

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему  
**«Дослідження процесу вібраційного ущільнення ґрунту»**

Виконав: студент VI курсу, групи Маш-62

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
(шифр і назва)

Богдан АДАМОВИЧ

Керівник: к.т.н., доцент Петро КОРУНЯК  
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ**  
**ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)  
д.т.н., професор ВЛАСОВЕЦЬ В.М.  
(прізвище та ініціали)  
“28” квітня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу студенту  
Адамовичу Богдану Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження процесу вібраційного ущільнення ґрунту»

Керівник роботи Коруняк Петро Степанович, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом університету від 28.04. 2023 року №133/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 15.01. 2024 року

3. Вихідні дані до работ: довідкова література, технічні характеристики та креслення відомих конструкцій віброплит, каталоги обладнання машинного ущільнення, методики проведення та типові технологічні процеси ущільнення ґрунту, методики визначення економічної ефективності впровадження нового технічного рішення, інструкції з охорони праці.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Технологічні основи з ущільнення ґрунту;

2. Машинне ущільнення ґрунтів;

3. Проектування і дослідження роботи самопересувної віброплити для ущільнення ґрунту;

4. Охорона праці і виробнича безпека;

5. Ефективність прийнятих рішень;

Висновки і пропозиції;

Бібліографічний список.

5. Перелік графічного матеріалу:

Графічні матеріали до роботи виконати у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint: мета і завдання дослідження, огляд конструкцій засобів і способів ущільнення, основні засади проектування вібраційних пристроїв ущільнення, експериментальні результати дослідження, економічні показники запропонованого технічного рішення.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		Завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3, 5	Коруняк П. С., к.т.н., доц. каф. машинобудування			
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання 28.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	<i>Технологічні основи з ущільнення ґрунту</i>	28.04.23-29.06.23	
2	<i>Машинне ущільнення ґрунтів</i>	30.06.23-27.08.23	
3	<i>Проектування і дослідження роботи самопересувної віброплити</i>	28.08.23-24.09.23	
4	<i>Охорона праці</i>	25.09.23-14.11.23	
5	<i>Економічна частина</i>	15.11.23-18.12.23	
6	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	19.12.23-03.01.23	
7	<i>Оформлення графічної частини</i>	04.01.24-15.01.24	

Студент \_\_\_\_\_ Богдан АДАМОВИЧ  
(підпис) (Ім'я та прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Петро КОРУНЯК  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Дослідження процесу вібраційного ущільнення ґрунту.

Адамович Б.С. Кваліфікаційна робота. – Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2024р.

52 с. текст. част., 12 рис., 10 табл., 20 джерел інформації.

Проведено аналіз способів проведення ущільнення грантів. Проаналізовано методи визначення щільності та технологію виконання при цьому робіт. Розглянуті схеми, обладнання та особливості машинного способу ущільнення грантів.

Розглянуті основні засади проектування та запропонована конструкція самохідної вібраційної плити спрямованої дії. Виконані необхідні інженерні розрахунки. Досліджено процес горизонтального переміщення віброплити та чинники, з якими воно пов'язане. Одержані експериментальні результати щодо визначення щільності піщаного ґрунту.

Розглянуто питання охорони праці під час виконання ущільнення ґрунту. Визначені показники економічної ефективності використання самохідної віброплити.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	
Розділ 1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ З УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ	
1.1. Поняття ущільнення ґрунту.....	
1.2. Способи ущільнення ґрунту. Природне самоущільнення.....	
1.3. Способи машинного ущільнення.....	
1.4. Проведення робіт з ущільнення ґрунтів.....	
1.5. Методи визначення щільності. ....	
Розділ 2. МАШИННЕ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ	
2.1. Загальні відомості про ущільнення машинами.....	
2.2. Ущільнення ґрунтів укочуванням.....	
2.3. Технологія ущільнення ґрунтів.....	
2.4. Ущільнення трамбувальними машинами.....	
2.5. Вібраційне ущільнення.....	
2.6. Інші способи ущільнення.....	
Розділ 3. ПРОЕКТУВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ САМОПЕРЕСУВНОЇ ВІБРОПЛИТИ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ	
3.1. Будова і принцип дії самопересувної віброплити.....	
3.2. Основні засади проектування самохідної віброплит.....	
3.2.1. Функціональні особливості віброприводу.....	
3.2.2. Визначення основних конструктивних параметрів віброплити...	
3.2.3. Визначення режимів роботи віброплити.....	
3.2.4. Визначення потужності приводу.....	
3.2.5. Розрахунок підшипників дебалансного вібратора.....	
3.3. Дослідження процесу горизонтального переміщення віброплити.....	
3.4. Основні параметри робочого процесу.....	
3.5. Дослідження процесу ущільнення ґрунту.....	
3.5.1. Методика визначення щільності ґрунту.....	
3.5.2. Експериментальне визначення щільності ґрунту.....	
Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ І ВИРОБНИЧА БЕЗПЕКА	
4.1. Джерела та фізичні характеристики вібрації .....	

- 4.2. Вплив вібрації на людину.....
- 4.3. Нормування та контроль вібрації.....
- 4.4. Захист від вібрації.....
- 4.5. Основні положення техніки безпеки під час роботи з віброплитою.....
- 4.6. Заходи пожежної безпеки і правила поведінки населення при пожежах.
- 4.7. Цивільна оборона та захист навколишнього середовища.....

## Розділ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ

САМОХІДНОЇ ВІБРОПЛИТИ.....

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.....

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....

## ВСТУП.

Розвиток будівельного і дорожнього машинобудування передбачає створення і випуск цілої системи машин для забезпечення комплексної механізації робіт в промисловому, житловому, сільськогосподарського гідротехнічного та дорожнього будівництва. У даному випадку слід розуміти таку організацію праці де всі основні і допоміжні трудові операції і процеси виконуються за допомогою машин, механізмів та обладнанням, яке відповідає передовому рівню розвитку науки і техніки. На сучасному етапі відбувається бурхливий розвиток окремих видів будівництва, особливо лінійних споруд: дороги, лінії електропередач, магістральні трубопроводи тощо.

Для підвищення ефективності застосування комплексної механізації необхідно постійно удосконалювати машини і обладнання, технічне переобладнання всього машинного парку, яке уможливорює підвищення продуктивності праці. Одним з важливих напрямків покращення якості виконання робіт є використання у робочих механізмах машин індивідуального приводу, створення мінітехніки, створення модульних систем на підставі використанням уніфікованих елементів, а також застосування в основних і допоміжних процесах робіт і маніпуляторів.

На будівництві під час виконання земляних робіт будь-якої земляної споруди виконується операція ущільнення ґрунту. Вона є однією з найвідповідальніших технологічних операцій при будівництві різних об'єктів, таких як греблі, насипи, дорожніх та майданчикових покриттів тощо. Від якості проведення її залежать не тільки міцність, стійкість, водонепроникність споруди, а й рівність покриття, термін його служби та безпека руху. Натомість, недоущільнення ґрунту веде до непродуктивних витрат людських, матеріальних та енергетичних ресурсів.

Тому метою ущільнення є отримання щільної та міцної структури ґрунту, здатної надалі протистояти зовнішнім впливам, які матимуть місце під час служби інженерних споруд.

## Розділ 1.

### ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ З УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ

Ущільнення ґрунту вважається однією з важливих і відповідальних технологічних операцій під час будівництва земляного полотна, спорудженні дамб, ґрунтових подушок, майданчиків різного призначення, в тому числі і під фундамент, підготовки основи під заливку підлог, різних земляних споруд, будівництві залізних і автомобільних шляхів, аеродромів, прокладання вулиць. Від якості проведення робіт з ґрунтом залежить його міцність і стійкість, несуча здатність, схильність до температурних деформацій, пружність, водонепроникність і опір розмиванню.

Неущільнені ґрунти неоднорідні. Можливі порожнечі, ділянки більшої і меншої щільності, під впливом механічних навантажень піддаються залишковим деформаціям, що згодом призводить до просідання земляного полотна, утворення нерівностей та ям на вулицях і проїжджій частині дороги. Ущільненні ґрунту всього на 1% уможливорює зростання його міцності і стійкості до навантажень до 10...15%.

Крім того проведення робіт з ущільнення ґрунту сприяє підвищенню економічного ефекту. Їх вартість становить в близько 3-5% від загальних витрат на будівництво, а в результаті термін служби споруди, його надійність і міцність збільшує в кілька разів.

#### 1.1. Поняття ущільнення ґрунту

Процес ущільнення ґрунту це штучне перетворення його властивостей і характеристик без істотної зміни фізичного або хімічного стану. Під час нього частинки ґрунту переміщуються, в результаті чого число контактів між ними в одиниці об'єму збільшується. Порушуються зв'язки між мінералами, щільність середовища зростає та витісняє повітря і як ґрунт стає міцнішим, стабільнішим, а несуча здатність підвищується. Такий стан ґрунту забезпечує зменшення його до фільтрації і розмивання, а також схильність до просідання у період зміни кліматичних умов.

Плотность ґрунту оцінюється ступенню его уплотнения, которая характеризуется отношением практически полученной в сооружении плотности



скелета ґрунта при данної його воложності к стандартної щільності, полученної в лабораторних умовах и виражається в процентах. До прикладу, при строительстві насипей должна быть обеспечена следующая степень уплотнения: автодорожних — 95 – 98%, залезнодорожних — 95 – 96, гидротехнических — 98 – 100%.

Найкращі результати ущільнення (найбільша ступінь) за найменших енерговитратах можна досягти при оптимальній вологості. Оптимальна вологість – це така вологість, якій відповідає найкраще ущільнення. Вона визначається приладом Проктора – приладом стандартного ущільнення. Крім того, ущільнення проводиться при вологості близької до оптимальної. Перезволожені ґрунти перед ущільненням слід підсушити, натомість, ґрунти з малим вмістом вологи необхідно попередньо зволожити. Вміст вологості для кожного виду ґрунту визначається індивідуально, в залежності від його фізико-хімічних властивостей. Так, наприклад, ущільнення піску, залежно від його фракції, слід проводити при рівні вологості 14-23%, а тому піщані ґрунти попередньо добре змочують.

Вибір способу ущільнення ґрунту також залежить від типу, гранулометричного складу та його фізико-хімічних характеристик.

Під час класифікації ґрунтів враховується їх однорідність складу, міцність і надійність зв'язків між частинками ґрунту, їх розмір і форма, здатність до поглинання вологи і схильність розмивання потоками води. Крім того враховується вік гірських порід та їх геологічне походження.

ґрунтів можна поділити на такі основні типи.

До скельних ґрунтів відносяться гірські породи, покриті шаром ґрунту. Скельні ґрунти сформовані з граніту, пісковика, базальту, вапняку тощо. Для них характерна висока міцність, стійкість до навантажень, перепадів температур і впливу вологи.

Напівскельні ґрунти це ті самі гірські породи але яким притаманна велика кількість тріщин і розломів, що в свою чергу знижують їх рівень міцності.

До крупноуламкових ґрунтів, відносяться гірські породи з уламків різної величини. Їх характерною особливістю є ризик до розмивання потоками води та низький рівень стисливості.

Піщані ґрунти, що складаються з сипких пісків. Для них характерна водопроникність і схильність до розмивання, а також здатність до ущільнення у вологому середовищі.

Глинисті ґрунти складаються з глини без вмісту піску. Характерним для них є набухання під час зволоження, схильність до розмивання потоками води і розбухання під час замерзання. Ці ґрунти погано ущільнюються.

Так звані «пливуни» відносяться до найбільш складного виду ґрунтів. Вони погано ущільнюються, відзначаються рухливістю і схильні до розмивання.

Всі зазначені види ґрунтів мають природне походження. У будівництві частіш за все доводиться використовувати штучні ґрунти, які в свою чергу поділяються на насипні і покращені підстави.

Насипні підстави виготовлюють гравію, шлаку, щебеню, піску, «пустих» гірських порід, будівельного сміття і відходів промислового виробництва. Більш якісні підстави виготовлюють з пухких, малозв'язні ґрунтів, які цементуючи їх або скріплюючи різними іншими способами з використанням рідкого скла, бітуму і т.д.

## **1.2. Способи ущільнення ґрунту. Природне самоущільнення**

Залежно від виду ґрунту і його технічних характеристик використовують різні способи ущільнення ґрунту. Відомі наступні способи ущільнення ґрунту, зокрема: природне статичне самоущільнення ґрунту; механічними засобами статичної дії (котки), машинами динамічної дії (ущільнюючі плити), вібраційними машинами (вібратори).

Природне самоущільнення здійснюється під дією власної ваги споруди, не вимагає суттєвих витрат і дозволяє ущільнити нижні шари земляної споруди. Однак цей спосіб не дозволяє досягти необхідного ступеня ущільнення всієї конструкції і може призвести її до руйнування.

Для інтенсифікації процесу ущільнення одним з відомих заходів є замочування насипів на основі зволоження ґрунту до повного його насичення

водою. За цих умов елементи ґрунту розпадаються, а ступінь ущільнення зростає. Замочуванням, крім насипів, також можна ущільнювати канали, пропускаючи по них повільними потоками воду у кількості достатньої на компенсацію втрат на фільтрацію. Проте замочування супроводжується великими деформаціями, а пустотами, які при цьому виникають, можливе розмивання споруди, що вимагає до впровадження необхідних спеціальних заходів.

Практикується також спосіб щільного укладання ґрунту шляхом відсипання його у воду (або при транспортуванні водою), під час цього забезпечується розпад елементів ґрунту, пропадає мікропористість, що сприяє одержанню монолітної структури з високим ступенем щільності та водонепроникності (рис. 1.1).

Дамби, греблі та інші насипи можна будувати шляхом пошарового відсипання зв'язних ґрунтів в воду.

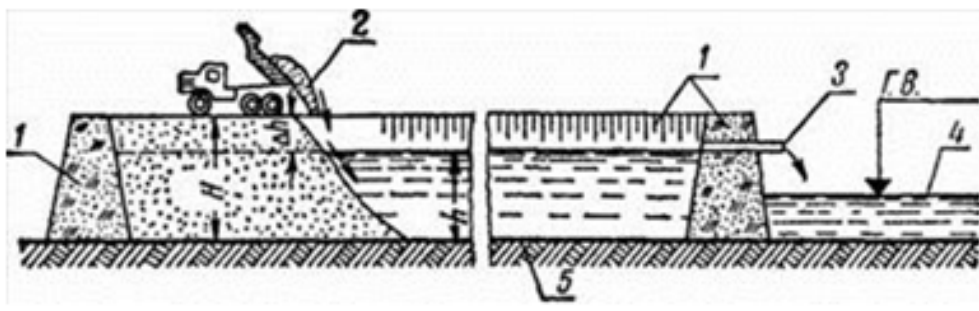


Рис. 1.1. - Схема будівництва насипу шляхом відсипання ґрунту у воду: 1 — дамба обвалування чеків; 2 — відсипання ґрунту у воду; 3 — труба для зливу надлишкової води; 4 — сусідня карта; 5 — поверхня карти. ¶

Виконання основних будівельних операцій здійснюється в такій послідовності:

1. Підготовка основи та розбивання її чеки (на карти укладання);
2. Відсипання дамб обвалування по зовнішньому контуру чек;
3. Наповнення водою карт укладання;
4. Засипання ґрунту у карти укладання з водою.

