне рішення, спрямоване на підвищення довговічності, надійності та стійкості земляних споруд у транспортному будівництві. Завдяки різноманіттю типів та функціональних властивостей вони дозволяють комплексно вирішувати завдання, пов'язані з експлуатаційною надійністю дорожнього полотна та інженерних об'єктів.

Вибір конкретного виду геосинтетичного матеріалу залежить від інженерно-геологічних умов, конструктивних особливостей земляної споруди та призначення. Основними напрямками їх застосування є:

- розділення шарів різнорідних матеріалів;

- армування основ та укосів для підвищення несучої здатності та зниження деформацій;
- фільтрація та дренаж, що забезпечують ефективне відведення води при збереженні стійкості ґрунтової структури;
- ізоляція та захист від вологи, агресивних середовищ і механічних пошкоджень;
- контроль ерозійних процесів і стабілізація відкритих поверхонь.

Комплексне застосування геосинтетиків сприяє досягненню оптимального балансу між економічною доцільністю, технологічною ефективністю та екологічною безпекою. Це відповідає сучасним тенденціям розвитку транспортного будівництва та реалізації концепції сталого розвитку, що передбачає раціональне використання природних ресурсів, зменшення антропогенного впливу та підвищення якості інфраструктурних об'єктів.

6.2. GPS-контроль і автоматизовані системи керування

Сучасне дорожнє будівництво дедалі більше орієнтується на використання цифрових технологій, автоматизацію та високоточну навігацію. Важливим кроком у цьому напрямі стало впровадження систем GPS-контролю та 3D-навігаційних комплексів на екскаваторах, бульдозерах, грейдерах та інших землерийних машинах. Завдяки цьому процес виконання земляних робіт набуває нової якості – досягається підвищена точність операцій, зменшуються втрати матеріалів, скорочується час будівництва.

Принцип роботи таких систем полягає у тому, що будівельна техніка «підключається» до цифрової проєктної моделі об'єкта. Машина автоматично орієнтує своє робоче обладнання відповідно до закладених координат і висотних відміток, що мінімізує потреби у традиційних геодезичних роботах і ручних вимірюваннях. Практичні результати впровадження систем машинного контролю свідчать про суттєве зростання продуктивності. Так, використання GPS-навігації на бульдозерах Komatsu D61i-23 забезпечило приблизно 13% приросту ефективності у процесі грубого вирівнювання поверхні порівняно з

машинами без вбудованих систем керування. У французькому проєкті з благоустрою парку впровадження системи Trimble GCS900 дало ще вагоміший результат – підвищення продуктивності земляних робіт майже на 50%.

Важливим економічним аспектом є суттєве зменшення витрат: автоматичний контроль положення робочих органів знижує кількість непотрібних проходів, зменшує витрати пального та будівельних матеріалів, а обсяги геодезичних розбивочних робіт скорочуються майже вдвічі. У підсумку GPS-моніторинг та інтегровані системи автоматизованого контролю стають ключовими чинниками підвищення точності, економічності та конкурентоспроможності у транспортному будівництві.

GPS-системи моніторингу призначені для дистанційного відстеження місцезнаходження, технічного стану та параметрів роботи будівельної техніки. На робочі машини встановлюють приймачі GPS/GNSS та телематичні датчики, які у режимі реального часу передають інформацію до диспетчерських центрів або у хмарні сервіси. Це дозволяє комплексно контролювати ключові показники:

- координати та маршрути руху машин – визначаються з високою точністю та відображаються на цифровій карті будівельного майданчика;
- швидкість і режим руху – забезпечують можливість виявлення перевантажень та оптимізації графіків роботи;
- витрати пального – облік у русі та на холостому ході, що дозволяє скоротити непродуктивні витрати та запобігти крадіжкам;
- робочий час і простой – забезпечують детальне планування використання машин та аналіз ефективності;
- обсяг виконаних робіт – на основі GPS-даних є можливість обчислити фактичний обсяг переміщеного ґрунту та швидко сформувавши звітність.

Завдяки цьому GPS-моніторинг виконує низку важливих функцій (табл. 6.2) у механізованому транспортному будівництві:

- відстеження техніки – кожна машина у будь-який момент передає дані про своє місце розташування та режим роботи, що

мінімізує ризик несанкціонованого використання техніки, сприяє її оперативному переміщенню та запобігає випадкам крадіжки;

- контроль пального та експлуатаційних витрат – системи обліку дозволяють визначити витрати пального на кожну мотогодину, оцінити економічність роботи та виявити перевитрати;

- автоматизований облік обсягів робіт – за даними GPS легко визначити обсяг переміщеного ґрунту, площу обробленої ділянки та загальну продуктивність кожної машини, які можуть відобразитися у вигляді графіків та інтерактивних звітів, що полегшує планування логістики та ресурсів.

Таблиця 6.2

Функції GPS-систем для механізованих земляних робіт

Машина	Функції GPS	Очікуваний ефект	Вартість впровадження
Бульдозер	Контроль траєкторії руху, швидкості та обсягу переміщення ґрунту	Підвищення точності формування насипів, зменшення перевитрат матеріалу	Середня
Екскаватор	Відстеження циклів наповнення ковша та часу роботи	Планування робочого циклу, оптимізація продуктивності	Середня
Скрепер	Координація руху з іншими машинами, контроль маршруту перевезення	Зменшення порожніх пробігів, зниження витрат при транспортуванні ґрунту	Висока
Грейдер	Автоматизоване профілювання поверхні, контроль висотних відміток	Забезпечення точності проектного профілю без ручних вимірювань	Середня–висока

У результаті підприємства отримують централізований контроль парку машин: усі дані надходять в єдину базу та доступні диспетчерам та інженерам у режимі реального часу, що дозволяє одному оператору дистанційно координувати роботу десятків машин (рис. 6.3).



Рис. 6.3. Принцип роботи GPS-системи моніторингу будівельних машин

Сучасні системи автоматизованого керування землерийними машинами поєднують у собі декілька взаємодоповнювальних технологій: високоточну супутникову навігацію, лазерні та ультразвукові датчики, інерційні вимірювальні системи та спеціалізоване програмне забезпечення. Основна ідея полягає у тому, що на машині встановлюють комплекс датчиків і контролер з сенсорним дисплеєм, куди завантажується тривимірна цифрова модель ділянки (земельного полотна, насипу чи виїмки). У процесі роботи система порівнює фактичне положення робочого органа (відвалу, ковша, ножа) із заданим проєктним рельєфом і автоматично коригує гідравлічну систему машини для досягнення проєктних параметрів.

Такі комплекси зазвичай включають наступні компоненти:

- GNSS-контролери (3D-GPS/GNSS). Системи використовують технологію RTK-корекцій, що забезпечує міліметрову точність визначення координат по трьох осях. Наприклад, система Topcon 3D-MC Max mmGNSS поєднує GNSS-навігацію з міліметровим лазерним позиціонуванням, досягаючи виняткової вертикальної точності – до

кількох міліметрів. Це дозволяє повністю автоматизувати планові операції фрезерування, укладання та профілювання.

- Інерційні сенсори та гіроскопи. Для підвищення стабільності роботи встановлюються IMU (інерційні вимірювальні блоки) та датчики кутів повороту робочих органів. Їхня роль особливо важлива у складних умовах, де супутниковий сигнал нестабільний (у гірських ущелинах, щільній забудові або тунелях). Наприклад, у нових бульдозерах Komatsu D61i інерційний модуль IMU+ обробляє дані понад 100 разів на секунду, що забезпечує високу точність відстеження положення відвалу навіть за відсутності GPS-сигналу.

- Лазерні (LPS) та ультразвукові датчики. Застосовуються у випадках, коли немає надійного супутникового покриття або потрібно підтримувати високоточне положення горизонту. Лазерні «секторні» маяки та ультразвукові датчики дозволяють контролювати поперечний ухил та рівність поверхні. Так, модулі Topcon 3D-MC Max LPS успішно застосовуються на асфальтоукладальниках, забезпечуючи стабільну роботу навіть у тунельних спорудах, де GPS-навігація недоступна.

- Програмне забезпечення для підготовки і обробки проєктних даних. 3D-модель об'єкта (у форматі TIN, DWG або LandXML) готується у спеціалізованих програмних комплексах (Topcon Office, Trimble Business Center, Leica iCON office тощо) та завантажується у бортовий контролер машини. У кабіні оператор спостерігає кольорову індикацію відхилень від проєктного профілю та отримує підказки щодо положення робочого органа, без постійної участі геодезистів.