За цього способу не проводяться такі будівельні операції, як ущільнення і розрівнювання ґрунту, які мають місце при сухому способі будівництва насипів. Ущільнення ґрунту здійснюється під дією власної ваги та транспорту,

що рухається по ньому. Взимку відсипку ґрунту використовують підігріту воду, а літом – в дощову погоду

Розміри чек зазвичай призначають за величиною потоку ґрунту. В залежності від глибини води у картах укладання  $h$  встановлюється товщина шару відсипання ґрунту. Шар сухого ґрунту  $\Delta h$  залежить від вантажопідйомності машин і властивостей ґрунтів. Глибина води у картах залежить в основному від здатності дамб до обвалування і утримувати її чеках.

Для пришвидшення консолідованої структури глинястого ґрунту в середині насипу створюють дренажні системи водовідведення у вертикальному і горизонтальному напрямі. Горизонтальні дрени монтують рядами через кожні 3-4 м у вертикальній площині у колодязі. З них вода піщаними дренами сходить в трубчастий колектор і далі ним за межі насипу. Дамби обвалування зводять насухо за допомогою тяжкої техніки. Рівень води в чеках утримується на позначці на 0,3-0,75 м нижче поверхні відсипаного шару ґрунту. Витіснена ґрунтом вода, по трубі зливається у сусідню карту (чек).

### **1.3. Способи машинного ущільнення.**

У більшості випадків розглянутий вище спосіб неможливо реалізувати через ряд різних причин – відсутність необхідної кількості води, забезпечити необхідний профіль споруди, неможливість досягти даним способом проектної щільності тощо. Тому, для забезпечення проектної щільності ґрунтів використовують різні спеціальні механізми та машини.

Під час робочого процесу ущільнення ґрунту завдяки спеціальній техніці у більшості випадків здійснюється вплив їх робочих органів на ґрунт шляхом багаторазового і послідовного прикладання навантаження на кожний елемент площі наступного шару ґрунту. Слід зауважити, що інтенсивність ущільнення максимальна на початках прикладання навантаження, а згодом, при досяганні певного його значення і подальша механічна дія на ґрунт не призводить до його помітної зміни (рис. 1.2).

Як правило, для досягнення проектної щільності необхідно кількаразове (6...8 кратне) прикладання динамічного навантаження.

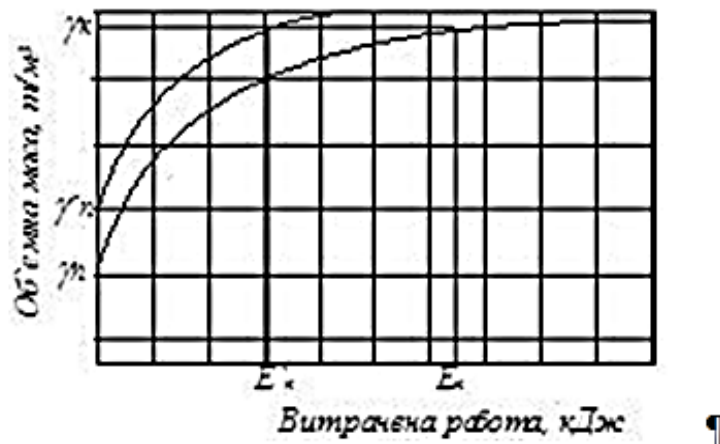


Рис. 1.2. Залежність об'ємної ваги ґрунту від витраченої на його ущільнення роботи

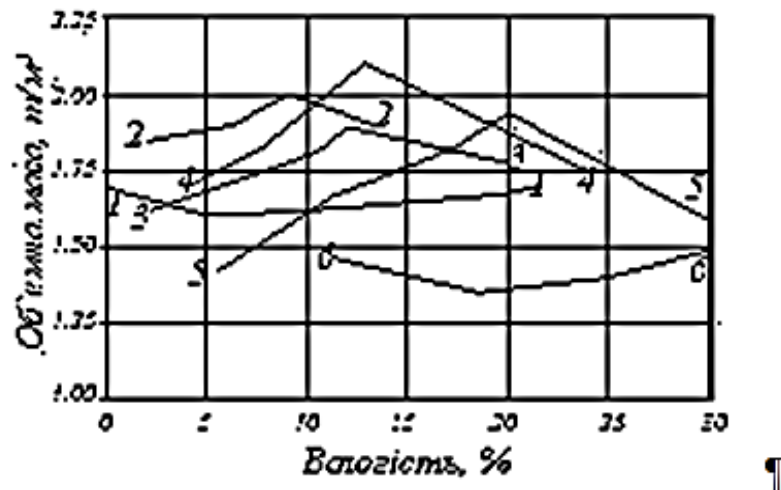


Рис. 1.3. Залежність об'ємної ваги ґрунту від його вологості при однаковій витраченій на ущільнення роботі: 1, 2 — однорідний та різнорідний пісок; 3, 4, 5 — легкий, середній та важкий суглинки; 6 — глина

Фактори, що впливають на ущільнення ґрунту:

- зв'язність частинок ґрунту та його механічний склад;
- початкова щільність та його вологість;
- товщина шару ущільнювального ґрунту;
- число проходів ущільнення;
- спосіб ущільнення та параметри роботи виконавчих механізмів.

Зазвичай більш інтенсивно і легко піддаються ущільненню незв'язні ґрунти, у яких відсутні цементуючі зв'язки.

В значній мірі процес ущільнення залежить від вологості ґрунту. Наявність води у ньому приводить до утворення водяної плівки навколо частинок і тим самим зменшує тертя між ними. Але із збільшенням вологості щільність зростає до певної границі, а потім буде зменшуватися. Це вказує на те, що води в порах вже не стискається і ґрунт починає розпушуватись (рис. 1.3).

За результатами досліджень встановлено (рис. 1.3), що:

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

Ущільнення ґрунту до заданої щільності з мінімальними енергетичними витратами досягається за оптимальної вологості, яку рекомендується дотримуватися з точністю до 2%. Цьому значенню відповідає максимальна щільність скелету ґрунту. Тому ефективно використання ущільнюючих машин передбачає зволоження сухих ґрунтів і підсушування більш зволжених до визначеної оптимальної вологості. Її точне значення визначають експериментальним пробним шляхом. Під час попередніх розрахунків значення оптимальної вологості (%) для ґрунтів слід вибрати такими: піщаних – 7...10, суглинистих – 13...19, супіщаних – 9...14, важких суглинків та глинистих – 18...24.

Кількість води під час зволоження ґрунту визначають за формулою

$$g = (\omega_0 - \omega_n - \omega_\varepsilon) \cdot 100 \cdot \rho_n / \rho_v \quad (1.1)$$

де  $\omega_0$ ,  $\omega_n$ ,  $\omega_\varepsilon$  – відповідно оптимальна вологість, природна вологість ґрунту, втрати вологості при вкладанні і ущільненні ґрунту, %;

$\rho_n$ ,  $\rho_v$  – відповідно проектна щільність ґрунту і щільність води, кг/м<sup>3</sup>.

Існує три способи машинного ущільнення ґрунту: укочування, трамбування та вібраційне ущільнення. На основі основних, за необхідності можуть використовуватись і комбіновані способи. Під час вибору ущільнюючої

техніки необхідно її враховувати принцип дії, а також взаємодію робочого органу з ґрунтом.

### **Трамбування ґрунту**

Трамбуванням називається один із способів механічного впливу на ґрунт, яке пов'язане з ударами по ньому робочим органом (трамбівкою). Ущільнення відбувається під впливом ударної енергії і супроводжується переміщення в усіх напрямках частинок ґрунту. За таких умов крім переміщення частинок руйнуються порожнини, витискається повітря з їх порожнин. Проте у цьому випадку лише частина ударної енергії витрачається на ущільнення, а решта поглинається основним масивом ґрунту за рахунок його пружного стискання.

Основна перевага трамбування полягає у можливості ущільнення шарів ґрунту великої товщини при різних рівнях вологості. Проте використання цього способу ущільнення дуже вологих ґрунтів може привести до небажаного зворотного результату.

Трамбування застосовують, як правило, для ущільнення грудкуватих ґрунтів, великоуламкових, різних насипів, а також тих ґрунтів, до яких доступ зовсім або в якійсь мірі обмежений.

Для трамбування використовується різні машини, механізми і пристрої, наприклад, трамбувальні плити вагою від 2 до 15 тонн, які вільно падають з висоти 2...6 метрів або вантажі вагою у кілька тон циліндричної форми з плоским дном. Ефективність процесу трамбування визначається як масою робочого органу так і швидкістю в останній момент удару, а також їх частотою. За цих умов, очікуваний результат – ступінь ущільнення – залежить від виконаної роботи робочого органу і визначається добутком ваги плити, висоти скидання та кількості таких спроб.

Трамбування таким знаряддям як правило проводять завдяки спеціальній дорожньої техніки (навантажувачів, тракторів, підйомників тощо) і називають її важкою.

Під час проведення невеликих обсягів робіт застосовується також ручні знаряддя і пристрої трамбування ґрунту. До них можна віднести такий спеціальний інструмент як так званий «товкач». Вони, в свою чергу,

поділяються на дві групи: «легкі» – вагою до 30 кг та «важкі», вага яких дорівнює 80 кг і більше. Щодо приводу, «товкачки» можуть бути не тільки ручними але й мати механічний привод.

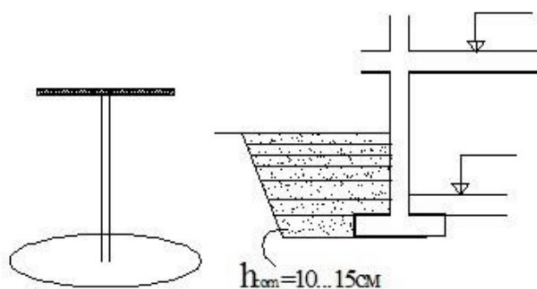


Рис. Схема ручного трамбування

Проводити трамбувальні роботи з ґрунтом можна в будь-який період року. Проте, взимку найкращі результати можна одержати з використанням лише важкої трамбування.

### **Укочування ґрунту.**

Укочуванням називається такий спосіб механічного впливу, під час якого на ґрунт передається похилий під деяким кутом тиск, що є результатом складання власної ваги механізму та горизонтальної сили у вигляді тягового зусилля. Найбільш ефективним для ущільнення ґрунту є похилий рівномірний тиск, який створюється перекочуванням колеса або барабана.

Цим способом ущільнюються великоуламкові, піщані і глинясті ґрунти на ділянках великої площі, де можна здійснювати всі необхідні маневрування робочими машинами і механізмами. Укочування проводиться у кілька етапів пошарово. Після опрацювання одного шару, на нього насипається певний обсяг ґрунту і формується наступний ущільнюючий шар ґрунту.

Ступінь ущільнення ґрунту під час укочування залежить від рівня вологості та типу механізмів, які при цьому використовуються. Промисловістю продукуються спеціальні конструкції котків, автомашин, тракторів, навантажених скреперів тощо. Вибір обладнання для укочування ґрунту проводиться в залежності від продуктивності технологічного процесу, ваги машин чи механізмів, а також його виду.

Роботи з укочення ґрунту слід проводити у декілька етапів. На початку здійснюють попереднє укочування, яке ще називається «відкаткою»,



використовуючи при цьому легкі трактори або котки. На наступному етапі визначається оптимальний ступінь ущільнення ґрунту. За одержаними результатами визначають кількість проходок техніки, яка використовується для цієї роботи.

### **Вібраційне ущільнення.**

Найбільш ефективним способом впливу на ґрунт стали коливальні (вібраційні) ефекти його частинок. Під дією їх вібрування і динамічні навантаження створені робочим органом передавались на ґрунт. В результаті цього між його частинками досягається максимальний рівень контакту, зникають або зменшуються порожнечі тобто здійснюється їх щільне вкладання і ущільнення ґрунту в цілому.

Іншою перевагою вібрації можна вважати можливість відповідних засобів досягнути високого глибинного ущільнення ґрунту при невеликій кількості проходок. За будь яких інших способах ущільнення такого ефекту досягти неможливо.

Вібраційне ущільнення здійснюється завдяки вібруючого механізму, оснащеного спеціальним вібраційним приводом. Здебільшого використовують інерційний (дебалансний) привод збурювання коливань. Під час роботи таких пристроїв створюється одночасна дія на ґрунт як динамічних так і статичних навантажень.

Вібраційні та віброударні навантаження відрізняються між собою за частотою та амплітудою коливань. Із зменшенням частоти та збільшенням амплітуди коливань вібраційний режим переходить у віброударний, а тому, відповідно до цього машини називають вібраційними та віброударними.

Вібрацію можна вважати універсальним методом ущільнення ґрунтів. Спочатку її рекомендувалося використовувати лише для піщаних і великоуламкових ґрунтів, але з розвитком науки і техніки в галузі механічних коливань, цей спосіб став широко впроваджуватися і використовуватися для ущільнення глин та суглинків.

Самопересувні вібромашини доцільно застосовувати під час ущільнення незв'язних ґрунтів, які пошарово відсипаються товщиною до 0,7 - 0,8 м, для

прямолінійних ділянок незначної довжини (шириною 50 - 100 м) і невеликим поздовжнім і поперечними ухилом земляного полотна не більше 10%.

Найкращих результатів ущільнення можна досягнути при вологості ґрунту 10 – 15 %. З підвищенням вологості крупнозернистих пісків для отримання необхідної щільності можна досягнути при зменшенні кількості проходів віброкатка або із зменшенням часу вібрування робочого органу (плити) самопересувної вібромашини.

Комбіновані способи ущільнення поєднують роботу засобів укочування, трамбування з вібрацією (віброкатка, вібротрамбування).

### **Інші способи ущільнення.**

У деяких випадках ущільнення, крім згаданих способів, здійснюють ще і методом вибуху. Під час вибуху вибухової речовини поміщеної у ґрунти, процес ущільнення відбувається під дією його коливань та енергії ударної хвилі, яка при цьому виникає. Проте, лише невелика частина цієї енергії йде на ущільнення ґрунту, а решта її витрачається на пружне стискання, вивільнюється на зовні тощо.

Всі відомі методи ущільнення ґрунтів можна поділити на поверхневі і глибинні. До поверхневих відносяться ті, коли до поверхні ґрунту прикладається ущільнююча дія, а глибинні – коли зовнішнє навантаження діє на всю або певну глибину його масиву. До поверхневих методів відносяться розглянуті вище ущільнення ґрунтів укочуванням, машинне трамбування, віброплитами, віброкатками, вібротрамбовками, витрамбовування котлованів, підводними вибухами. А до глибинних методів – слід віднести пробивання свердловин (ґрунтовими палями), глибинні вибухи, глибинні вібратори, статичне навантаження від власної ваги конструкції, а також використання додаткового при навантаження і здійснення дренажу.

Під час проведення ущільнення трамбуванням, вибухами, укочуванням, вібрацією та віброударами динамічне навантаження на ґрунти передаються циклічно, що приводить до циклічного його навантаження, а отже послідовно змінюються процеси як навантаження так і розвантаження. Відповідно до цього в робочій зоні ґрунту відбуваються зворотні (пружні) і незворотні (залишкові)

деформації. Залишкові сприяють підвищенню ступеня щільності ґрунтів. Незворотні деформації генеруються статичним навантаженням від власної ваги споруди, а також від додаткового навантаження.