Приклади сучасних систем на міжнародному ринку (рис. 6.4):

- Trimble (GCS900, Trimble Earthworks) – інтегровані системи керування для бульдозерів, грейдерів та екскаваторів, орієнтовані на роботу з BIM-моделлями;

- Topcon (3D-MC, BladePro, 3D-MC Max) – універсальні рішення, які поєднують супутникове позиціонування з лазерними маяками, забезпечуючи міліметрову точність укладання матеріалу;

- Leica Geosystems (iCON iGG, iXE) – комплекси для грейдерів і екскаваторів, відомі широкими можливостями інтеграції в єдину систему цифрового будівництва.



Рис. 6.4. Інтегровані автоматизовані системи керування технікою

В Україні ці технології доступні завдяки представникам виробників, що дозволяє інтегрувати їх у транспортне будівництво. Разом з тим, можна зустріти і системи старого зразка, зокрема, комплекти «АКА-Дормаш» та системи «Автоплан-1» для бульдозерів, «Профіль-1/Профіль-2» для автогрейдерів. Вони базувалися на маятникових і лазерних датчиках та забезпечували автоматичне утримання відвалу в поперечній і поздовжній площинах. Хоча точність таких систем поступалася сучасним GPS-рішенням, вони стали важливим етапом розвитку автоматизації в дорожньому будівництві.

Автоматизовані системи GPS-контролю відкривають широкі можливості для підвищення ефективності будівельно-монтажних процесів при зведенні земляних споруд. Використання таких систем дає змогу не лише оптимізувати роботу машин, а й значно підвищити точність виконання проектних рішень.

По-перше, системи забезпечують автоматичне планування траєкторій руху машин. Так, бульдозери з функцією автопілота самостійно опускають і підіймають відвал на початку та в кінці кожного проходу, а під час руху автоматично регулюють кут зрізу

грунту. Це дозволяє уникати пробуксовування, зменшувати втрати енергії та досягати більш рівномірного зрізу відповідно до заданого ухилу. Завдяки автоматизації суттєво знижується навантаження на оператора, мінімізується вплив людського фактора, а виконання точного вирівнювання стає доступним навіть для менш досвідчених машиністів. Система в режимі реального часу підказує положення машини відносно проектної моделі, що гарантує високу якість робіт.

По-друге, застосування GPS-контролю забезпечує підтримання заданої товщини насипу або профілю з високою точністю. Наприклад, під час улаштування земляного полотна машина автоматично визначає необхідну висоту шару ґрунту за даними цифрової моделі та сигналізує про відхилення від плану. Це дозволяє своєчасно виявляти ділянки з недобором або перевищенням об'ємів ґрунту. У випадку формування дорожніх кюветів або поперечних ухилів грейдер отримує інформацію про поперечний кут, що дає можливість одразу створювати проектні контури без використання допоміжних маяків або додаткової розмітки.

По-третє, автоматизовані навігаційні системи практично усувають помилки при відновленні проектного рельєфу. Машини виконують роботи, орієнтуючись на цифрову модель в єдиній координатній системі, що забезпечує узгодженість дій на всьому майданчику. У порівнянні з традиційним вирівнюванням за відмітками або лінійними орієнтирами це дозволяє уникати накопичення похибок та отримувати готову поверхню з точністю до кількох сантиметрів, а в деяких випадках – навіть міліметрів.

Таким чином, практичне застосування автоматизованих систем GPS-контролю не лише підвищує продуктивність і якість робіт, а й скорочує терміни будівництва, оптимізує витрати пального і ресурсів, що є визначальним фактором для сучасного транспортного будівництва.

Структура системи GPS-контролю виконання земляних робіт зазвичай включає такі основні компоненти:

- датчики – GPS-приймачі, інерційні вимірювальні блоки, лазерні датчики (сенсори) ухилу, що фіксують просторове положення робочого обладнання машини;
- контролер – бортовий комп'ютер з дисплеєм для оператора,

який виконує порівняння фактичних даних з проєктною моделлю;

- канали зв'язку – радіомодеми або мобільний інтернет, що забезпечують обмін даними у режимі реального часу;
- центральний сервер – база даних, де зберігаються цифрова модель рельєфу, проєктні показники та результати виконаних робіт.

Принципова схема функціонування виглядає наступним чином: датчики → контролер → моніторинг на дисплеї → база даних.

У процесі роботи датчики реєструють просторове положення відвалу чи ковша у глобальній системі координат (наприклад, WGS84) та передають інформацію до контролера. Останній порівнює поточні дані з цифровою моделлю проєктного рельєфу, а результати відображаються на екрані в кабіні машини.

Сучасні телематичні рішення дозволяють не лише відстежувати положення машини, але й збирати «сиру» інформацію – координати, витрати пального, рівень навантаження тощо. Уся інформація передається до централізованої бази даних, де може аналізуватися фахівцями у режимі офісного моніторингу або з мобільних пристроїв. Це забезпечує прозорість та керованість усього комплексу робіт.

Важливим інструментом є візуалізація траєкторій руху машин на майданчику. Так, у системах типу Leica iCON оператор у кабіні бачить на дисплеї кольорову карту з нанесеним проєктним контуром і фактичними «слідами» роботи відвалу чи ковша. Завдяки цьому можна одразу визначити місця надлишкового або недостатнього нарощення ґрунту. Крім того, GPS-системи автоматично фіксують так звані as-built дані – фактичні координати рельєфу після проходження машини.

Це дозволяє безпосередньо в процесі виконання робіт оцінювати якість вирівнювання і контролювати відповідність готової поверхні проєкту (рис. 6.5). А отже, схемні рішення та практичні приклади підтверджують ключову перевагу GPS-систем – інтеграцію процесів проєктування, контролю і моніторингу в єдиному інформаційному середовищі, що є основою цифрового будівництва.

Використання GPS-контролю та автоматизованого керування в земляних роботах забезпечує техніко-економічні та організаційні переваги, які впливають на якість та ефективність будівництва.



Рис. 6.5. Приклад візуалізації роботи грейдера з GPS-навігацією

Серед основних переваг можна виокремити наступні.

1. Зростання продуктивності. Практика свідчить про суттєве підвищення ефективності роботи землерийних машин завдяки інтеграції GPS-систем. Наприклад, під час експлуатації бульдозера Komatsu D611 з вбудованим GPS-драйвом зафіксовано близько 13% приросту продуктивності на етапі грубого відсіпання ґрунту. Ще більш відчутні результати отримано під час виконання робіт з фінішного профілювання: компанія Eurovia повідомляє про приблизно 50% підвищення продуктивності при застосуванні системи Trimble GCS900. В середньому, організації відзначають, що використання автоматизованих систем дає 15–25% економії часу та робочих ходок, що безпосередньо зменшує тривалість будівельного циклу.

2. Зниження собівартості робіт. Завдяки високій точності позиціонування машин за 3D-моделлю скорочуються втрати матеріалів і трудові витрати. Система автоматично визначає необхідну глибину зрізу ґрунту, уникаючи зайвих переміщень і перевитрат. Це дозволяє зменшити обсяги транспортування ґрунту та необхідність у його додатковій обробці. Крім того, використання GPS-інтерфейсу

знижує потребу в інтенсивному геодезичному супроводі: замість регулярного винесення відміток на місцевості оператор орієнтується за даними в кабіні машини. Скорочуються витрати на геодезичні роботи та зменшується потреба у залученні додаткового персоналу.

3. Дистанційний моніторинг і аналітика. Інтеграція телематичних рішень дозволяє здійснювати контроль за роботою техніки у режимі реального часу, навіть на значній відстані від об'єкта. Завдяки GPS-моніторингу можна відстежувати місцезнаходження кожної машини, оцінювати ефективність роботи машиністів, контролювати пробіг і простої. Функція віртуальних «геозон» повідомляє про вихід техніки за межі ділянки, що підвищує рівень безпеки й дисципліни. Навіть за відсутності інтернет-з'єднання накопичені дані зберігаються та синхронізуються із сервером пізніше, формуючи повну історію виконаних робіт. Це дає можливість своєчасно прогнозувати потреби у технічному обслуговуванні, оцінювати фактичну продуктивність та приймати управлінські рішення на основі реальних показників.

4. Підвищення рентабельності та безпеки. Використання систем GPS-контролю мінімізує ризики простоїв, крадіжок або нецільового використання техніки. У підсумку підприємство отримує зниження експлуатаційних витрат, оптимізацію використання ресурсів та підвищення економічної ефективності будівельного проєкту.

Впровадження GPS-контролю і автоматизованих систем керування у земляні роботи забезпечує поєднання продуктивності, точності та економічності, що робить їх невід'ємним елементом сучасного транспортного будівництва та відповідає тенденціям цифровізації (табл. 6.3). Практика підтверджує, що такі системи підвищують якість формування рельєфу, оптимізують використання пального, матеріалів та робочого часу, а також забезпечують прозорість і керованість процесів завдяки дистанційному моніторингу та автоматичній фіксації результатів. Крім того, вони інтегрують будівельні операції у цифрове середовище «розумного будівельного майданчика», що створює основу для подальшого розвитку галузі. У перспективі застосування таких систем стане не лише конкурентною перевагою, а й обов'язковою умовою якісного та ефективного дорожнього будівництва.