Як показали дослідження, для любого виду ґрунту будь-який режим його ущільнення, а також спосіб реалізації робочого процесу, накопичення залишкових деформацій, а отже і підвищення ступеня щільності здійснюється до певної межі під час виконання відповідних робіт. Продовження їх без зміни параметрів режиму ущільнення супроводжується як правило зворотними деформаціями і практично не відбувається підвищення ступеня щільності ґрунту.

#### **1.4. Проведення робіт з ущільнення ґрунтів**

Ступінь ущільнення ґрунту задається проектом на підставі його досліджень шляхом стандартного ущільнення, при цьому визначається максимальна щільність та оптимальна вологість. Основними показниками робочого процесу вважається товщина ущільненого шару; рівномірність ущільнення за його глибиною; кількість необхідних проходів (або ударів) по одному маршруту для досягнення проектної щільності.

Роботи з ущільнення ґрунту проводяться на ділянках за умови забезпечення необхідного ритму роботи формування земляного полотна. При цьому приймаються наступні розміри ділянок: для котків з пневматичними шинами – 200 м; для кулачкових котків – 250-300 м; для трамбуючих машин – не менше 50 м; для віброкотків – 200-250 м.

Із збільшенням довжини виробничої ділянки продуктивність котків зростає, але при цьому виникає проблема висушування ґрунту для досягнення його остаточного ущільнення.

Для безпечного проведення робіт ущільнюючими машинами необхідно забезпечити відповідну ширину насипу. При цьому машина повинна знаходитися Відстань від брівки насипу до машини повинна бути такою аби запобігти її сповзанню під укіс.

Для досягнення заданої щільності ґрунтів необхідно на протязі усього робочого процесу дотримуватись рекомендацій і правил:

- після укладання та розрівнювання ґрунту відразу його ущільнювати;
- під час дощу ущільнення не проводити;
- ефективне ущільнення ґрунту здійснюється шарами рівної товщини;
- зменшення надлишкової вологості ґрунту проводити шляхом його підсушувати та розпушування на глибину ущільнювального шару.

Ущільнення проводиться окремими проходками ущільнюючої техніки вздовж насипу зі зміщенням від краю до її середини, аби унеможливити його зсуву до країв насипу. Кожен наступний прохід машини або удар робочого засобу для уникнення не ущільнених ділянок, необхідно забезпечити перекриття слідів попередніх проходів на 0,15-0,20 м. Слід пам'ятати, що найменша відстань проходження ущільнюючої техніки від насипу повинна бути 0,5 м.

#### 1.5. Методи визначення щільності.

Під час формування земляного полотна постійно відбувається контроль за необхідними видами робіт передбачені проектом та вимогам технічних умов, вологістю ґрунту і ступеню ущільнення. Безпосередній контроль за параметрами робочого (насипного) ґрунту покладається на польову лабораторію.

Контроль якості ущільнення проводять такими методами: стандартного ущільнення, зондуванням, ріжучих кілець, радіоізотопним, вдавлюванням штампю, методом лунок, парафінуванням тощо. В залежності від виду ґрунту і оснащеності лабораторії обладнанням вибирають той чи інший метод.

Методом стандартного ущільнення визначають оптимальну вологість та максимальну стандартну щільність за допомогою приладу ДорНДІ. Метод ріжучих кілець застосовується під час визначення щільності скелета ґрунтових насипів і базується на знаходженні щільності взірця вологого ґрунту взятого металевим кільцем місткістю 300-400 см<sup>3</sup> ( $d/h = 1$ ) і вдавненого в ущільнений шар тієї ж вологості цього ґрунту. Через свою простоту цей метод є найпоширенішим.

Із всіх відомих методів контролю ступеня ущільнення ґрунтів у насипах найбільш оперативним і простим є метод статичного та динамічного

зондування. Під час зведення насипів з великоуламкових і щебенистих ґрунтів, в тому числі і мерзлого, використовують метод лунок.

Радіоізотопні методи проводяться за допомогою приладів, робота яких базується на розсіюванні та поглинанні гамма-випромінювання і нейтронів.

Дорожно-будівельні лабораторії повинні видавати рекомендації відносно вибору раціонального режиму роботи машин, порядку пошарового укладання ґрунтів в залежності від гранулометричного складу. Разом з тим, вони повинні визначати допустиму товщину ущільнювального шару та число проходів (ударів) техніки по одному сліду. Під час ущільнення ґрунтів максимальна їх ступінь щільності досягається на робочій поверхні земляного полотна, а в глибину і в сторони - зменшується. Тому, у зв'язку з цим визначається ущільнена зона ґрунту та зона поширення ущільнення. Зона поширення ущільнення це товщина ґрунту  $h'$ , в межах якої спостерігається підвищення його щільності. Вона поширюється від поверхні на глибину до меж щільності сухого ґрунту, де вона підвищується щонайменше як на  $0,02 \text{ т/м}^3$  від запроектованої. Під ущільненою зоною слід розуміти таку товщину ґрунту, у якій щільність сухого ґрунту становить не нижче запроектованої або допустимого мінімального значення.

## Розділ 2.

### МАШИННЕ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ

#### 2.1. Загальні відомості про ущільнення машинами

За принципом взаємодії з ґрунтом розрізняють машини статичної (укочування) і динамічної (трамбування і вібрація) дії, а також, як зазначалося вище, застосовують і комбіновані методи ущільнення: віброукочування, вібротрамбування і поєднання укочування з трамбуванням. Вони в залежності від способу їх переміщення бувають причіпні та самохідні, а також у вигляді навісного обладнання до базової техніки.

Відповідно до виду робочого органу ущільнюючі машини поділяються на: котки статичні та вібраційні з гладкою, кулачковою та ґратчастою металевою обичайкою та котки пневмоколісні; трамбуючі машини на базі гусеничних тракторів, ручні трамбівки з електричним або бензиновим двигуном, а також трамбувальні засоби на базі гідромолотів гідравлічних екскаваторів; самопересувні та причіпні до базових шасі віброплити, а також віброплити, що закріплюються на стрілі екскаватора замість ковша (рис. 2.1). Під дією сили тяжіння машин у місцях контактів робочих органів з ґрунтом створюються тиски, що викликають внутрішнє напруження та деформації ущільнювального матеріалу. Інтенсивність створення незворотних деформацій визначає ефективність роботи засобів ущільнення.

Крім того, всередині кожного з типів, ущільнюючі машини умовно поділяються за своєю масою на легкі, середні та важкі.

Згідно з прийнятою індексацією, ущільнюючим машинам присвоюється індекс ДУ (дорожній ущільнювач), після нього встановлюється порядковий номер реєстрації в реєстрі завдання на проектування. Так, наприклад, для дорожньої причіпної кулачкового котка встановлено індекс ДУ-26А, що означає: ДУ - дорожній ущільнювач; 26 - порядковий номер за реєстром; А - порядкова буква алфавіту після першої модернізації котка.

Вибір способу ущільнення та відповідної машини, її типорозміри визначаються конкретними умовами будівництва.

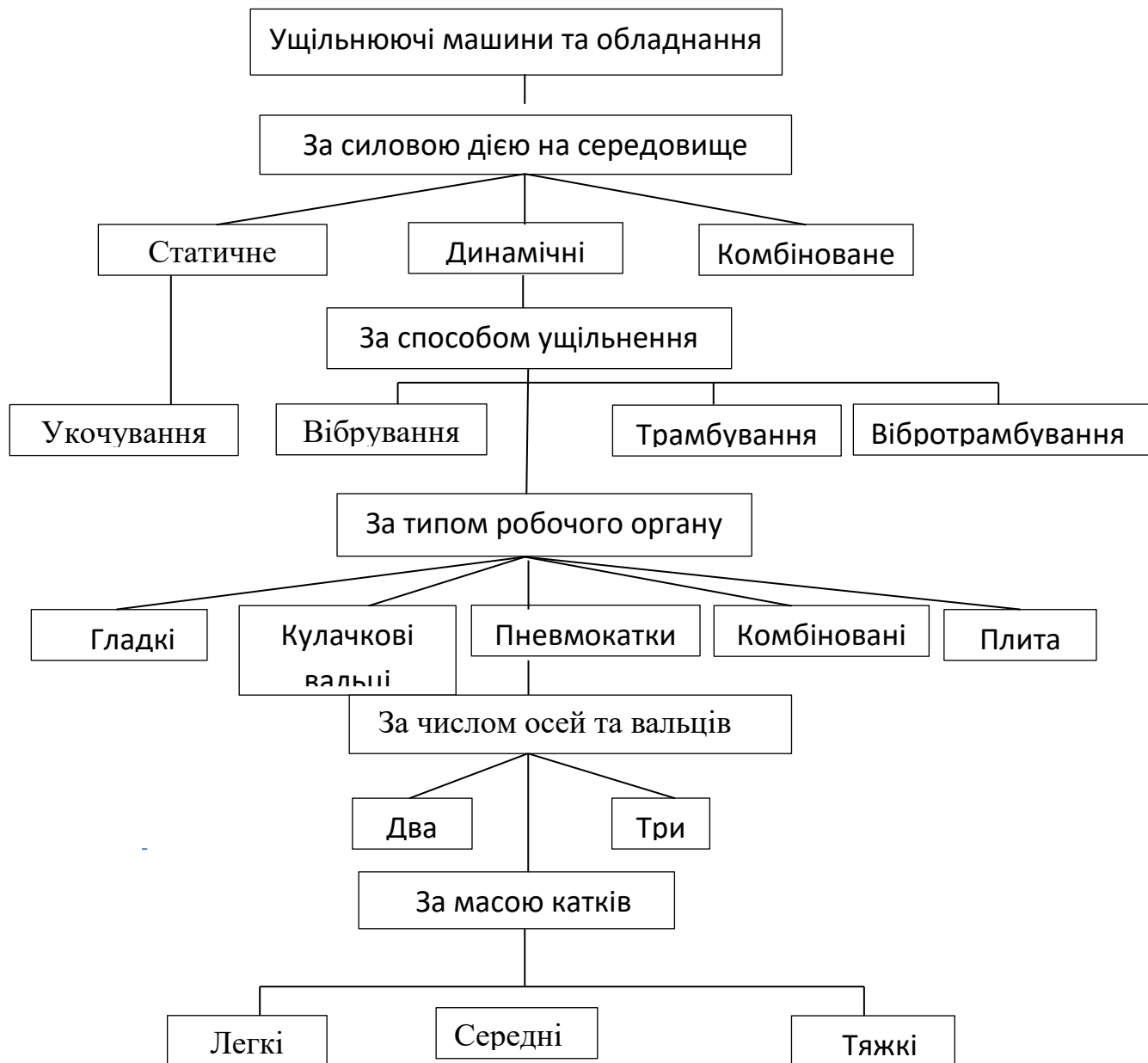


Рис. 2.1. Класифікація ущільнюючих машин і обладнання

Для штучного ущільнення ґрунтів, гравійно-щебених основ та асфальтобетонних сумішей під час спорудження земляного полотна основ та покриттів міських доріг, площ та вулиць застосовують широкую номенклатуру машин, що здійснюють ущільнення укочуванням, трамбуванням та вібрацією. При ущільненні частинки ґрунту або матеріалу зміщуються і вкладаються компактніше за рахунок витіснення рідкої і газоподібної фаз, що призводить до зменшення об'єму ґрунту (матеріалу) і формування більш щільної і міцної його структури.

Орієнтовні значення оптимальних вологостей та максимальних щільностей ґрунтів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Ґрунти	Оптимальна вологість, %	Питома вага, кН/м <sup>3</sup>	Об'єм повітря у порах ґрунту, %	Об'ємна маса скелета ґрунту, г/см <sup>3</sup>
Піщані	8–12	25,7	6	2,05–1,90
Супіщані	10–15	25,8	6	1,97–1,78
Глинисті	18–21	26,0	5	1,72–1,63
Суглинисті	14–19	26,2	5	1,86–1,70
Чорноземи	20–25	25,2	5	1,80– 1,52

Розвиток конструкцій ущільнюючих машин йде у напрямку розширення виробництва пневмоколісних та комбінованих котків, трамбувальних машин ударної та вібраційної дії, підвищення ефективності ущільнюючих органів, застосування багаторежимних вібраційних ущільнюючих органів з регульованими параметрами, застосування гідравлічних приводних систем та трансмісій ущільнюючих машин, зниження рівня вібрації та шуму.

## 2.2. Ущільнення ґрунтів укочуванням

Машини статичної дії представлені котками, які переміщуються по ущільнюючій поверхні кількома проходами по одному сліду щоб досягти необхідної щільності ґрунту на визначеній ділянці.

Ущільнення ґрунтів укочуванням застосовується для всіх видів піщаних, глинистих, великоуламкових ґрунтів на вільних ділянках і при великому фронті робіт, що забезпечує достатню маневреність механізмів. Укочування ґрунтів в основному здійснюється для пошарового ущільнення під час зведення ґрунтових подушок, планувальних насипів, земляних споруд різного призначення, підсипанні та підготовці основ тощо.

Ефективність ущільнення ґрунтів укочуванням залежить, в основному, від їх вологості, виду та типу застосовуваних механізмів. Найбільша



ефективність ущільнення досягається у великоуламкових ґрунтах; в глинистих і піщаних ґрунтах це досягається при їхній оптимальній вологості.

Ущільнення ґрунтів укочуванням здійснюється самохідними та причіпними котками на пневматичному ході, навантаженими скреперами, автомашинами, тракторами. Розрізняють котки статичної дії та вібраційні. Котки ефективні в роботі на лінійних об'єктах великої протяжності або на великих площах. За типом робочого органу котки бувають з гладкими, кулачковими та ребристими вальцями чи пневмоколісні.

**Гладкі котки** ущільнюють ґрунт шарами 0,16 – 0,2 м без розпушування його поверхні або з незначним розпушуванням завглибшки 1–3 см (у незв'язних ґрунтах). Їх застосовують переважно для прокочування в один-два проходи поверхні ґрунту, ущільненої іншими котками, для укочування щебеню та ущільнення дорожнього покриття. На котках передбачають скребки для знімання налиплого матеріалу. При укочуванні асфальтобетону вальці змащують.

**Кулачкові котки** виготовляють причіпними (рис. 1, а). Вони мають робочі органи у вигляді кулачків 2 спеціальної форми і закріплюються до бандажів, які встановлюються на порожнистий барабан 1. Останній заповнюють баластом (найчастіше піском). Поверхня від налиплого ґрунту очищується штирями, встановленими між рядами кулачків. Маса котків становить 6 – 30 т і розрізняються за розмірами барабанів, кількістю, формою та висотою кулачків. Вони ефективні для роботи на грудкуватих та зв'язних ґрунтах. Можуть ущільнювати шар ґрунту завтовшки 0,4 м, недоліком є розпушування поверхні цього шару.

Робочі поверхні ребристих котків виготовляють із кількох співвісних кільцевих бандажів із хвилеподібними зовнішніми поверхнями, виступи яких розміщені в шаховому порядку.

Обічайка ґратчастого котки виготовлена з прутків і має квадратну форму. Під час роботи подібно до кулачкових ребристі й ґратчасті котки здійснюють глибинне ущільнення ґрунту, заглиблюючись у нього ребрами чи прутками.