Традиційні та автоматизовані методи земляних робіт

Критерій	Традиційні методи	Застосування GPS та автоматизованих систем керування
Точність профілювання	±5–8 см	±2–3 см, стабільне дотримання проєктних відміток
Витрати пального	Вищі на 10–15% через нераціональні робочі ходи	Оптимізовані, економія до 12–18%
Продуктивність	Базовий рівень, залежний від досвіду оператора	Зростає в середньому на 15–25%
Контроль обсягів робіт	Виконується вручну, похибка до 10%	Автоматизований контроль з похибкою 2–3%
Виконавча документація	Паперові журнали та акти, ручне внесення даних	Автоматична електронна звітність з прив'язкою до цифрової моделі
Організація будівельного процесу	Вимагає постійної присутності геодезистів, значні витрати на розмітку	Зменшення потреби у геодезичному супроводі, робота за даними 3D-моделі
Прозорість і моніторинг	Обмежений, контроль переважно візуальний	Дистанційний моніторинг техніки, телематика, «геозони»
Гнучкість управління	Обмежена можливість оперативних змін	Миттєве оновлення цифрових моделей, інтеграція у BIM-середовище

Водночас для ефективного застосування цих систем необхідно розуміти принципи їх роботи, можливі джерела похибок та вимоги до безпеки. Так, глобальна навігаційна супутникова система (GPS) ґрунтується на принципі трilaterації: приймач визначає власні координати, обчислюючи відстань до кількох супутників за часом проходження їхніх сигналів. У диференціальному режимі (DGPS) застосовуються лише кодові вимірювання, що забезпечують точність близько одного метра. У режимі RTK (Real-Time Kinematic) до розрахунків залучаються також фазові характеристики несучої хвилі,

що надає можливість зменшити похибку до сантиметрів або навіть міліметрів. На будівельному майданчику використовується базова станція з відомими координатами, яка передає сигнали корекції роверному приймачу. Завдяки цьому уточнення положення відбувається у реальному часі з високою точністю. Сучасні GNSS-приймачі здатні працювати одночасно з кількома системами – GPS, Galileo, BeiDou, що підвищує швидкість отримання результатів та їхню стійкість у складних умовах (гірські райони, щільна міська забудова). Застосування RTK дає можливість виконувати геодезичну розбивку невеликим числом інженерів без залучення великих бригад, що підвищує продуктивність.

Інформаційне моделювання будівництва (BIM) дедалі активніше інтегрується у сферу земляних робіт, забезпечуючи комплексний підхід до планування, організації та контролю будівельного процесу. Об'єднання в єдиній координатній системі проектних рішень щодо транспортних споруд, інженерних мереж і рельєфу створює можливість для узгодженого використання даних усіма учасниками проекту, знижує ймовірність технічних помилок та ризик аварійних ситуацій.

Цифрові моделі рельєфу (DEM/ЦМР), сформовані на основі аерофотозйомки безпілотними літальними апаратами або результатів лазерного сканування, дають можливість швидко отримати високоточні тривимірні моделі будівельного майданчика. Такі моделі інтегруються у BIM-середовище та накладаються на проектні поверхні, що дозволяє здійснювати контроль відповідності фактичних робіт проектним даним, виконувати точний розрахунок обсягів переміщення ґрунту та своєчасно коригувати технологічні процеси (рис. 6.6).

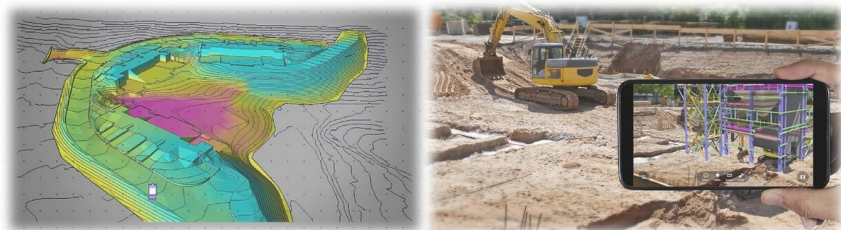


Рис. 6.6. Інтеграція BIM-технологій у транспортне будівництво

Поєднання BIM та DEM утворює єдину інформаційну платформу управління будівництвом. Це створює умови для автоматизації планування, оптимізації логістики, підвищення прозорості та ефективності моніторингу. Крім того, використання таких технологій сприяє суттєвому скороченню термінів будівництва, зменшенню витрат ресурсів і підвищенню загальної якості робіт.

Попри високу точність, результати супутникових вимірювань можуть спотворюватися під дією атмосферних затримок, похибок супутникових годинників або ефемерід, а також багатошляхових відбиттів сигналу (мультипату). У міських умовах це явище може призвести до відхилень на десятки сантиметрів і більше. Для зменшення впливу застосовуються спеціальні антени з придушенням відбитих сигналів та правильне розташування базових станцій у відкритій зоні. У випадку втрати корекційного сигналу система переходить у диференціальний режим з похибкою до кількох метрів, що потребує резервних алгоритмів контролю або ручного втручання. Важливим аспектом безпеки є інтеграція GNSS-засобів з BIM-моделлю, яка містить точні координати підземних комунікацій, що унеможливує їхнє випадкове пошкодження під час земляних робіт.

Використання GPS/RTK у складі технологічної карти земляних робіт здійснюється поетапно. На першому етапі проводиться топографічна зйомка будівельного майданчика з формуванням цифрової моделі рельєфу. Далі створюється 3D-модель земляних робіт у CAD/BIM-середовищі, яка інтегрується з прийнятою системою координат. Наступний крок – це підготовка будівельних машин: завантаження проектних поверхонь у формат, сумісний з системами машинного контролю, та налаштування зв'язку з RTK-станцією.

Під час виконання операцій оператор техніки орієнтується на дисплей, де відображається положення робочого обладнання відносно проекту, що дозволяє здійснювати роботи з високою точністю без додаткових нівелірів і шаблонів. Завершальний етап – це контроль результатів: повторні вимірювання будівельного майданчика та їхнє співставлення з проектною моделлю. За потреби вносяться корективи, що гарантує мінімальну похибку і високу якість виконання (табл. 6.4).

Таблиця 6.4

Використання GPS/RTK у земляних роботах

Аспект застосування	Характеристика	Очікуваний ефект
Принцип дії	Визначення координат методом трилатерації, у режимі RTK – використання фазових вимірювань і сигналів базової станції	Точність у реальному часі 2–3 см
DGPS vs RTK	DGPS – корекція кодових вимірювань (точність ~1 м), RTK – корекція фазових вимірювань (точність до см)	Різний рівень придатності: DGPS – попередні роботи, RTK – виконання і контроль
ВІМ та цифрові моделі рельєфу	Використання DEM/ЦМР та 3D-моделей в єдиній системі координат	Узгодженість даних, автоматизація планування
Основні переваги	Підвищення точності та якості робіт, оптимізація витрат ресурсів, дистанційний контроль, інтеграція у цифрове середовище	Продуктивність + економічність
Джерела похибок	Атмосферні затримки, помилки еферемід, мультипут (відбиття сигналу), втрати корекційного зв'язку	Відхилення від 0,02 м до кількох метрів
Методи зниження похибок	Розташування базових станцій у відкритій місцевості, використання спеціальних антен, комбінування із ВІМ	Стабільна якість даних
Інтеграція у технологічний процес	Топозйомка → створення ЦМР → проектування 3D-моделі → завантаження у систему керування машинами → виконання → контроль	Цифровий замкнений цикл будівництва

Аспект застосування	Характеристика	Очікуваний ефект
Безпека	Виявлення підземних комунікацій у BIM, автоматизоване обмеження руху техніки	Зниження ризиків аварій

6.3. Технології сталого розвитку у транспортному будівництві

Транспортне будівництво належить до найбільш ресурсоємних галузей сучасної інженерної діяльності. Прокладання автомобільних доріг, спорудження земляного полотна, улаштування насипів і виїмок потребують значних обсягів ґрунту, будівельних матеріалів та енергетичних ресурсів. У таких умовах особливого значення набуває досягнення раціонального балансу між економічними, екологічними та соціальними потребами, що є основою концепції сталого розвитку.