Для уочування ґрунту на невеликих площах використовують комплект із кількох (до п'яти) котків, поєднаних спільними траверсами.

**Пневмоколісні котки** можуть бути **причіпними** (рис. 2.2, б), **напівпричіпними** (рис. 2.2, в) й **самохідними** (рис. 2.2, г). Ґрунт ущільнюється пневматичними колесами 4, на які передається навантаження від баластних ящиків 3. Причіпні й напівпричіпні котки мають незалежну підвіску кожного колеса з баластним ящиком, що уможлиблює рівномірне ущільнення незалежно від рельєфу ґрунту. Їх застосовують для пошарового ущільнення зв'язних і незв'язних ґрунтів шаром понад 0,45 м. Необхідна щільність ґрунту досягається за 6 – 8 проходів у зв'язних та за 3 - 4 – у незв'язних ґрунтах.

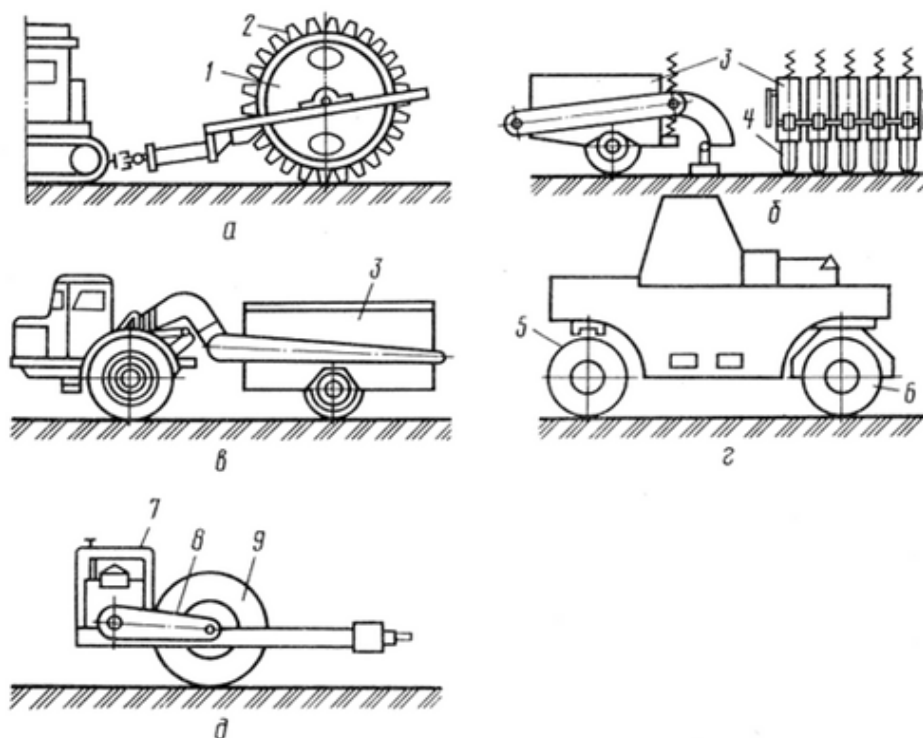


Рис. 2.2. Схеми ущільнювальних котків: а - причіпного кулачкового; б - причіпного пневмоколісного; в - напівпричіпного пневмоколісного; г - самохідного пневмоколісного; д - причіпного вібраційного;

1 - барабан; 2 - кулачки; 3 – баластні ящики; 4 - пневмоколеса; 5, 6 - відповідно передні керовані і задні ведучі пневмоколеса; 7 - двигун внутрішнього згорання; 8 - клинопасова передача; 9 - валець з віброзбурювачем коливань.

Самохідні пневмокотки виготовляють з міцно закріпленими на рамі осями пневмоколіс і застосовують в основному для ущільнення дорожніх основ та покриттів. Їх перевага в порівнянні з гладкими котками полягає в тому,

що під час укочування вони не розтискають щербінь. Робочий орган самохідних колісних котків – передні керовані 5 та задні ведучі 6 пневмоколеса, взаємне розташування яких дозволяє одержати суцільну смугу ущільненого матеріалу.

Для ущільнення піщаних і глинистих ґрунтів укочуванням не рекомендується застосовувати котки з гладкими вальцями, а також кулачкові котки. Це пояснюється тим, що під час роботи обладнання при заповненні простору між кулачками ґрунтом глибина ущільнення зазвичай буває незначною і не перевищує 0,2– 0,4 м. Більшу продуктивність та кращу прохідність можна досягнути застосовуючи зчіпку із кількох котків (рис. 2.3).

Кожний прохід котка характеризується усадкою ґрунту  $h_n$  та горизонтальною проекцією опорної поверхні –  $b_n$ . Із збільшенням числа проходів ці параметри поступово зменшуються.

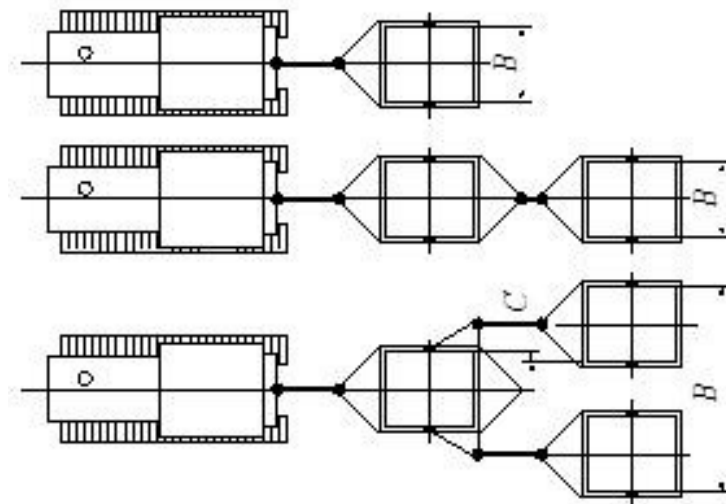


Рис. 2.3. Зчіпки котків: *a* – одиночна; *б* – подвійна; *в* – потрійна; *B* – ширина смуги ущільнення.

Ширину смуги ущільнення можна визначити як  $B = 3B - 2C$ ; де  $C$  – перекриття смуг ( $C = 0,1 \dots 0,2$  м). Середній питомий тиск на ґрунт дорівнює

$$q_n = Q / b_n B, \text{ Н/см}^2 \quad (2.1)$$

де  $Q$  – сила ваги котка, Н;

$B$  – ширина котка (довжина утворюючої циліндра), см;

$b_n$  – горизонтальна проекція опорної поверхні, см.

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

$$q_l = Q / B, \text{ Н/см} \quad (2.2)$$

У дотичній площині контакту котка розподіл тиску є нерівномірний. Епюри тиску різних котків на ґрунт наведено на рис. 2.4.

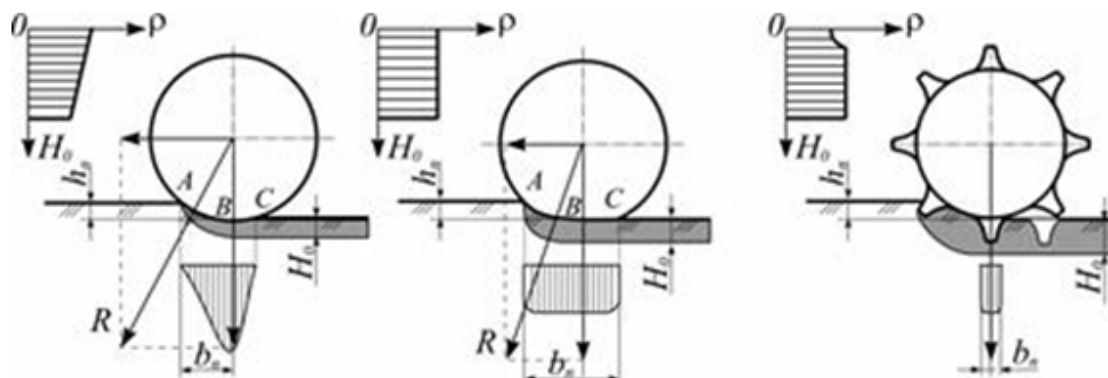


Рис. 2.4. Схеми взаємодії котка з ґрунтом: *a* – гладкий коток; *б* – пневмоколісний коток; *в* – кулачковий коток;  $H_0$  – товщина шару ущільнення;  $R$  – результуюче зусилля тиску на ґрунт

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

для гладких котків:

$$H_0 = A \frac{\omega}{\omega_0} \sqrt{qR}, \quad (2.3)$$

для пневмоколісних котків:

$$H_0 = A \frac{\omega}{\omega_0} \sqrt{\frac{Qp}{1-\xi}} \quad (2.4)$$

для кулачкових котків:

$$H_0 = 0,65(L - 0,25b - h_1) \quad (2.5)$$

де  $\omega$ ,  $\omega_0$  – відповідно вологість ґрунту, що ущільнюється і оптимальна вологість, %;

$R$  – радіус котка;

$q$  – лінійний тиск котка,  $\text{кН/см}$ ;

$p$  – тиск в шині,  $H/cm^2$ ;

$Q$  – сила ваги одного колеса пневмоколісного котка, кН;

$\xi$  – статичний коефіцієнт жорсткості шини;

$B$  – товщина кулачка;

$L$  – довжина котка;

$A$  – експериментальний коефіцієнт (для гладких котків – 0,28 для зв'язних ґрунтів і 0,35 – для незв'язних; для пневмоколісних котків – 0,2);

$h_1$  – товщина розпушеного шару після проходження кулачкового котка.

Під час використання гладких циліндричних котків ґрунт необхідно вкладати і розрівнювати шарами малої товщини. Для підвищення ефективності ущільнення на гладкі котки за допомогою болтів закріплюють бандажі із закріпленими на них кулачками. Сумарна опорна поверхня кулачків становить 4...6% поверхні циліндра, а тому, значно збільшується питомий тиск на ґрунт і зростає глибина ущільненого шару. Найбільша глибина ущільненого шару ґрунту співрозмірна з подвійною висотою кулачка. За цих умов, в порівнянні з гладким котком тієї ж ваги, величина шару приблизно в два рази більша.

Котками з гладкими вальцями ущільнюють ґрунти, головним чином на фінішній (кінцевій) стадії ущільнення верхнього шару насипу, наприклад, який буде основою дорожнього полотна.

Котками на пневмоколісному ході (причіпними і самохідними) в результаті довготривалого навантаження шинами, можуть бути ущільнені всі види ґрунтів. Кількість проходів такого котка одним слідом може складати орієнтовно 2...3 для піщаних ґрунтів, 5...6 для суглинистих і важкосуглинистих ґрунтів і 3...4 для супіщаних ґрунтів. Котками масою до 10т при двох–десяти проходах котка по одному сліду ущільнюють шари товщиною 10 ... 25 см. Котками масою до 45 т при тій же кількості проходів по одному сліду можна ущільнити ґрунт товщиною 25 ... 50 см.

Кулачкові котки рекомендується застосовувати для ущільнення глини, суглинків і глинистих ґрунтів з домішкою щебеню і гравію. Для на незв'язних ґрунтів застосування кулачкових котків є неефективним. Тому використовувати їх для ущільнення пісків, сланцевих глин і сильно зволжених глинистих

ґрунтів не рекомендується. Не слід використовувати кулачкові котки для вже порівняно щільних ґрунтів. Такими машинами масою до 5 т при восьми - вісімнадцяти проходах котка по одному сліду ущільнюють шар товщиною 10 ... 20 см, а важкими (25 ... 30 т) – товщиною 50 ... 65 см при 4...10 проходах.

Схеми руху котків повинні відповідати розмірам поперечного перерізу насипів. Залежно від його ширини, ущільнення може здійснюватись з розворотом на насипі, а також зі з'їздом з нього. В останньому випадку для розвороту котка за межами насипу необхідно здійснювати з'їзди і виїзди.

Під час будівництва якісного насипу земляну споруду розбивають на окремі ділянки (карти), на яких проводиться ущільнення ґрунту. Товщина шару ґрунту залежить від робочої спроможності котка і визначається технічною характеристикою.

Довжину ділянки, як правило, приймають 100...300 м. Ущільнення земляної споруди повинно проводитись від країв до середини. При цьому кожна наступна смуга повинна перекривати на 0,1...0,2 м попередню .

Від краю насипу котки проходять не ближче 0,5 м, а неуцільнена зона вздовж укосу зрізується і направляється в насип.

### **2.3. Технологія ущільнення ґрунтів**

Під час ущільнення застосовують дві схеми руху ґрунтоущільнюючих машин (рис. 2.5): кільцеву або човникову. При ущільненні насипу перші проходи роблять на відстані 2 м від його краю; при наступних проходах наближуються до краю насипу, перекриваючи кожен слід не менше ніж на 0,15-0,2 м. Потім машину розвертають і переходять на смугу, розташовану далі 2 м (від краю), поступово наближаючись до середини земляного полотна. З практичного досвіду встановлено, що зверху ширину насипів слід приймати більше на ширину вальця котка типу тандем, але не менше 0,5 м.

Після закінчення ущільнення зайвий ґрунт переміщують на сусідні ділянки або роблять пологими укоси в нижній частині насипів. У цьому випадку роботи збільшуються на 1—2 % від загального обсягу, але при цьому значення відносного коефіцієнта ущільнення ґрунтів підвищується до 0,98... 1, що гарантує стійкість укосів насипів.

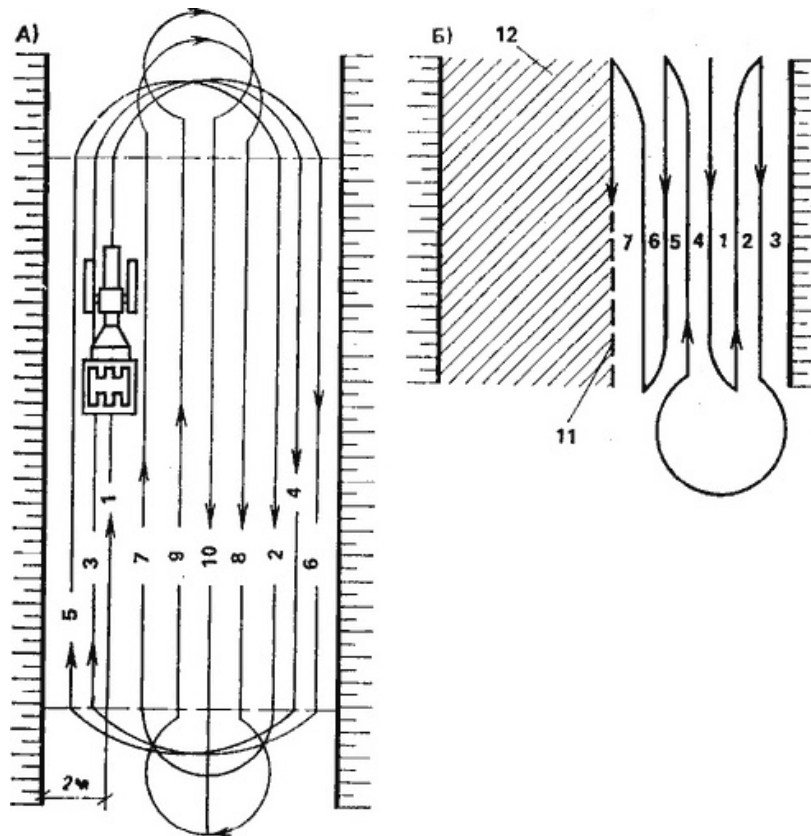


Рис. 2.5. Схеми можливих проходів котка під час ущільнення: *a* — кільцеве переміщення; *б* — човникове; 1 ... 10 — послідовність проходів; 11 — вісь вулиці; 12 — спланований ґрунт

Розглянута кільцева схема руху котків, як правило, використовується при довгих захватах, коли зменшується час на повороти. Цю схему слід також застосовувати під час використання причіпних котків. Для самохідних котків можна застосовувати обидві схеми руху. У міських умовах найчастіше довжина захватів не перевищує 200-300 м. Тому тут зазвичай застосовують човникову схему руху котків.

Незалежно від прийнятої схеми руху спочатку по пухкому ґрунту котки повинні рухатися вперед веденими вальцями. Якщо ущільнюють ґрунт з непорушеною структурою (наприклад, у виїмці або нульовому профілі), перші проходи ущільнюючі засоби здійснюють у їх вертикальних стінах, а потім поступово наближуються до осі.

На ділянках з поздовжнім ухилом, рівним поперечному або більшому за нього, ущільнення ґрунтів завжди починають знизу і рухаються до вершини опуклої вертикальної кривої. Спочатку проходять котки легкого типу, якими

здійснюють 20-30% від загальної кількості проходів, встановлених дослідним шляхом або прийнятих за нормами. В результаті цього відбувається краще впаковування ґрунтових зерен, без істотного механічного зношування ґрунтових агрегатів та витискання ґрунту з-під робочих органів ущільнюючих машин важкого типу.

Довжину захвату вибирають відповідно до рекомендацій продуктивності котків. Швидкості руху котків залежать ступінь ущільнення ґрунту та вартість ущільнення. З підвищенням швидкості супроводжується зменшенням часу впливу котка на ґрунт і зниженням ступеня його щільності. У зв'язку з цим значення швидкості рекомендується попередньо уточнювати для конкретних умов роботи.

Орієнтовна продуктивність окремих котків, що рухаються зі швидкістю  $V \geq 2,5$  км/год, при ущільненні зв'язкових ґрунтів до  $K_o = 0,95$  при довжині захвату  $L < 500$  м та оптимальній глибині ущільнення. При підвищенні необхідного ступеня ущільнення продуктивність котків знижується, яке враховується поправочним коефіцієнтом  $K_c$ , відповідно до формули. Під час розрахунків значення  $K_c$  приймають рівним 1; 0,6 та 0,5 – 0,3 відповідно при  $K_o$  рівному 0,95; 0,98 та 1.

При реконструкції міських вулиць захвати слід завжди призначати меншої довжини (200 м), тому продуктивність котків зменшується не менше як на 20%. Ефективність котків значно підвищується із збільшенням їхньої маси.

**Причіпні й самохідні вібраційні котки.** Ці пристрої у 8 - 10 разів ефективніші, від котків статичної дії. Вони застосовують для ущільнення незв'язних і малозв'язних ґрунтів. Під дією вібрації значно зменшується сила тертя та зчеплення між частинками, що сприяє їх щільнішому укладанню.

Причіпні котки бувають зі змінними і ґратчастими вальцями. Всередині причіпного котка 9 (рис. 2.2, д) встановлюють віброзбурювач коливань, який урухомлюється від двигуна внутрішнього згоряння 7 завдяки клинопасової передачі 8.

Самохідні віброкотки бувають одно-, дво- і тривальцьовими. Вмонтовані віброприводи бувають механічними або гідравлічними (2.6).



*Гладкий коток*



*Віброкоток*



*Кулачковий коток*



Рис. 2.6. Промислові взірці котків

Самохідні комбіновані котки облаштовуєть ведучим вальцем з пневматичних шин та керованим гладким металевим вальцем. Ефективність таких котків досягається за рахунок одночасної дії вібрації і статичного навантаження. Як правило, використовується гідравлічний привод ведучих вальців та збурювання коливань. При цьому сила віброзбурювача коливань може регулюватися і становити 150–200 кН. Продуктивність комбінованих котків під час роботи на незв'язних грунтах становить до 1000 м<sup>3</sup>/ч.

#### **2.4. Ущільнення трамбувальними машинами**

Трамбувальні машини застосовують для пошарового ущільнення насипних важких зв'язних і незв'язних ґрунтів шарами 1...1,5 м, а також ґрунти у природному заляганні. Як правило, таке трамбування проводиться за допомогою, так званої, важкої спеціальної техніки: тракторами, навантажувачами, підйомниками тощо. Вони оснащуються масивними робочими органами у вигляді вільнопадаючих з висоти 2-6 метрів трамбувальних плит вагою від 2 до 15 тонн або вантажів інших геометричних форм з опорною поверхнею (основою) близько 1 м<sup>2</sup> круглої або квадратної в плані форми, виконаних з чавуну або залізобетону такої ж ваги (рис. 2.7).

Необхідна щільність насипного ґрунту досягається за рахунок 3...6 ударів плити по одному місцю. Одержаний при цьому результат (ступінь ущільнення) оцінюється обсягом виконаної роботи і визначається добутком ваги застосовуваного робочого органу на висоту скидання та їх кількості.

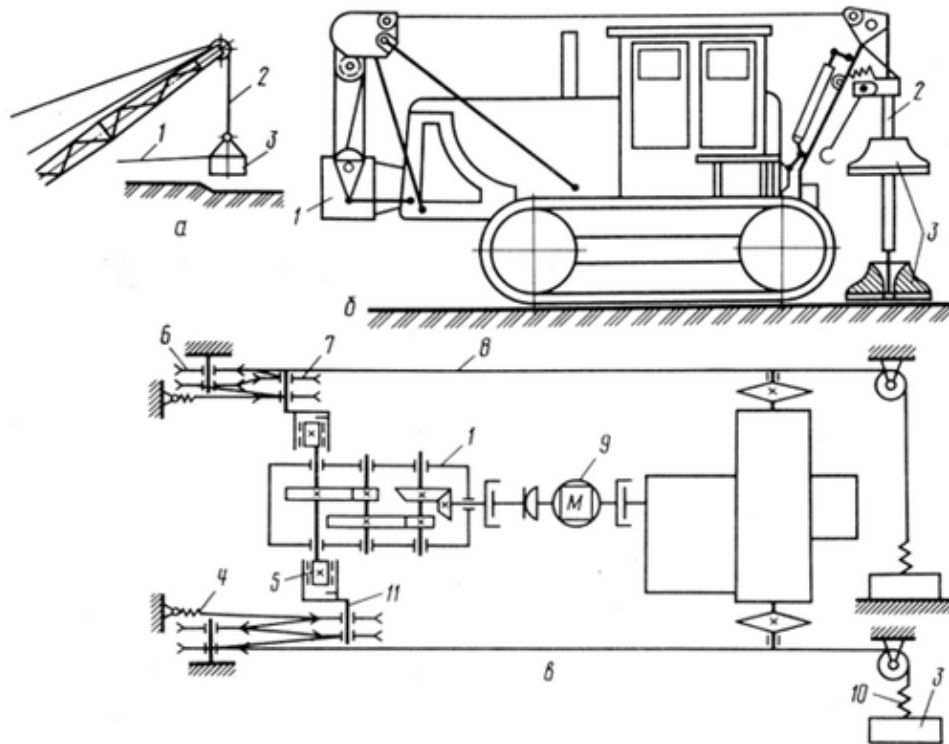


Рис. 2.7. Трамбувальні машини: *a* - на базі екскаватора-драглайна; 1 - канат для запобігання закручування вантажу; 2 - підйомний канат; 3 - вантаж; *б, в* - на базі трактора (*б* - зовнішній вигляд; *в* - кінематична схема); 1 - редуктор відбору потужності; 2- напрямляючі штанги; 3- ущільнюючі муфти; 5 - обгінна муфта; 6, 7 - нерухомі та рухомі блоки поліспасти; 8 - канати; 9 - двигун трактора; 11 - кривошипи.

Машинне трамбування здійснюється циклічно або безперервно. На рис. 2.7 представлено циклічне ущільнення на базі екскаватора-драглайна. Вантаж 3 масою 1...1,5 т, закріплений до підйомного каната 2 екскаватора або стрілового самохідного крана. Плити піднімають вантажною лебідкою на висоту 1...2 м і скидають на ущільнюючий ґрунт. Канат 1 запобігає закручування вантажу. Частота ударів вибирається в межах  $0,05...0,1 \text{ с}^{-1}$ , а енергія одинарного удару становить 10...15 кДж. Після закінчення ущільнення однієї смуги екскаватор переміщується на нову позицію з кроком, який дорівнює ширині плити мінус перекриття. Сила удару прямо пропорційна масі плити ( $G$ ), висоті скидання ( $H$ ) і обернено пропорційна тривалості удару і глибині занурення плити за один удар ( $h$ ). Продуктивність такого обладнання невелика, а вартість виконання робіт – немала. Такі машини циклічної дії доцільно застосовувати для роботи на об'єктах з невеликими обсягами робіт і обмеженим виробничим простором.

При значних обсягах робіт слід використовувати самохідні трамбуючі машини безперервної дії на базі гусеничних тракторів тягового класу 100 кН. Трактор обладнують сповільнювачем ходу, що забезпечує його повільний безперервний рух у процесі трамбування. Грунт ущільнюють двома чавунними плитами 3 (див. рис. 2.7, б, в), які по чергово підіймають і опускають, ковзаючи по напрямляючих штангах 2. Плити підвішено на канатах 8 через обвідні блоки 7, прикріплених до вантажів і до рами машини через пружинні амортизатори 4 і 10, що зменшують динамічні навантаження в канатах. Рухомі блоки 7 поліспаств змонтовано на кривошипях 11. Вони приводяться в дію від двигуна трактора 9 через редуктор відбору потужності 1. При підйманні вантажу кривошипи міцно з'єднано з валом редуктора, а при опусканні вони від'єднуються від вала редуктора за допомогою обгінних муфт 5. Для компенсації переміщення машини в момент контакту вантажу з грунтом штангу 2 закріплюють до рами за допомогою еластичної підвіски. Швидкість руху машини підбирається такою, щоб можна було реалізувати необхідну кількість ударів по одному сліду. Так, під час руху трактора на понижених швидкостях плити після піднімання на висоту 1,1...1,3 м автоматично по черзі падають на поверхню ґрунту та ущільнюють смугу шириною, що дорівнює захопленню обох плит. Частота ударів плит становить 0,4...0,5 с<sup>-1</sup>, енергія одинарного удару 14...16 кДж. Продуктивність ущільнюючих машин (м<sup>3</sup>/год) безперервної дії можна визначити за формулою

$$P_3 = ((B - b) v 1000h/m) k_b \quad (2.6)$$

де  $B$  - ширина смуги ущільнення, м;  $b$  - ширина перекриття суміжних смуг ущільнення м, ( $b = 0,1$  м);  $v$  - середня робоча швидкість руху машини, км/год;  $h$  - товщина шару ущільнення, м;  $m$  - необхідна кількість проходів по одному місцю;  $k_b$  - коефіцієнт використання машини за часом ( $k_b = 0,8 \dots 0,85$ ).

Для трамбуючої плити

$$P_m = 60(a - b)2h/z, \quad (2.7)$$

де  $n$  - число ударів плити в 1 хв;  $a$  - розмір опорної поверхні плити (сторони квадрата або діаметр), м;  $z$  - необхідна кількість ударів плити по тому самому місцю.

На рисунку 2.8. приведена технологічна схема для машин динамічної дії.

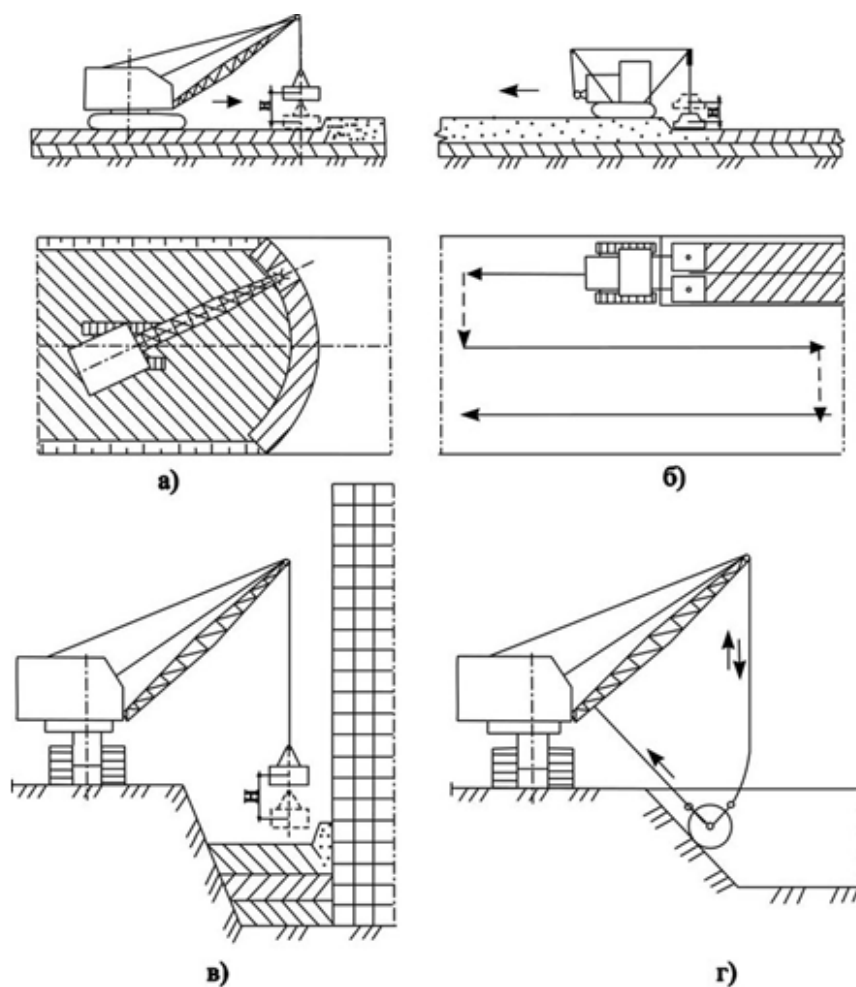


Рис. 2.8. Ущільнення ґрунту машинами динамічної дії: *а* – плитами на базі крана-екскаватора; *б* – ущільнюючою машиною на базі трактора; *в* – при засипанні котлованів; *г* – при закріпленні укосів

Проте, важкий режим роботи техніки призводить до значних динамічних навантажень на її вузли, що зменшує робочий ресурс машини в цілому.

## 2.5. Вібраційне ущільнення

Вібрація або вібраційне ущільнення є одним з найбільш ефективних способів механічного впливу на ґрунт, при якому досягається максимальний рівень контакту між його частинками і повністю видаляються порожнечі. Вібрація, в порівнянні з іншими способами, уможливорює досягнення високого глибинного ефекту ущільнення ґрунту при невеликій кількості проховів.

До таких засобів, що працюють на використанні цього ефекту відносяться віброплити. Залежно від типу живлення вони поділяється на електричні, дизельні та бензинові.