Для майбутніх фахівців у сфері транспортного будівництва, прикладної механіки, машинобудування та експлуатації спеціалізованої техніки важливим є інтегроване використання знань з різних напрямів науково-технічної діяльності, зокрема:

- механіки ґрунтів – для визначення несучої здатності та забезпечення стійкості земляних споруд;
- машинобудування та прикладної механіки – для обґрунтування вибору, удосконалення та раціональної експлуатації дорожньо-будівельних машин і механізмів;
- логістики та організації виробництва – для оптимізації транспортування, зберігання, повторного використання та переробки матеріалів;
- техніко-економічного аналізу – для оцінки вартості, ефективності та екологічного впливу різних технологічних рішень;
- охорони праці та промислової безпеки – для створення безпечних і надійних умов виконання земляних робіт.

Як свідчать результати наукових досліджень і практичного досвіду, впровадження принципів сталого розвитку в транспортне будівництво забезпечує досягнення низки важливих результатів:

- зменшення енергоспоживання завдяки застосуванню енергоощадних машин та оптимізації технологічних процесів;
- скорочення викидів вуглекислого газу та інших шкідливих сполук за рахунок зниження обсягів транспортування матеріалів і використання промислових відходів як вторинних ресурсів;
- підвищення рівня повторного використання місцевих ґрунтів та будівельних матеріалів, що зменшує залежність від привізних інертних ресурсів і дозволяє суттєво знизити собівартість робіт.

Таким чином, інтеграція знань з механіки, машинобудування, логістики та економіки у поєднанні з екологічно орієнтованими технологіями створює нову модель підготовки фахівців у галузі транспортного будівництва. Ця модель відповідає сучасним викликам сталого розвитку, забезпечуючи комплексне поєднання технічної ефективності, економічної доцільності та екологічної відповідальності.

Важливим завданням постає розуміння принципів енергетичної ефективності сучасної будівельної техніки. Земляні роботи традиційно відзначаються високим рівнем енергоспоживання, оскільки значна частина операцій виконується потужними машинами, що працюють на дизельному паливі. За оцінками, близько 88% загальних енерговитрат у цій сфері припадає саме на експлуатацію важкої техніки – екскаваторів, бульдозерів, скреперів і автосамоскидів. Це безпосередньо впливає як на економічні показники будівництва, так і на рівень викидів вуглекислого газу CO₂ та інших забруднюючих речовин.

Одним з напрямків підвищення ефективності є оновлення машинного парку. Використання застарілої техніки призводить до перевитрат пального, зростання експлуатаційних витрат і погіршення екологічних показників. Однак передбачається широке впровадження гібридних та електричних силових установок (табл. 6.5).

- Гібридні машини. Прикладом є гібридні екскаватори, у яких реалізовано системи рекуперації енергії, зокрема під час опускання стріли. Такі конструктивні рішення дозволяють економити до 15% пального порівняно з традиційними дизельними машинами.

- Електрична спецтехніка. Повністю електрифіковані бульдозери, навантажувачі та інші види будівельної техніки практично

усувають локальні викиди: їх робота супроводжується нульовим рівнем вуглекислого газу. Це робить їх особливо доцільними для використання у міських зонах, поблизу житлової забудови або на об'єктах, де висувуються підвищені екологічні вимоги.

- Технічне обслуговування. Електрообладнання має меншу кількість рухомих частин, що знижує потребу у регулярному ремонті й технічному обслуговуванні, а також подовжує загальний життєвий цикл машин – надійність та довговічність.

Таблиця 6.5

Енергоефективність машин для земляних і дорожніх робіт			
Тип машин	Джерело енергії	Рівень викидів CO ₂	Енергоефективність
Дизельні (екскаватори, бульдозери, автосамоскиди, скрепери)	Дизельне паливо	Високий, до 88% загального споживання енергії в земляних роботах	Середня, залежить від стану і конструкції двигуна; економія до 10–15% пального
Гібридні (екскаватори з рекуперацією енергії, навантажувачі)	Дизель + електромотор (рекуперація)	На 10–20% нижчий порівняно з дизельними машинами	Економія палива до 15% завдяки електроприводу та рекуперації
Дизель-електричні (кар'єрні автосамоскиди, екскаватори)	Дизельний двигун-генератор + тягові електродвигуни	Нижчий за класичні дизельні аналоги, економія палива до 20%	Висока, дизель працює у сталому режимі, оптимальне використання потужності
Електричні (навантажувачі, бульдозери, катки, дорожні грейдери)	Акумулятор, стаціонарне підключення до мережі	Нульовий рівень локальних викидів	Дуже висока, електропривід у 2–3 рази ефективніше за двигун внутрішнього згорання

- Шум і безпека. Електрична техніка відзначається низьким рівнем шумового навантаження. Це сприяє підвищенню комфорту та безпеки праці робітників, а також зменшує негативний вплив на навколишнє середовище у межах населених пунктів.

Ефективна логістика є ключовою передумовою сталого розвитку у сфері земляних робіт транспортного будівництва. Вона визначає рівень економічності, екологічності та безпеки реалізації проєктів. Одним з базових завдань логістики є раціональне балансування обсягів виїмки і насипу. Чим більш гармонійно розподілені ґрунтові маси в межах будівельного майданчика, тим менша потреба у додатковому вивезенні чи підвозі ґрунту. Це дозволяє зменшити експлуатаційні витрати, скоротити споживання пального та знизити вплив на довкілля.

На сучасному етапі проєктування все ширше застосовуються цифрові інструменти – інформаційні моделі місцевості (BIM, GIS), а також методи імітаційного моделювання, що забезпечують прогнозування й оптимізацію технологічних схем. Це дає можливість ще на стадії планування визначати раціональні траси переміщення будівельної техніки, ухили, конфігурацію насипів та виїмок.

Основні напрями оптимізації:

- балансування виїмки та насипу – детальне проєктування обсягів ґрунтових мас дозволяє звести до мінімуму обсяги перевезень ґрунту за межі об'єкта;

- оптимальні маршрути будівельної техніки – розроблення ефективних схем руху автосамоскидів, скреперів, навантажувачів тощо, визначення безпечних ухилів та мінімальних радіусів повороту зменшує втрати часу і витрати пального;

- менеджмент і Lean-технології – інтегроване планування з використанням BIM-технологій та принципів Lean Construction забезпечує узгодженість дій усіх учасників, скорочення простоїв та запобігання відмовам у роботі машин.

Кожне технологічне рішення у транспортному будівництві повинно ґрунтуватися на підтвердженій економічній доцільності. Техніко-економічний аналіз при цьому виступає ключовим інструментом, оскільки охоплює оцінку повних витрат життєвого

циклу об'єкта (Life Cycle Cost – LCC). До структури входять не лише початкові капітальні вкладення на придбання та монтаж обладнання, але й витрати на експлуатацію та технічне обслуговування, ремонт та модернізацію, енерговитрати впродовж усього періоду використання, платежі, пов'язані з утилізацією відпрацьованої техніки та матеріалів, і витрати на екологічні збори, штрафи або компенсаційні заходи.

Прикладом застосування LCC-аналізу є порівняння електричних і дизельних будівельних машин. Хоча електричні аналоги мають вищу початкову вартість придбання, їх подальша експлуатація характеризується низкою переваг:

- відсутність або мінімізація витрат на паливо;
- зменшення потреби у технічному обслуговуванні за рахунок меншої кількості рухомих вузлів;
- нижчий рівень шуму та викидів, що підвищує екологічну й соціальну ефективність проекту;
- можливість інтеграції з відновлюваними джерелами енергії (сонячні або вітрові станції на будівельних майданчиках).

У сукупності ці фактори забезпечують значну економію впродовж усього життєвого циклу будівельної техніки, а також створюють додаткові конкурентні переваги для підрядних організацій, орієнтованих на принципи сталого розвитку.

Особливої уваги потребує використання вторинних ресурсів – промислових відходів (золи, шлаків, вапняних залишків тощо), які можуть частково або повністю замінювати традиційні ґрунтові та інертні матеріали. Застосування таких ресурсів сприяє скороченню використання природної сировини, проте потребує поглибленого аналізу довговічності та безпечності конструкцій, що створюються.

Основні аспекти техніко-економічного аналізу:

- життєвий цикл об'єкта – слід враховувати сукупні витрати на стадіях будівництва, експлуатації, ремонту та утилізації споруди, а також екологічні платежі;
- використання вторинних матеріалів – порівнюється собівартість застосування рециркулятив і традиційних матеріалів з урахуванням витрат на їх переробку, контроль якості та відповідність нормативам;

- експлуатаційні витрати – оцінюється споживання палива, електроенергії та вартість обслуговування техніки, з урахуванням тенденцій переходу на електрифіковані та гібридні будівельні машини.