Електричні пристрої в основному застосовуються під час ущільнення поверхні в закритих приміщеннях та на ділянках де є доступ до електромережі. Характеризуються електричні віброплити порівняно невеликою вагою і габаритами, тому з керуваннями і транспортуванням легко справиться навіть одна людина. Мала вага робить цей тип техніки найбільш ефективним для ущільнення основ з крихких матеріалів.

Дизельні віброплити використовуються на великих об'єктах, в тому числі і у промисловому будівництві. Проте для невеликих об'єктів вони нерентабельні, оскільки відрізняється великою масою, габаритами та вартістю.

Бензинова віброплита вважається оптимальним варіантом, попри зручність експлуатації, вона вважається найбільш універсальною. Проте такі віброплити під час роботи продукують вихлопні гази, а тому можуть застосовуватися лише на відкритих на будівельних майданчиках та приміщеннях з хорошою вентиляцією. Завдяки високій маневреності та компактності, бензинові віброплити здатні працювати в умовах обмеженого простору і на важкодоступних ділянках (біля стін, вздовж тротуарів тощо).

Більша частина віброплит відносяться до самохідних пристроїв (рис. 2.9).

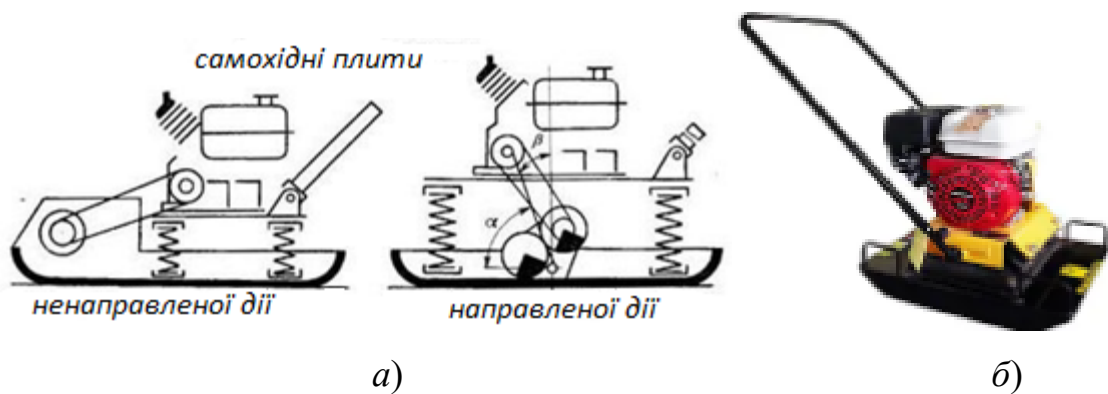


Рис. 2.9. Самохідні віброплити: а – схеми конструктивного виконання;  
б – промисловий взірець

**Вібропривод.** До робочої плити прикріплюється двигун і механізм, який генерує механічні коливання (вібрацію). Під час роботи обертальний рух приводу передається у пристрій, який продукує коливальні рухи для плити. В залежності від конструкції віброприводу віброплити можуть рухатись як в одному напрямку (одновальцеві), так і у двох, вперед і назад, (двовальцеві).

Самопересувні пристрої доцільно застосовувати під час ущільнення незв'язних ґрунтів, які відсипаються шарами товщиною 0,7 - 0,8 м, на прямолінійних ділянках невеликої довжини шириною 50 - 100 м з подовжніми невеликим ухилами. Найкраще ущільнення досягається при вологості 10 - 15 %.

Віброплита – це пристрої, що добре зарекомендували себе в роботах, скерованих на ущільнення піску, щебню під час будівництва будинків, прокладання тротуарів, доріжок, укладання тротуарної плитки та вирівнювання асфальту. За допомогою великої площі робочої плити утрамбована поверхня виходить однорідною. Глибина ущільнення варіюється від 200 до 900 мм, і залежить від технічних характеристик цього обладнання та його ваги.

## **2.6. Інші способи ущільнення**

*Ущільнення ґрунтів важкими трамбовками.* Ущільнення ґрунтів важкими трамбуванням проводиться вільним скиданням за допомогою крана-екскаватора з висоти 5-10 м трамбування діаметром 1,4-3,5 м і вагою 40-150 кН. Важке трамбування застосовуються для ущільнення всіх ґрунтів у їх природному заляганні (засолених, насипних, пухких піщаних ґрунтів), а також відсипаних під час підготовки основ під фундаменти, підготовленні ґрунтових подушок, зведенні запланованих насипів, земляних споруд тощо.

Ефективність ущільнення ґрунтів важкими трамбуваннями визначається діаметром, вагою, висотою скидання трамбування, а також ступенем щільності, вологості, структурною міцністю ущільнюваних ґрунтів.

*Глибинне ущільнення пробивкою свердловин.* Глибинне ущільнення ґрунтів пробиванням свердловин полягає в тому, що в ущільнюваному масіві пробивають свердловини ударним снарядом з витісненням ґрунту в сторони і створенням навколо них ущільнених зон. Згодом ці свердловини засипають місцевим ґрунтом із пошаровим ущільненням тим самим снарядом.

*Ущільнення підводними та глибинними вибухами.* Ущільнення ґрунтів вибухами полягає в одночасному підриванні у водному або ґрунтовому середовищі встановлених за певною сітчастою схемою на деякій глибині від поверхні зарядів вибухової речовини, під впливом яких відбувається руйнування існуючої структури ґрунту та його додаткове ущільнення.

## Розділ 3.

### ПРОЕКТУВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ САМОПЕРЕСУВНОЇ ВІБРОПЛИТИ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ

Вібраційні засоби відносяться до універсальних методів ущільнення ґрунтів. Вони ефективні в роботі на обмеженій в плані поверхні з піском, щебнем, різноманітними типами ґрунту, каменем, тротуарною плиткою тощо. За масою віброплити поділяються на легкі, середні і важкі. За принципом роботи вони бувають:

- одномасні (коливання на ґрунт передаються всією плитою);
- двомасні (активно діє лише нижня частина робочого органу, а верхня збільшує загальний тиск і де встановлюється привод);
- віброударні (робочий орган – вібромолот, пружно монтується на рамі).

У даному розділі розглянемо роботу самопересувної вібраційної плити спрямованої дії, основні засади їх проектування та деякі результати експериментального дослідження.

#### 3.1. Будова і принцип дії самопересувної віброплити

Самопересувні вібраційні ущільнюючі пристрої представляють собою піддон (плиту), на якому встановлений, як в нашому варіанті, вібратор спрямованої дії (рис. 3.1.). Він складається з корпусу 1, який містить два вала 4 поміщених у його підшипникові опори з неврівноваженою масою 5 (дебалансний вібратор). Знизу корпус через шарнірне з'єднання 3 сполучений з робочим органом – плитою 2, а зверху на його кришці 7 на пружних опорах 8 встановлений електродвигун 10, який окрім приводу відіграє функцію вагового довісу. Крутний момент через пасову передачу 9 від електродвигуна 10 передається на вал 4 дебалансного віброприводу. Обидва вали кінематично сполучені зубчастою передачею 6 із зовнішнім зачепленням таким чином, що вони обертаються синхронно синфазно. При цьому генероване динамічне навантаження сумісно із статичним (вага пристрою) здійснює силову дію на поверхню оброблювального ґрунту.

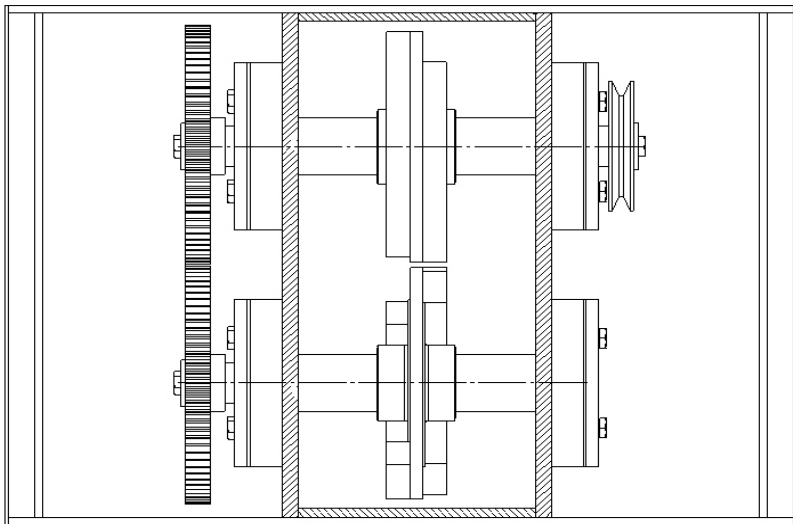
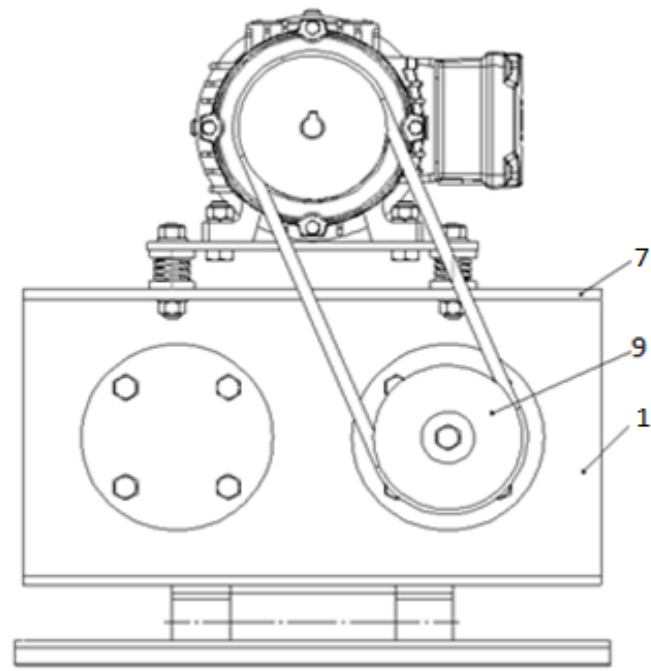
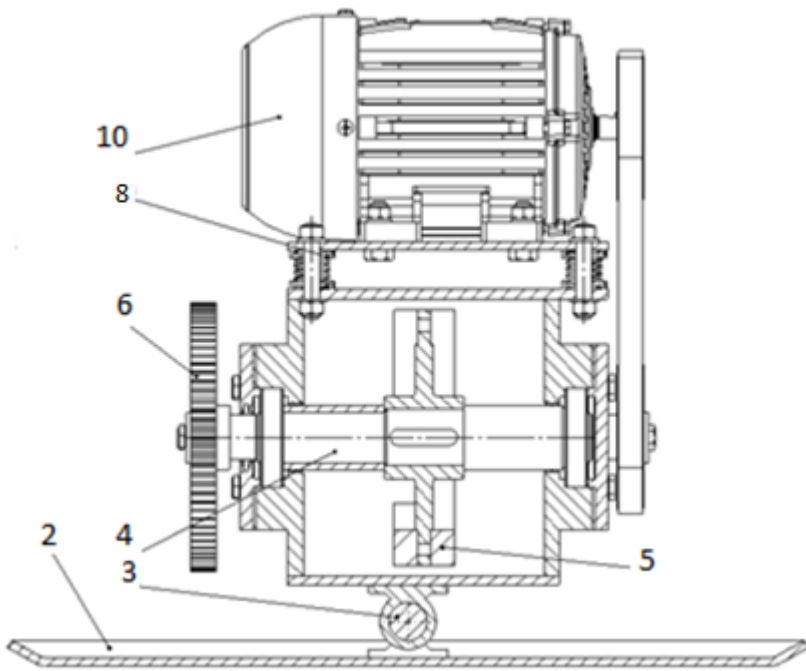


Рис. 3.1. Конструктивна схема віброплити: 1 – корпус; 2 – плита; 3 – шарнірне з'єднання; 4 – вал вібратора в зборі; 5 – дебалансний вібратор; 6 – зубчаста передача; 7 – кришка корпусу; 8 – пружні опори; 9 – пасова передача; 10 – електродвигун

Під час роботи пристрою відбувається ущільнення ґрунту та одночасне самостійне переміщення віброплити в заданому напрямку під дією горизонтальної складової вимушеної сили.

### 3.2. Основні засади проектування самохідної віброплит

#### 3.2.1. Функціональні особливості віброприводу.

Вібратор (вібропривод) є одним з основних вузлів вібраційного пристрою і призначений для надання коливань робочому органу (плиті). Загалом відомі наступні типи вібраторів: інерційні, електромагнітні, пневматичні і гідравлічні.

Для правильного вибору типу привода для даної конструкції вібраційної машини і конкретних умов експлуатації необхідно керуватися основними її динамічними характеристиками і експлуатаційними конструкторськими



міркуваннями. Але при цьому всьому вирішальним чинником є можливість забезпечення заданих параметрів коливання. Незалежно від його типу вібратор повинен відповідати наступним вимогам:

- забезпечення потужністю заданого режиму роботи пристрою;
- мати стабільні амплітудно-частотні характеристики у межах допустимого;
- забезпечити простоту регулювання частоти і амплітуди коливань та плавність і надійність роботи обладнання;
- використовувати стандартні вироби, мати нескладне компонування вузлів, бути простим у виготовленні і економічним в експлуатації мати мінімальні габаритні розміри.

Використовуючи інерційний привод, завдяки якому можна одержати значні збурювального (вимушеного) зусилля, необхідно подбати про надійну конструкцію підшипникових вузлів вібратора, які сприймають їх. Слід зазначити, дебаланси бувають двох типів: з постійним в процесі пуску і зупинки статичним моментом маси та змінним. Перші носять назву постійних дебалансів, а другі – змінні або висувні дебаланси. Крім того, як перші, так і другі можуть бути регулюючі (плавно або ступінчасто) і нерегулюючі.

Основною характеристикою дебаланса є статичний момент маси  $mr$ . Нерухома і рухома частини дебаланса мають, зазвичай, однакові статичні моменти. Сумарний його статичний момент розраховується за формулою

$$mr = (mr)_{max} \cos \frac{\varphi}{2},$$

де  $(mr)_{max}$  – максимальний статичний момент дебаланса під час суміщення обох його частин;

$\varphi$  – кут повороту частин дебаланса відносно один одного.

### **3.2.2. Визначення основних конструктивних параметрів віброплити**

До основних параметрів віброплит відноситься розмір робочої площі плити, вага віброплити, частота коливань, величина збурювальної сили, швидкість пересування, потужність двигуна.

Необхідна розрахункова величина статичного моменту дебалансів визначається з рівняння

$$mr = (1,1 \dots 1,15)A_y \frac{\left(\frac{p_y^2}{\omega^2} - 1\right)}{\cos \gamma} M,$$

де  $M$  – маса коливальних частин;

$A_y$  – вертикальна складова амплітуди коливань;

$p_y$  – частота власних коливань;

$\omega$  – частота вимушених коливань.

При  $\cos \gamma \approx 1$  величина збурювальної (вимушеної) сили дебалансів знаходиться за формулою

$$P_0 = m r \omega^2 .$$

Статичні моменти і моменти інерції маси дебалансів відносно осі обертання для найбільш використовуваних форм (рис. 3.2), які би відповідали найменшому моменту інерції, визначаються за формулами наведеними у рекомендованій і довідковій літературі.