Соціальна складова сталого розвитку у транспортному будівництві насамперед пов'язана з безпекою та умовами праці персоналу. Розвиток автоматизованих та дистанційно керованих систем значно знижує ризик виробничого травматизму. Використання GPS-навігації та систем автопілота у бульдозерах і грейдерах дозволяє мінімізувати перебування працівників у небезпечній зоні.

Додатковою перевагою електричної будівельної техніки є зниження шумового навантаження на робітників і населення прилеглих територій, відсутність шкідливих викидів. Необхідно передбачати системи пиловловлювання, захисні огороження, інженерні рішення для стабілізації схилів і укосів. Важливою складовою є також навчання персоналу за допомогою сучасних методів: цифрових інструкцій, відеотренінгів та симуляторів технологічних операцій.

Застосування електричних будівельних машин сприяє зниженню рівня шумового навантаження на персонал, що суттєво зменшує ризик професійних захворювань органів слуху. Розрахунок параметрів укосів і фундаментів забезпечує стабільність конструкцій та створює безпечні умови виконання робіт. Цьому ж сприяє систематичне підвищення кваліфікації працівників, дотримання правил техніки безпеки.

Таким чином, міждисциплінарний підхід забезпечує реалізацію принципів сталого розвитку і підвищення ефективності земляних робіт у транспортному будівництві на сучасному етапі (рис. 6.7).

Використання методів механіки ґрунтів і чисельного моделювання (метод скінченних елементів, геотехнічне моделювання) дозволяє прогнозувати поведінку ґрунту при навантаженнях. Це необхідно для правильного вибору технологій розробки, зменшення ризику деформацій і забезпечення надійності земляного полотна.

На основі законів прикладної механіки визначаються граничні кути укосів, коефіцієнти запасу стійкості, умови виникнення зсувів. Це водночас дозволяє проєктувати безпечні та довговічні конструкції, що мінімізують ризики аварійних ситуацій на будівельному майданчику.

Впровадження систем автоматизації, GPS-навігації та автопілота у будівельні машини підвищує точність та ефективність виконання земляних робіт, зменшуючи вплив людського фактора. При цьому машинобудування забезпечує створення спецтехніки з гібридними та електричними приводами, системами рекуперації енергії та зниженими експлуатаційними витратами.

Спеціалісти відповідають за врахування результатів прикладної механіки і машинобудування в комплексних проектних рішеннях, що забезпечує узгодженість усіх етапів будівництва. А використання сучасних методів та матеріалів вимагає відповідності державним і міжнародним стандартам, що регулюють транспортне будівництво, та гарантується мінімізація впливу на довкілля через рекультивацію земель, захист водних ресурсів і скорочення викидів.

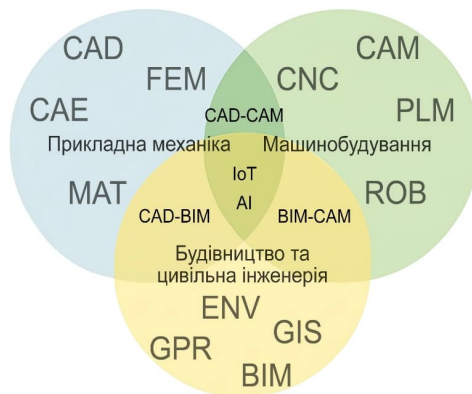


Рис. 6.7. Інтеграція спеціальностей у системі сталого розвитку: CAD – комп’ютерне проєктування; CAE – інженерний аналіз; FEM – розрахунки напружено-деформованого стану; MAT – моделювання властивостей матеріалів; CAM – автоматизоване виробництво; CNC – верстати з числовим програмним керуванням; PLM – управління життєвим циклом машин; ROB – роботизація процесів; BIM – інформаційне моделювання будівель і споруд; GIS – геоінформаційні системи; GPR – георадарні технології; ENV – екологічний моніторинг; CAD-BIM – цифрові моделі для проєктування споруд; CAD-CAM – інтеграція від проєктування до виготовлення; BIM-CAM – застосування будівельних моделей у виробництві техніки; IoT / AI – спільна цифрова платформа

Разом з тим, завдяки поєднанню геомеханічних розрахунків, розробці ефективної будівельної техніки та проектним рішенням досягається баланс ґрунтових мас, що скорочує обсяги перевезень. Приклади застосування BIM/GIS ілюструють користь міждисциплінарного підходу. Наприклад, при у транспортних проєктах BIM-моделювання земляного полотна (разом із топографічними даними GIS) забезпечує візуалізацію та обчислення обсягів насипів/виїмок, оптимізує кошториси і графіки робіт. Це дозволяє залучити знання та вміння фахівців різних напрямків на єдиній цифровій платформі.

Розробляють керовані системи та автоматизацію обладнання землерийних машин. Сучасні екскаватори і бульдозери оснащують GPS-навігаторами і системами контролю, що дозволяють виконувати земляні роботи з високоточним наведенням. Моделюють і оптимізують параметри гідравлічних приводів та механічних компонентів для ефективнішої роботи ґрунтознімачів. Також розвиваються роботизовані засоби: наприклад, автономні бульдозери з системами машинного зору й аналізом рельєфу, що інтегрують знання всіх трьох спеціальностей.

Просторові дані геоінформаційних систем застосовують для трасування доріг та залізниць з урахуванням рельєфу, гідрології, природоохоронних зон тощо. Використання геоінформаційних систем координується з BIM-моделями: наприклад, атрибутивні дані про ґрунти, водні джерела й дороги з'єднуються з BIM-моделлю проєкту, що дозволяє виявляти конфлікти (перетин інженерних мереж, водних потоків) та коригувати проєкт ще на стадії підготовки.

Після завершення земляних робіт застосовують моніторинг стану споруд та оптимізацію процесів обслуговування. За допомогою геодезичних приладів та безпілотних літальних апаратів контролюють осідання конструкцій, усувають напруження. Інформаційні системи BIM/GIS використовуються для управління дорожнім фондом та планування ремонтних робіт, передбачаючи графіки оновлення ґрунтових насипів та капітального ремонту.

Водночас у транспортному будівництві геоінформаційні системи (GIS) не становлять самостійної спеціалізації, а виконують роль інструментальної технології. Їх застосування зосереджується на

практичних завданнях: проведенні геодезичних вимірювань, трасуванні автомобільних доріг та залізниць, моніторингу стану земляних споруд, організації й управлінні будівельними майданчиками. Для здобувачів спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія» GIS виступають передусім допоміжним засобом вирішення інженерних завдань. Натомість поглиблене опанування принципів побудови, розроблення та адміністрування геоінформаційних систем є предметною областю спеціальності «Геоінформаційні системи і технології».

Взаємодія спеціальностей (див. рис. 6.7) у межах транспортного будівництва формує міждисциплінарні зв'язки, які забезпечують інтеграцію сучасних цифрових технологій у практику проєктування, зведення та експлуатації інженерних споруд. Кожна зі спеціальностей робить власний внесок, а їх поєднання створює нові напрями розвитку.

1. Перетин «Прикладна механіка» та «Машинобудування» → CAD–CAM. Прикладна механіка забезпечує фундаментальні наукові засади для створення розрахункових моделей, визначення міцнісних характеристик матеріалів, моделювання динаміки машин і механізмів. Машинобудування, своєю чергою, концентрується на технологіях виготовлення, методах обробки матеріалів та проєктуванні машинобудівних систем. На стику цих знань формується інтеграція CAD–CAM технологій (Computer-Aided Design & Computer-Aided Manufacturing), що дозволяє не лише створювати високоточні цифрові моделі, але й забезпечувати автоматизоване виготовлення деталей та вузлів.

2. Перетин «Прикладна механіка» та «Будівництво та цивільна інженерія» → CAD–BIM. Розрахункові методи прикладної механіки використовуються у будівництві для аналізу напружено-деформованого стану споруд, визначення параметрів стійкості укосів, фундаментів та інших елементів транспортної інфраструктури. Ці результати інтегруються у цифрові моделі будівельних об'єктів. Таким чином, поєднання технологій CAD (деталізація і параметризація конструкцій) та BIM (Building Information Modeling – комплексне інформаційне моделювання об'єктів) дає можливість створювати не лише геометрично точні моделі, але й наповнені інженерними характеристиками, що підвищує якість управління будівельними процесами.

3. Перетин «Машинобудування» та «Будівництво та цивільна інженерія» → BIM–CAM. Машинобудування розробляє засоби механізації та автоматизації виробничих процесів, у тому числі для будівельної галузі. Будівництво та цивільна інженерія застосовує ці технології для зведення, монтажу та обслуговування споруд. У результаті формується інтеграційна модель BIM–CAM, що поєднує інформаційне моделювання будівельних об'єктів з технологіями виготовлення та монтажу машин і конструкцій. В свою чергу, це забезпечує наскрізний цифровий зв'язок між проектними рішеннями і виробничими процесами.