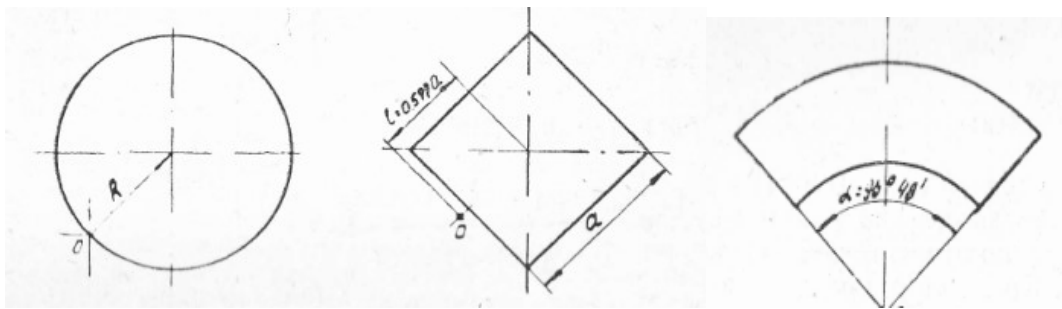


Рис. 3.2. Приклади оптимальної форми дебалансів

Маса неврівноваженої частини дебаланса визначаємо як

$$m = F b \gamma ,$$

де  $F$  – площа перерізу дебаланса;

$b$  – товщина неврівноваженої частини дебаланса;

$\gamma$  – густина матеріалу дебаланса.

**Параметри робочого органу.** Параметри плит вибирають на підставі рекомендацій одержаних експериментальним шляхом. Мінімальний розмір площі основи плити повинен бути більше товщини ущільнювального шару, тобто

$$B \geq h ,$$

де  $B$  – ширина площини основи;

$h$  – товщина ущільнюючого шару.

Під час вибору розмірів основи плити у напрямку руху можна користуватися формулою

$$B = \frac{Vt}{n},$$

де  $B$  – розмір основи плити у напрямку руху в м;

$V$  – швидкість переміщення віброплити в м/мм;

$t$  – необхідний час для повного ущільнення матеріалу в хв;

$n$  – необхідне число проходів по одній місцю.

За експериментальними даними довжину основи плити доцільно приймати рівною 1...1,5 її довжини.

**Дебаланси.** Конструктивно дебаланси виконуються у виді двох сегментів, закріплених на периферії диску. За рахунок їхнього зсуву один відносно другого можна регулювати величину нерівноваженої маси, а отже і амплітуду коливань (вібрації).

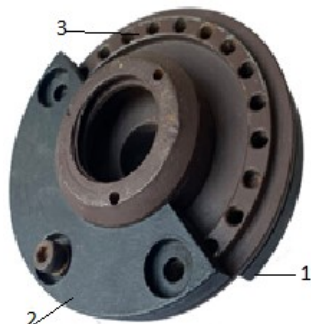


Рис. 3.3. Загальний вигляд дебаланса:  
1 і 2 – рухомі сегменти; 3 – диск із маточиною

Маса дебалансів визначається з умови рівноваги моментів інерції мас дебалансів і частин робочої камери разом з наповнювачем, що коливаються:

$$m(R-r) = M \cdot r,$$

де  $m$  - маса дебалансів;

$R$  - радіус центру ваги дебалансів;

$r$  - амплітуда коливань;

$M$  – коливальна маса.

Розрахунок ваги дебалансів приведений для максимальної амплітуди віброплити  $r = 4$  мм. Для вибраних конструктивно розмірів контейнера і дебалансів отримані наступні розрахункові дані: діаметр дебалансів  $D = 180$  мм, радіус  $R = 44,56$  мм, ширина дебалансу  $b = 45$  мм.

### 3.2.3. Визначення режимів роботи віброплити.

Необхідний час вібрування можна визначити за формулою

$$t = \frac{C}{n},$$

де  $C$  – число повторювань прикладання навантаження, яке необхідне для доведення ґрунту до необхідної щільності;

$n$  – частота коливань вібратора в хв..

Встановлено, що для незв'язних ґрунтів  $C = 1,5 * 10^3 \dots 5 * 10^3$ . Нижня границя  $C$  відноситься до машин які мають оптимальні параметри при вологості ґрунту на 10 – 20 % вище оптимального значення, знайденого стандартним методом ущільнення; верхня границя відноситься до ґрунтів, що мають понижену вологість, а також до вібраторів з малою масою.

Необхідне ущільнення ґрунтів знаходиться в залежності від ваги вібропристрою. Із збільшенням ваги густина ущільнювального шару зростає. Вагу віброплити вибирають за питомим статичним тиском

$$p = \frac{Q}{F},$$

де  $p$  – питомий статичний тиск в  $\text{кГ/м}^2$ ;

$Q$  – вага віброплити в  $\text{кГ}$ ;

$F$  – опорна площа віброплити в  $\text{м}^2$ .

Для досягнення граничної глибини ущільнення питомі статичні тиски приймаються наступними: для сильно вологого піску 300...400; для вологого піску 600...1000; для супесчаних ґрунтів з оптимальною вологістю 1000...1200.

Для вибору частоти коливань рекомендуються наступні значення:

Питомий статичний тиск, $\text{кГ/м}^2$	500...1000	1000...2000
Частота коливань, хв	2000...1200	1200...900

Середню швидкість пересування віброплити можна визначити з виразу

$$V_{cp} = \frac{\pi v t q \alpha}{\sqrt{\pi^2 v^2 + 1}},$$

де  $v$  – число обертів дебаланса, за які здійснюється один удар плити;

$\alpha$  – кут нахилу сумарної збурювальної сили.

Найбільша швидкість пересування віброплити відбувається при  $\alpha = 45 \dots 50^\circ$ .

Під час проектування самопересувних віброплит рекомендується максимальну швидкість пересування приймати не більше 20 м/хв., при цьому ущільнення ґрунту забезпечується з мінімальним числом проходів по одному місцю. Якщо ж швидкість більша за рекомендувану ущільнювальна здатність різко знижується. Швидкість пересування віброплити по ґрунту з вологістю близькою до оптимальної визначається з номограми (рис. 3.4) в залежності від числа обертів дебаланса і величини збурювальної сили.

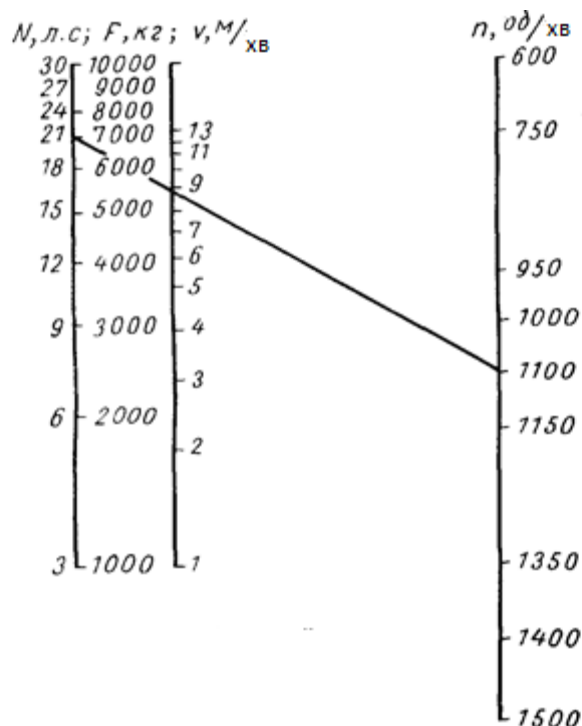


Рис. 3.4. Номограма визначення потужності двигуна і швидкості пересування віброплити:  $N$  – потужність двигуна;  $F$  – збурювальне зусилля;  $V$  – швидкість пересування;  $n$  – число обертів дебаланса.

### 3.2.4. Визначення потужності приводу.

Потужність двигуна віброплити складається:

$$N_{\text{дв}} = N_{\text{пер}} + N_{\text{вд}} + N_{\text{тр}},$$

де  $N_{\text{пер}}$  – потужність, що витрачається на пересування;

$N_{\text{вд}}$  – потужність, яка необхідна для підтримки коливань віброплити;

$N_{\text{тр}}$  – необхідна потужність для подолання сил тертя в опорах вала

$$N_{\text{пер}} = \frac{\sum W V_{\text{ср}}}{75 \eta},$$

де  $\sum W$  – сумарний опір пересуванню машини;

$\eta$  – загальний к.к.д. передач від двигуна до вібропривода;

$$\Sigma W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

$W_1$  – опір пересуванню віброплити по поверхні ґрунта;

$\mu_1$  – коефіцієнт опору переміщенню віброплити;

$Q$  – вага віброплити.

При сталених і чавунних плитах без врахування опору від переміщення призми ґрунта  $\mu_1 = 0,6 \dots 0,7$ . Коефіцієнт опору залежить від швидкості пересування і амплітуди коливань. Із збільшенням швидкості руху коефіцієнт опору  $\mu_1$  збільшується.

Для швидкості пересування більше 4...5 м/хв. коефіцієнт опору стабілізується і це значення зазвичай приймають за розрахункове. При більших значеннях швидкості із зростанням амплітуди коливань опір пересуванню зменшується. Так, із підвищенням амплітуди коливань віброплити від 0,1 до 0,8 мм коефіцієнт опору зменшується у 1,5 рази.

Коефіцієнт опору пересуванню плити при включеному віброприводі менше на 20 %, чим при виключеному. Тому під час розрахунків коефіцієнт опору пересуванню може бути прийнятий рівним 0,5.

Опір подолання підйому під час ущільнення

$$W_2 = Q \alpha ,$$

де  $\alpha$  – підйом поверхні в *рад*.

Опір призми волочення ущільнювального матеріалу перед опорною площиною віброплити

$$W_3 = \mu_2 \mu_3 Q_1,$$

де  $\mu_2$  – коефіцієнт внутрішнього тертя ущільнювального матеріалу (для несвязних матеріалів  $\mu_2 = 0,6 \dots 0,7$ )

$\mu_3$  – коефіцієнт опору переміщенню призми ґрунта по ґрунту;

$Q_1$  – вага призми волочення.

Довжина призми ущільнювального матеріалу приблизно рівна ширині основи віброплити, а висота – 0,6...0,8 від її висоти. Кут природнього відкосу приблизно дорівнює 45°.

Опір від подолання сил інерції

$$W_4 = \frac{QV}{qt},$$

де  $V$  – швидкість, м/с;

$t$  – час розгону, с.

Інші розрахунки механічних передач виконуються за відомою методикою.

### **3.2.5. Розрахунок підшипників дебалансного вібратора.**

Як зазначалось вище, найбільш слабким місцем в конструкції вібраторів є підшипники, які знаходяться під дією інерційних сил. Для цього рекомендується використовувати спеціальні вібростійкі роликові підшипники з підвищеним початковим радіальним зазором і монолітним сепаратором з кольорового металу або пластмаси. Використання такого типу опор, а також їх змащення значно зменшує зношування поверхонь, підвищує довговічність і роботоздатність пристрою.

#### ***Розрахунок навантажень на підшипники.***

Навантаження на підшипники віброплити є результатом дії відцентрової сили інерції, що діє на підшипники зі сторони дебалансів та інерційних сил під час руху платформи.

Розмір першої складової постійний і визначається у відповідності в формули

$$F = \frac{1}{s} m(R - r)\omega^2 = \frac{1}{4} 6(44,56 - 4)25^2 = 1850 \text{ Н.}$$

де  $s$  – кількість підшипників.

Другу складову сили рекомендується визначати за формулою  $F' = (0,1 \div 0,3)F$  приймаючи більше значення для більшої частоти обертання. Виходячи з цього, еквівалентне навантаження на підшипник

$$P = k \cdot F \cdot v,$$

де  $k=1,1 \div 1,3$ ;  $v=1,2$ ,

тоді  $P = 1,3 \cdot 1850 \cdot 1,2 = 3125 \text{ Н.}$

***Вибір підшипників.*** Для встановлення в опори тяжких і середніх вібротомашин, як правило застосовують радіальні сферичні двошрядні роликопідшипники. Підшипники цього типу володіють високою радіальною

вантажопідіймальністю, порівняно малочутливі до монтажних перекосів і можуть сприймати випадкові осьові навантаження. Основні принципи такого добору наступні:

- слід застосовувати підшипники з масивними сепараторами, центрованими по зовнішньому кільцю, що переважно складається з двох частин (у випадку відсутності таких перевагу слід надавати підшипникам з пластмасовим сепаратором);
- неприпустимо застосовувати підшипники в штампованими тонкостінними сепараторами, чавунними сепараторами і сепараторами, центрованими по тілам кочення.

Для легких і середніх вібраторів застосовують радіальні роликопідшипники з короткими циліндричними роликами, що забезпечують рівномірний характер контактних напруг по дну ролика. Це знижує імовірність торцевих руйнувань при вібраційних навантаженнях, підвищує вантажопідіймальність і знижує чутливість підшипника до динамічних і технологічних перекосів.

Визначаємо приблизно значення довговічності підшипника з розрахунку дворічної експлуатації машини в дві зміни

$$t_h = N_{pd} \cdot n = 250 \cdot 2 \cdot 16 \text{ год} = 16000 \text{ год.}$$

де  $N_{pd}$  – число робочих днів.

Визначаємо динамічну вантажопідіймальність

$$C_H = P \left( L_h \frac{n}{16066} \right)^{\frac{1}{m}} = 3125 \left( 16000 \frac{1400}{16066} \right)^{\frac{1}{3,3}} = 278 \text{ н.}$$

де  $m = 3$  для кулькових підшипників і  $m = 3,33$  для роликопідшипників;

$n$ - частота обертання.

По каталогу вибираємо підшипники з найближчими значеннями динамічною вантажопідіймальність  $C \geq C_H$ . Виходячи з отриманого значення діаметру підшипника, визначаємо його абразивну довговічність. Абразивна довговічність визначається допустимою величиною внутрішнього зазору в підшипнику, внаслідок абразивного зношування поверхонь кочення.



Частота обертання	Еквівалентне навантаження	Фактор зношування ( $f$ )
$n \leq 0,5n_{np}$	$P < 0,03C$	7
	$0,03C \leq P \leq 0,1C$	6
	$P \geq 0,1C$	5
$0,5n_{np} \leq n \leq 0,75n_{np}$	$P < 0,03C$	6
	$0,03C \leq P \leq 0,1C$	5
	$P \geq 0,1C$	4
$n \geq 0,75n_{np}$	$P < 0,03C$	5
	$0,03C \leq P \leq 0,1C$	4
	$P \geq 0,1C$	3

Допустиме збільшення радіального зазору (мкм) знаходимо за формулою:  
 $\Delta = f \cdot e$  де  $f$  - фактор зношення;  $e$  - геометричний фактор, що залежить від внутрішнього діаметра підшипника.

Для нашого випадку  $\Delta = 5 \cdot 5 = 25$  мкм.