4. Центральна зона перетину → IoT та AI. На перетині трьох спеціальностей виникає потреба у використанні інтелектуальних цифрових технологій, які об'єднують результати проектування, виробництва та будівництва. Це, зокрема:

- IoT (Internet of Things) – застосування сенсорних систем і «розумних» пристроїв для моніторингу стану техніки, споруд та будівельних процесів у реальному часі;

- AI (Artificial Intelligence) – використання методів штучного інтелекту для прогнозування, оптимізації параметрів проєктів, управління машинними комплексами та підвищення безпеки будівельного виробництва.

Центральна синергія цих спеціальностей формує основу концепції «розумного транспортного будівництва», де проектування, будівництво і експлуатація об'єктів інтегруються у єдину цифрову екосистему, що відповідає вимогам сталого розвитку та сучасних стандартів інженерної освіти.

Запитання для самоконтролю

1. Які основні типи геосинтетичних матеріалів застосовують у земляних спорудах та їх призначення?

2. Які фактори визначають вибір геосинтетичних матеріалів для насипів на слабких ґрунтах?

3. Як геомембрани запобігають фільтрації та просочуванню ґрунтових вод?

4. Поясніть принцип зміцнення насипів за допомогою геотекстилю.

5. Які механічні характеристики георешіток впливають на стабільність насипів?

6. Опишіть технологію армування ґрунту з використанням геосинтетичних матеріалів.

7. Як геокомпозити підвищують довговічність та стійкість земляних споруд?

8. Які сучасні інноваційні рішення в геосинтетичних матеріалах підвищують ефективність дорожніх насипів?

9. Поясніть принцип роботи GPS-контролю у транспортному будівництві.

10. Як автоматизовані системи керування підвищують точність укладання ґрунту та асфальту?

11. У чому відмінність систем GPS/RTK від звичайного GPS для будівельної техніки?

12. Як датчики положення і нахилу оптимізують робочий цикл машин?

13. Які переваги мають автоматизовані грейдери з GPS-контролем?

14. Як інтеграція GPS і BIM-технологій впливає на планування земляних робіт?

15. Які принципи сталого розвитку застосовують у сучасному транспортному будівництві?

16. Як переробка ґрунтів та вторинних матеріалів сприяє екологічності робіт?

17. Яке значення має зменшення енергоспоживання дорожньо-будівельних машин для сталого розвитку?

18. Які технології знижують викиди вуглекислого газу CO₂ під час будівництва доріг?

19. Як екологічне проєктування впливає на вибір технології земляних робіт?

20. Наведіть приклади використання відновлюваних матеріалів у дорожньому будівництві.

Список літератури

1. Балака М. М., Кім А. О., Міщук Д. О., Ходневич М. М. Особливості робочого циклу і організації скреперних робіт. *Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України: тези доп. Міжнар. наук.-практ. онлайн конф. (23–24 верес. 2021 р.)*. Київ: НУБіП України, 2021. С. 16–18.
2. Блохін В. С., Маліч М. Г. Основні параметри технологічних машин. *Машини для земляних робіт: навч. посіб. У 2 ч. Ч. 1*. Київ: Вища школа, 2006. 407 с.
3. Блохін В. С., Маліч М. Г. Основні параметри технологічних машин. *Машини для земляних робіт: навч. посіб. У 2 ч. Ч. 2*. Київ: Вища школа, 2009. 455 с.
4. Горбатюк Є., Балака М., Литвинюк Д., Тіняков О. Використання механізованих комплексів при виконанні демонтажних робіт на пошкоджених об'єктах нерухомості. *Енергоощадні машини і технології: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. (20–21 трав. 2025 р.)*. Київ: КНУБА, 2025. С. 117–120.
5. Данильченко М., Горбатюк Є., Міщук Д. Концепція системи «розумного» виробництва на основі ІоТ. *Енергоощадні машини і технології: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. (20–21 трав. 2025 р.)*. Київ: КНУБА, 2025. С. 108–110.
6. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Чинний 2022-03-01. Київ: Мінрегіон України, 2015. 76 с.
7. Дмитрієв М. М., Гамеляк І. П., Дмитриченко А. М., Журавський Д. Л. Системні аспекти будівництва, ремонту та реконструкції автомобільних доріг та аеродромів. *Технологічні карти: навч. посіб.* Київ: НТУ, 2017. 244 с.
8. Ілляш К. О., Каськів В. І., Нагайчук В. М., Рибальченко С. А., Цинка А. О. Будівництво цементобетонних доріг для місцевих громад. *Зелена книга: посіб. / За ред. А. О. Безуглого*. Київ: ДП «ДерждорНДІ», 2020. 46 с.

9. Кизима В. П., Ткачук М. М., Куковський А. Г., Громадченко В. Ю. Технологія виконання та проектування земляних робіт у будівництві: навч. посіб. Тернопіль: Підручники і посібники, 2011. 448 с.
10. Кизима В. П., Ткачук М. М., Куковський А. Г., Громадченко В. Ю., Яковчук В. В. Технологія земляних робіт у будівництві: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2013. 425 с.
11. Кизима В. П., Яковчук В. В. Механізація земельних робіт у будівництві. Тернопіль: Підручники і посібники, 2010. 255 с.
12. Кривенко П. В., Пушкарьова К. К., Барановський В. Б., Кочевих М. О., Гасан Ю. Г., Константинівський Б. Я., Ракша В. О. Будівельне матеріалознавство: підручник. Київ: Ліра-К, 2012. 624 с.
13. Машини, процеси, екологія, економіка та технологія будівництва (теорія, експеримент, ефективність застосування): колективна монографія / уклад. І. І. Назаренко; Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури [та ін.]. Київ: Людмила, 2020. 243 с.
14. Міщук Д. О., Балака М. М. Моделювання розподілення енергетичних потоків машин та механізмів: конспект лекцій. Київ: КНУБА, 2023. 132 с.
15. Міщук Д. О., Міщук Є. О., Балака М. М. Міждисциплінарна освіта – запорука сталого розвитку суспільства. *MoodleMoot Ukraine 2024. Теорія і практика використання системи управління навчанням Moodle*: матеріали 12-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (31 трав. 2024 р.). Київ: НАПН України, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. URL: <https://2024.moodlemoot.in.ua/course/view.php?id=13>.
16. Міщук Є., Міщук Д. Системи промислової автоматизації на основі ІоТ. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2022. Вип. 96. С. 42–50. DOI: <https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.96.0501>.
17. Назаренко І. І., Кузьмінець М. П., Онищенко А. М., Гаркуша М. В. Механізація процесів будівництва доріг з цементобетонним покриттям: підручник. У 2 ч. Ч. 2. Київ: МП Леся, 2017. 324 с.
18. Піндус Б. І., Гончаренко В. В. Проектування автомобільних доріг: навч. посіб. Горлівка: АДІ ДВНЗ ДонНТУ, 2013. 244 с.

19. Рашківський В. П., Балака М. М. Винахідницько-пошукова робота у науковій діяльності та міжнародне співробітництво. Київ: КНУБА, 2021. 44 с.
20. Рашківський В., Тетерятник О., Балака М., Федішин Б. Аналіз технологій відновлення підземних комунікацій та шляхи вирішення можливих ускладнень. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2023. Вип. 101. С. 44–52. DOI: <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2023.101.0401>.
21. Савенко В. Я., Славінська О. С., Усиченко О. Ю., Феценко Г. М. Технологія будівництва дорожніх одягів автомобільних доріг: навч. посіб. Київ, 2021. 246 с.
22. Сукач М. К. Будівельні машини і обладнання: підручник. Київ: Ліра-К, 2016. 416 с.
23. Сукач М. К. Практикум із землерийних і дорожніх машин: навч. посіб. Київ: МП Леся, 2016. 677 с.
24. Сукач М. К., Горбатюк Є. В., Марченко О. А. Синтез землерийної і дорожньої техніки: підручник / За ред. М. К. Сукача. Київ: Ліра-К, 2017. 376 с.
25. Сукач М. К., Комоцька С. Ю., Балака М. М. Будівельні машини і обладнання. Практикум: навч. посіб. Київ: КНУБА, 2016. 120 с.
26. Тетерятник О., Балака М. Аналіз шляхів забезпечення енергонезалежності будівельної техніки з використанням відновлювальних джерел енергії. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2021. Вип. 97. С. 24–35. DOI: <https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.97.0301>.
27. Фомін А. В., Костенюк О. О., Тетерятник О. А., Боковня Г. І. Машини і обладнання для будівництва, утримання і ремонту доріг: навч. посіб. Київ: КНУБА, 2005. 125 с.
28. Фомін А. В., Костенюк О. О., Тетерятник О. А., Боковня Г. І. Системи технологій землерийних робіт у транспортному будівництві: конспект лекцій. Київ: КНУБА, 2018. 132 с.
29. Фролов О. О., Косенко Т. В. Відкриті гірничі роботи: ч. І. Процеси відкритих гірничих робіт: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 151 с.

30. Хмара Л. А., Кравець С. В., Скорблюк М. П., Нікітін В. Г., Дерев'яничук М. І., Супонев В. М. *Машини для земляних робіт: підручник / За ред. Л. А. Хмари, С. В. Кравця.* Дніпропетровськ: Рівне; Харків, 2014. 546 с.
31. Хмара Л. А., Шипілов О. С., Мусійко В. Д., Кузьмінець М. П. *Дорожні машини. Машини для будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг: навч. посіб.* Київ–Дніпропетровськ: НТУ, 2013. 399 с.
32. Хомяк А. Я. *Інженерні вишукування у транспортному будівництві: навч. посіб.* Київ: Знання, 2007. 348 с.
33. Якименко О. В. *Земляні роботи: навч. посіб.* Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 157 с.
34. Balaka M., Gorbatyuk Ie., Mishchuk D., Prystailo M. Characteristic properties of support surfaces for self-propelled scrapers motion. *Fundamental and applied research in the modern world. Abstracts of the 6th International scientific and practical conference (January 20–22, 2021).* Boston, USA. 2021. P. 53–58.
35. Budhu M. *Soil Mechanics and Foundations.* 3rd ed. Hoboken. Wiley, 2010. 784 p.
36. Capachi N., Capachi J. *Excavation & Grading Handbook.* Revised ed. Carlsbad. Craftsman Book Company, 2006. 509 p.
37. Gorbatyuk Ie., Balaka M., Mishchuk D. Information model of bulldozer-looser movement. *The world of science and innovation. Abstracts of the 7th International scientific and practical conference (February 10–12, 2021).* London: Cognum Publishing House, 2021. P. 54–59.
38. Hartman H. L., Mutmansky J. M. *Introductory Mining Engineering.* 2nd ed. Hoboken. Wiley, 2002. 592 p.
39. Hudson J., Harrison J. *Engineering Rock Mechanics: An Introduction to the Principles.* 1st ed. Oxford. Elsevier Science, 2000. 456 p.
40. Hustrulid W. A., Kuchta M., Martin R. K. *Open Pit Mine Planning and Design. Two Volume Set & CD-ROM Pack.* 3rd ed. Boca Raton. CRC Press, 2013. 1308 p.
41. Ishibashi I., Hazarika H. *Soil Mechanics Fundamentals and Applications.* 2nd ed. Boca Raton. CRC Press, 2015. 432 p.

42. Knappett J., Craig R. F. *Craig's Soil Mechanics*. 9th ed. Boca Raton. CRC Press, 2019. 654 p.
43. Liu C., Evett J. *Soils and Foundations*. 8th ed. Boston. Pearson, 2013. 288 p.
44. Look B. G. *Earthworks: Theory to Practice – Design and Construction*. Boca Raton. CRC Press, 2022. 590 p.
45. Mannering F. L., Washburn S. S. *Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis*. 7th ed. Hoboken. Wiley, 2020. 416 p.
46. Mase G. T., Smelser R. E., Rossmann J. S. *Continuum Mechanics for Engineers*. 4th ed. Boca Raton. CRC Press, 2020. 450 p.
47. Nowak P. *Earthworks: A guide*. 2nd ed. London. ICE Publishing, 2015. 360 p.
48. Pochka K., Prystailo M., Delembovskyi M., Balaka M., Maksymiuk Y., Polishchuk A. Features of the Dynamic Interaction Between the Elastically Deformed Working Body of a Ripper-Pick and the Soil. In: Prentkovskis, O., Yatskiv (Jackiva), I., Skačkauskas, P., Karpenko, M., Stosiak, M. (eds) *TRANSBALTICA XV: Transportation Science and Technology*. *TRANSBALTICA 2024. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. Springer, Cham. 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-85390-6_52.
49. Prystailo M., Balaka M., Mozharivskyi V., Drachuk V., Honta I. Superposition principle of impact on the working environment of actuating elements for site preparation machines. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*. 2024. Vol. 1 No. 105, 61–67. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.105.1.61>.
50. Roberts D. *Pipe & Excavation Contracting*. Revised ed. Carlsbad. Craftsman Book Company, 2002. 326 p.
51. Skiba R. *Earthmoving Equipment Operations*. Melbourne. Richard Skiba. 2024. 542 p. (Industrial Equipment Operations series).
52. Warrington D. C., Schroeder W. L. *Soils in Construction*. 6th ed. Long Grove. Waveland Press, 2019. 390 p.

Глосарій

- Автоматизовані системи керування** (Automated Control Systems, ACS) – комплекси програмно-апаратних засобів для управління будівельними машинами та технологічними процесами.
- Адаптивне управління** (Adaptive Control) – автоматичне регулювання параметрів роботи машин залежно від ґрунтових умов і змін технологічних характеристик.
- Безтраншейна технологія** (Trenchless Technology) – метод прокладання інженерних комунікацій без розкриття поверхні ґрунту.
- Берма** (Berm) – горизонтальний уступ у насипі або виїмці земляного полотна для стійкості укосів та відведення поверхневих вод.
- Буропідривна розробка** (Drilling and Blasting Excavation) – спосіб руйнування міцних ґрунтів і гірських порід за допомогою буріння шпурів та заряджання вибуховими речовинами.
- Вертикальне планування** (Site Grading) – процес вирівнювання рельєфу території по висоті для улаштування земляного полотна, насипів або будівельних майданчиків.
- Виїмка** (Cut, Excavation) – частина земляного полотна, утворена зрізанням ґрунту до проєктних позначок.
- Відвал** (Spoil Heap) – місце тимчасового або постійного складування ґрунту, видобутого під час земляних робіт.
- Геомембрана** (Geomembrane) – синтетичний непроникний матеріал для гідроізоляції та стабілізації ґрунтових споруд.
- Георешітка** (Geogrid) – армуючий геосинтетичний матеріал для зміцнення ґрунтових основ і насипів.
- Геосинтетичні матеріали** (Geosynthetics) – група синтетичних матеріалів (геотекстиль, георешітки, геомембрани тощо), що застосовуються для армування, дренажу та стабілізації ґрунтів.
- Геотекстиль** (Geotextile) – нетканий синтетичний матеріал для армування ґрунтів, фільтрації та запобігання ерозії.
- Гідромеханічна розробка ґрунтів** (Hydromechanical Excavation) – процес переміщення та розробки ґрунту водяним потоком або гідросумішшю.

- Геотехнічний моніторинг** (Geotechnical Monitoring) – система спостереження за станом земляних споруд і ґрунтової основи.
- Ґрунт** (Soil) – природний або оброблений матеріал, що складається з мінеральних і органічних частинок.
- Ґрунт зв’язний** (Cohesive Soil) – ґрунт з високим вмістом глинистих частинок, який зберігає форму при зволоженні.
- Ґрунт мерзлий** (Frozen Soil) – ґрунт з тривалим або постійним вмістом льоду, який потребує спеціальних методів розробки.
- Ґрунт незв’язний** (Non-Cohesive Soil / Granular Soil) – сипучі ґрунти (піски, гравій), що не утворюють міцних зв’язків між частинками.
- Дорожнє покриття** (Pavement) – верхній конструктивний шар дороги, який сприймає навантаження від транспорту і передає їх на основу.
- Дренаж** (Drainage System) – система відведення поверхневих і ґрунтових вод для запобігання підтопленню земляних споруд.
- Ерозія ґрунту** (Soil Erosion) – руйнування поверхневого шару ґрунту під дією води, вітру або механічних впливів.
- Естакада земляна** (Earth Ramp) – насипна конструкція для тимчасового або постійного підняття рівня дороги, будівельного майданчика.
- Життєвий цикл об’єкта** (Infrastructure Asset Life Cycle) – послідовність стадій існування об’єкта транспорту чи будівництва: проєктування, зведення, експлуатація, обслуговування, реконструкція, ліквідація.
- Земляна споруда** (Earth Structure) – інженерна споруда з ґрунту (насип, виїмка, котлован, траншея тощо), яка використовується для транспортних і будівельних цілей.
- Земляне полотно** (Earthwork Formation, Roadbed) – штучно сформована основа транспортної споруди з виїмок і насипів для розміщення дорожнього одягу або колії.
- Земляні роботи** (Earthworks) – комплекс операцій з розробки, переміщення та укладання ґрунту.
- Зсув** (Landslide) – зміщення мас ґрунту або порід по схилу під дією сили тяжіння.
- Інтернет речей** (Internet of Things, IoT) – технологічна концепція об’єднання машин, обладнання та сенсорів в єдину мережу для збору та обміну даними в реальному часі.

- Інформаційне моделювання будівель і споруд** (Building Information Modeling, BIM) – цифрова технологія створення, використання та управління інформаційною моделлю об'єкта на всіх етапах життєвого циклу.
- Комплексна механізація** (Integrated Mechanization) – метод організації робіт, при якому взаємопов'язані машини виконують різні операції в єдиному технологічному циклі.
- Координація машин** (Machine Coordination) – узгодження роботи кількох машин на будівельному майданчику для забезпечення ритмічного виконання процесів.
- Котлован** (Excavation Pit) – заглиблена земляна споруда для улаштування фундаментів чи інших будівельних об'єктів.
- Котлован допоміжний** (Auxiliary Excavation) – додаткове заглиблення для допоміжних операцій у процесі будівництва.
- Кут захвату ковша** (Bucket Cutting Angle) – кут між ріжучою кромкою ковша і поверхнею ґрунту, який впливає на ефективність виїмки.
- Кут укладання** (Fill Placement Angle) – кут нахилу укладеного шару ґрунту під час насипання.
- Кювет** (Side Ditch, Roadside Drainage Ditch) – поздовжня канавка вздовж земляного полотна для збору та відведення поверхневих і ґрунтових вод.
- Ландшафтне планування** (Landscape Grading) – формування рельєфу території для будівельних та транспортних цілей.
- Лінія контрольних точок** (Control Line) – геодезична лінія для визначення координат і висотних відміток на будівельному майданчику.
- Логістика транспортування** (Haulage Logistics) – організація процесів переміщення ґрунту та матеріалів під час земляних робіт.
- Масив ґрунту** (Soil Mass) – об'ємна частина ґрунту, що підлягає розробці або переміщенню.
- Мергель** (Marlstone) – вапнякова глиниста порода, що застосовується у зміцненні ґрунтових основ.
- Мульчування ґрунту** (Soil Mulching) – покриття поверхні ґрунту матеріалом для зменшення випаровування та запобігання ерозії.

- Навантажувально-розвантажувальна операція** (Loading and Unloading Operation) – процес завантаження, транспортування та розвантаження ґрунту чи матеріалів.
- Надійність машин** (Machine Reliability) – здатність машини виконувати роботу без відмов у заданих умовах протягом визначеного часу.
- Насип** (Embankment) – земляна споруда, створена шляхом пошарового укладання та ущільнення ґрунту.
- Об'єм розробки** (Excavation Volume) – кількість ґрунту, що підлягає розробці згідно з проектом.
- Опір ґрунту різанню** (Soil Cutting Resistance) – сила, що виникає при відділенні ґрунту робочим органом машини.
- Опорна конструкція** (Supporting Structure) – елемент, який передає навантаження від земляної споруди на ґрунтову основу.
- Організація земляних робіт** (Earthworks Organization) – система заходів для ефективного виконання процесів розробки, переміщення та укладання ґрунту.
- Осідання ґрунту** (Soil Settlement) – вертикальна деформація ґрунтової основи під навантаженням.
- Підготовчі роботи** (Preparatory Works) – роботи, що виконуються перед основними земляними роботами (розчищення, розмітка, улаштування дренажу тощо).
- Потокова організація** (Flow-Line Method) – метод організації робіт, при якому технологічні операції виконуються послідовно на суміжних ділянках.
- Продуктивність машини** (Machine Productivity) – кількість ґрунту чи матеріалу, яку машина може розробити, перемістити або укласти за одиницю часу.
- Профілювання** (Profiling) – формування заданого поперечного або поздовжнього профілю земляного полотна чи насипної поверхні.
- Резерв** (Borrow Pit, Reserve Pit) – виїмка поблизу траси, з якої беруть ґрунт для улаштування насипу чи підсипання земляного полотна.
- Реконструкція об'єктів** (Reconstruction of Structures) – комплекс заходів з відновлення та модернізації транспортних і будівельних споруд.

- Ресурсозбереження (Resource Efficiency)** – раціональне використання енергетичних, матеріальних і трудових ресурсів у будівництві.
- Розробка ґрунту (Soil Excavation)** – процес відокремлення ґрунту від масиву та його переміщення.
- Система GPS-контролю (GPS-Based Guidance System)** – система супутникового позиціонування для відстеження та коригування роботи машин.
- Система контролю якості (Quality Control System)** – комплекс заходів для перевірки відповідності земляних робіт технічним нормам і стандартам.
- Система сталого розвитку (Sustainable Development System)** – комплекс організаційних та технологічних рішень для впровадження екологічно безпечного і ресурсозберігаючого будівництва.
- Стабілізація ґрунту (Soil Stabilization)** – підвищення міцності й несучої здатності ґрунту за допомогою добавок або механічного впливу.
- Стійкість насипу (Embankment Stability)** – здатність насипу зберігати стійкість і не руйнуватися під дією навантажень.
- Сток води (Surface Drainage)** – відведення атмосферних і ґрунтових вод із земляної споруди.
- Техніко-економічне обґрунтування (Cost-Benefit Analysis)** – аналітичне обґрунтування вибору машин і технологій на основі співвідношення витрат та ефективності.
- Технології сталого розвитку (Sustainable Construction Technologies)** – комплекс рішень, спрямованих на енергоефективність, ресурсозбереження та екологічність у транспортному будівництві.
- Технологічна карта (Construction Process Chart)** – документ, що відображає послідовність і взаємозв'язок технологічних операцій.
- Технологія виконання земляних робіт (Earthworks Technology)** – сукупність методів, прийомів і операцій з розробки, переміщення та ущільнення ґрунту.
- Транспортна відстань (Haul Distance)** – відстань між місцем виїмки та місцем укладання ґрунту.
- Траншея (Trench)** – видовжена вузька виїмка у ґрунті для прокладання комунікацій або фундаментів.

- Трасування (Route Alignment)** – визначення положення осі дороги або іншої лінійної споруди на місцевості.
- Укіс (Slope, Embankment Slope)** – похила поверхня насипу або виїмки земляного полотна, яка формує його бічні грані.
- Укладання насипу (Fill Placement)** – процес формування насипу шляхом пошарового укладання та ущільнення ґрунту.
- Ущільнення ґрунту (Soil Compaction)** – технологічний процес підвищення щільності ґрунту механічними засобами.
- Фільтрація ґрунту (Soil Filtration)** – рух води крізь пори ґрунту під дією гідравлічного градієнта.
- Фрезерування ґрунту (Soil Milling)** – механічне подрібнення та вирівнювання верхнього шару ґрунту.
- Фронт робіт (Work Front)** – ділянка, на якій одночасно виконуються технологічні операції.
- Фронтальна стабілізація (Slope Stabilization)** – укріплення укосів земляних споруд для запобігання їх руйнуванню.
- Фундамент (Foundation)** – конструктивна основа споруди, що передає навантаження на ґрунт.
- Цементация ґрунтів (Soil Cementation)** – зміцнення ґрунтів шляхом введення в'язучих речовин.
- Цикл роботи (Work Cycle)** – послідовність операцій машини, що повторюється при виконанні технологічного процесу.
- Чистий зріз (Clean Cut)** – поверхня ґрунту після розробки або планування, готова до наступних будівельних операцій.
- Ширина захвату (Working Width)** – ширина смуги ґрунту, яку обробляє робочий орган машини за один прохід.
- Штучна основа (Artificial Foundation)** – конструкція для заміни слабкого ґрунту під спорудою.
- Штучний інтелект (Artificial Intelligence, AI)** – сукупність алгоритмів і технологій, що дозволяють комп'ютерним системам виконувати аналіз, прогнозування та прийняття рішень.
- Якірна стіна (Anchored Wall)** – підпірна конструкція, закріплена анкерними елементами.

Навчальне видання

БАЛАКА Максим Миколайович
МІЩУК Дмитро Олександрович

**СИСТЕМИ ТЕХНОЛОГІЙ ЗЕМЛЯНИХ
РОБІТ У ТРАНСПОРТНОМУ
БУДІВНИЦТВІ**
Навчальний посібник

Підписано до друку 07.10.2025 р.

Видавець ФОП Ямчинський О. В.

03150, Київ, вул. Васильківська, 32

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єкта видавничої справи ДК № 6554 від 26.12.2018 р.

Формат 60×84/16. Наклад 50 пр. Ум. друк. арк. 15,0. Зам. № 298

Виготовлювач ТОВ «ЦП «КОМПРИНТ»

03150, Київ, вул. Васильківська, 32

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єкта видавничої справи ДК № 4131 від 04.08.2011 р.