Уточнюємо довговічність підшипника з умови міцності шарів

$$L_h = a_1 \cdot a_{23} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \left( \frac{C}{P} \right)^m$$

де  $C$  - динамічна вантажопідіймальність, н

$$C = P \left( L_h \frac{n}{16066} \right)^{\frac{1}{m}}$$

$a_1$  – коефіцієнт надійності ( $a_1=0,95-1$ );

$a_{23}$  – коефіцієнт, що враховує якість підшипника ( $a_{23}=0,6-0,7$ ).

Підставивши значення отримаємо

$$L_h = 1 \cdot 0,6 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 1400} \left( \frac{61000}{3125} \right)^{3,33} = 74377 \text{ год.}$$

Таким чином, визначним фактором, що впливає на довговічність підшипника є його абразивне зношування. Вибраний підшипник має абразивну довговічність при зношуванні 25 мкм, рівну (5÷10) тис. годин.

**Змащування підшипникових вузлів.** Для змащування підшипників застосовуємо пластичне мастило Літол-2. Мастило подається безпосередньо в порожнину вузла. Сам підшипник заповнюється ним на 100%, а порожнини на 30%. Змащувальний матеріал наноситься на всі внутрішні поверхні вузла.

Періодичність змащення можна визначити з залежності

$$\tau_{\partial} = k \left( \frac{14 \cdot 10^6}{n \cdot \sqrt{d}} - 4d \right)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що залежить від типу підшипника (для роликівих –  $k = 1$ ).

При роботі підшипника в складних умовах розрахункове значення періодичності змащування його повинно бути скореговано згідно формули

$$\tau_{кор} = \tau_{\partial} \cdot q$$

де  $q$  – поправочний коефіцієнт, що залежить від умов роботи і температури.

Для підшипникового вузла вібромашини і температури змащувального матеріалу  $t = 80^{\circ}$  -  $q = 1$  періодичність змащення складає

$$\tau_{\partial} = k \left( \frac{14 \cdot 10^6}{n \cdot \sqrt{d}} - 4d \right) \cdot q = 1 \left( \frac{14 \cdot 10^6}{1400 \cdot \sqrt{35}} - 435 \right) \cdot 0,1 = 140 \text{ год.}$$

Для двозмінної роботи періодичність мащення визначається кількістю  $N$  днів

$$N = \frac{\tau_{кор}}{2 \cdot n} = \frac{140}{2 \cdot 8} = 8 \text{ днів.}$$

### 3.3. Дослідження процесу горизонтального переміщення віброплити

Відомо, що вібраційне пересування є одним із проявів ефекту вібраційного переміщення тіла в певному середовищі внаслідок одержання направлених рухів за рахунок направленої взаємодії. Взаємодія цього пристрою з даним середовищем визначає швидкість його руху. Енергія, яка необхідна для пересування, може надходити як з внутрішнього джерела пристрою так і ззовні.

Самохідний вібраційний пристрій, у якому завдяки дебалансного вібробудника направленої дії генерується збурювальна сила  $F_0 \sin \omega t$ , під заданим кутом  $\alpha$  до поверхні, що створює ефект пересування об'єкта (вправо або вліво). Такий рух описується диференціальними рівняннями

$$m\ddot{x} = mA\omega^2 \sin(\omega t + \varepsilon) - F(\dot{x})$$

$$m\ddot{y} = mB\omega^2 \sin \omega t - mg \cos \alpha + N,$$

де  $F(\dot{x})$  і  $N$  – сила сухого тертя і нормальна реакція;

$A$  і  $B$  – амплітуди коливань у взаємно перпендикулярних напрямках;

$\omega$  – кругова частота;

$\alpha$  – кут напрямку дії збурювальної сили відносно горизонтальної поверхні;

$\varepsilon$  – зсув фаз.

На першому етапі, завдяки числового експерименту, визначалась залежність переміщення і швидкість пристрою від амплітуди коливань генерованої віброприводом. Використовуючи середовище *MATLAB*, на підставі цих рівнянь можна проаналізувати характер руху віброплити.

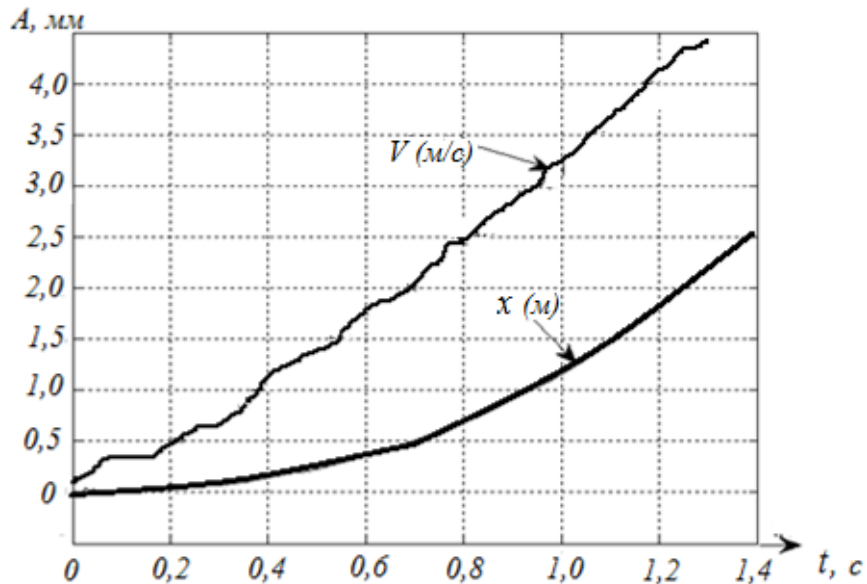


Рис. 3.5. Графік переміщення  $x(m)$  та швидкості  $V(m/c)$  центра мас.

На другому етапі для визначення енергетичних показників робочого процесу під час переміщення плити фіксувалися покази вимірювального комплексу К-50 при різних значеннях амплітуди. Середня потужність двигуна віброплити знаходили з виразу

$$N_{\text{сер}} = \frac{\sum c_{\text{муф}} (\beta_i - \psi_i) \dot{\beta}_i \cdot \Delta t_i}{\sum \Delta t_i},$$

а приклад усереднених результатів експерименту показано в табл. 3.4 та рис 3.6.

Таблиця 3.4

Приклад усереднених результатів експериментів

Тривалість досл., с	Фаза	Експериментальні дані						Розрахункові дані
		$V_{\phi}, B$		$I, A$		$N, Вт$		$N_{\text{роз}} =$ $N_D - N_{\text{хх}}$
		х.х.	р.х.	х.х.	р.х.	х.х.	р.х.	
30	А	220	230	1,5	2,6	330	598	268
	В	224	234	1,6	2,7	358	632	274
	С	226	229	1,5	2,6	343	588	245
	$\Sigma$					1031	1818	787

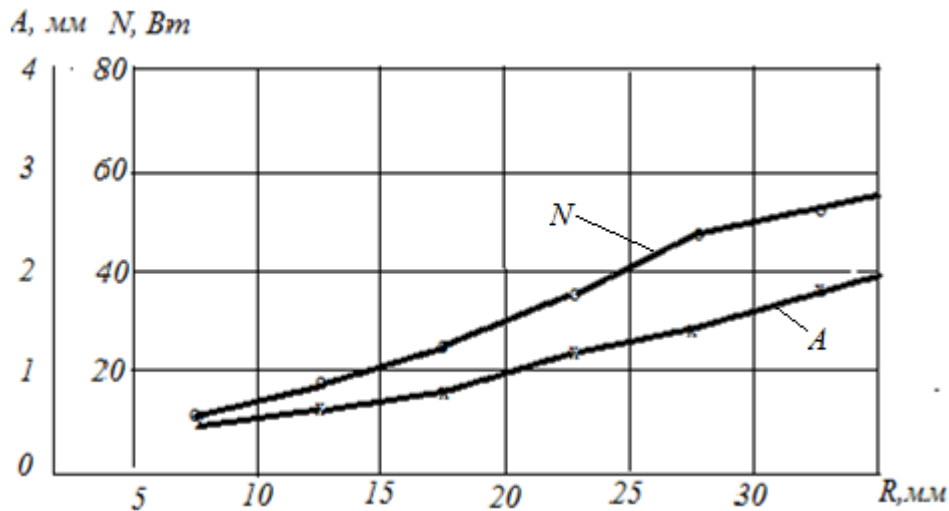


Рис.3.6. Залежність амплітуди коливання  $A$  і середньої потужності двигуна  $N_{\text{ср}}$  від інерційного параметру відрозбурювача  $R$  (відстань від осі обертання до центра мас дебалансу)

### 3.4. Основні параметри робочого процесу

**Коефіцієнт ущільнення ґрунту** — це відношення щільності сухого ґрунту (скелету ґрунту) на контрольованій ділянці до щільності цього ж ґрунту в лабораторних умовах. Використовується для оцінки якості виконаних робіт до нормативних вимог.

Для визначення коефіцієнт ущільнення на контрольованій ділянці будівництва необхідно визначити такі показники:

- максимальну щільність сухого ґрунту;
- щільність вологого;
- вологість дослідного ґрунту.

**Щільність (вологого) ґрунту** це:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

де  $V$  — об'єм ріжучого кільця чи інший метод визначення об'єму зразку ґрунту;

$m$  — маса зразка ґрунту відібраного методом ріжучого кільця (чи іншим методом);

**Вологість ґрунту** знаходиться з виразу:

$$W = \frac{100 (m_1 - m_0)}{m_0 - m} \quad (3)$$

де  $m$  — маса порожнього стаканчика з кришкою, г;

$m_0$  — маса висушеного ґрунту зі стаканчиком і кришкою, г;

$m_1$  — маса вологого ґрунту зі стаканчиком і кришкою, г.

**Щільність сухого ґрунту (скелету ґрунту)** знаходиться як:

$$\rho_{di} = \frac{\rho_i}{1 + 0,01 W}, \quad (4)$$

де  $W$  — вологість ущільненого зразка ґрунту, %;

$\rho_i$  — щільність зразка ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

**Коефіцієнт ущільнення ґрунту  $k_y$**  визначається за формулою:

$$k_y = \frac{\rho_{di}}{\rho_{max}}, \quad (5)$$

де  $\rho_{di}$  — щільність скелету ґрунту, що випробовується;

$\rho_{max}$  — максимальна щільність сухого ґрунту, визначається в лабораторії.

### 3.5. Дослідження процесу ущільнення ґрунту.

#### 3.5.1. Методика визначення щільності ґрунту

На рис. 3.7 представлений прилад для виміру щільності ґрунту



Рис. 3.7. Прилад для виміру щільності ґрунту: 1 – Прилад для виміру щільності ґрунту; 2 – електронні ваги; 3 – циліндр проби ґрунту.

Додаткове обладнання: штикова лопата; молоток; ніж; тара для зважування.

#### *Порядок проведення замірів*

1. Вибрати ділянку на полі.
2. Заглибитись до відповідного ґрунтового горизонту (вертикально за допомогою штикової лопати).
3. Опустити прилад на потрібну глибину уздовж до зрізу ґрунту, який розташований перпендикулярно до входження лопати у ґрунт (для уникнення додаткового ущільнення).
4. За допомогою молотка заглибити прилад до повного заповнення (рис. 3.7).

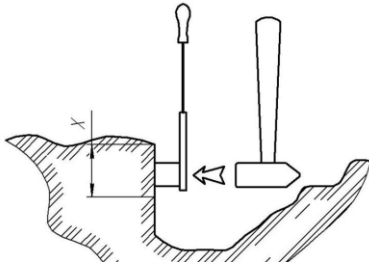



Рис. 3.8. Схема взяття проби ґрунту:  
1 – прилад; 2 – молоток;  $x$  – глибина заміру.

5. Вийняти обережно прилад. Якщо циліндр заповнений ґрунтом частково, необхідно його очистити від ґрунту й виконати заміри повторно
6. За допомогою ножа обрізати край циліндра.
7. Ввімкнути ваги кнопкою .
8. Налаштувати ваги на зважування в унціях кнопкою UNIT (на табло з'явиться напис OZ).
9. Поставити тару для зважування на ваги.
10. Отримати нульове значення ваги шляхом натискання кнопки TARE .
11. Висипати весь ґрунт із циліндра у тару для зважування.
12. Записати значення щільності для даної проби.

### 3.5.2. Експериментальне визначення щільності ґрунту.

На цьому етапі досліджень визначаємо ущільнення піщаного ґрунту в залежності від його вологості (рис. 3.9). Вологість ґрунту знаходимо за формулою (3), а його щільність наступним чином:

Визначаємо об'єм циліндра приладу,  $\text{см}^3$

$$V_{\text{цил}} = S \cdot h,$$

де  $S$  – площа дна циліндра приладу,  $\text{см}^2$ ;

$h$  – висота циліндра приладу,  $\text{см}$ .

Визначаємо щільність проби ґрунту,  $\text{г}/\text{см}^3$ ,

$$\rho = m / V_{\text{цил}},$$

де  $m$  – маса ґрунту, розміщеного у циліндрі,  $\text{г}$ .

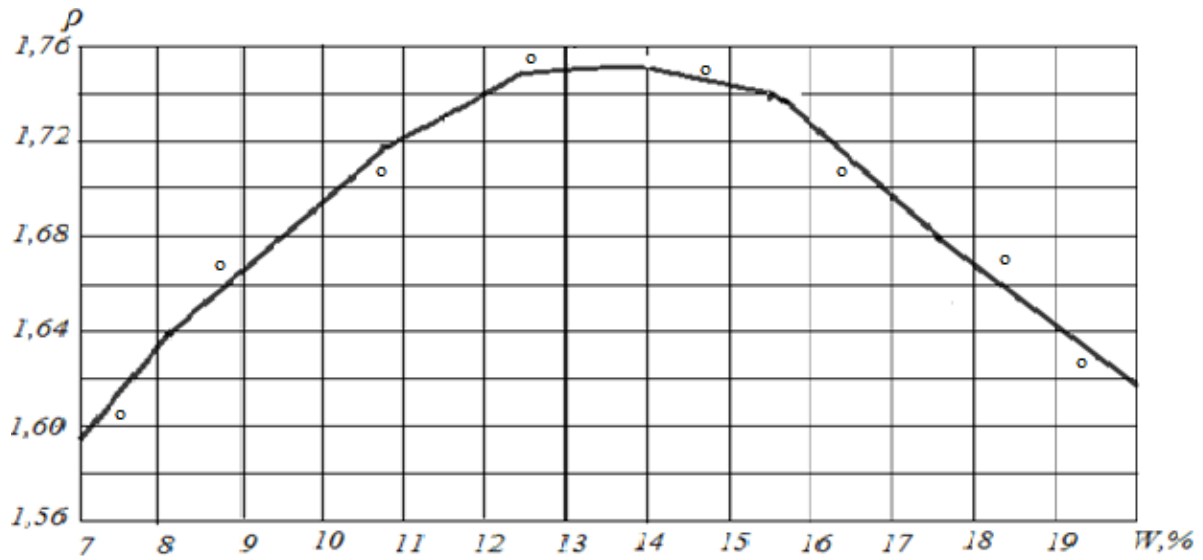


Рис. 3.9. Графік залежності щільності сухого ґрунту від вологості при стандартному ущільненні.

В подальшому було з'ясовано ефективність використання віброплити. За результатами проведених експериментів встановлено, що щільність ґрунту збільшується всередньому до 5 – 7 проходів по одному місцю робочої поверхні. Подальше використання віброплити є недоцільним (рис. 3.10).

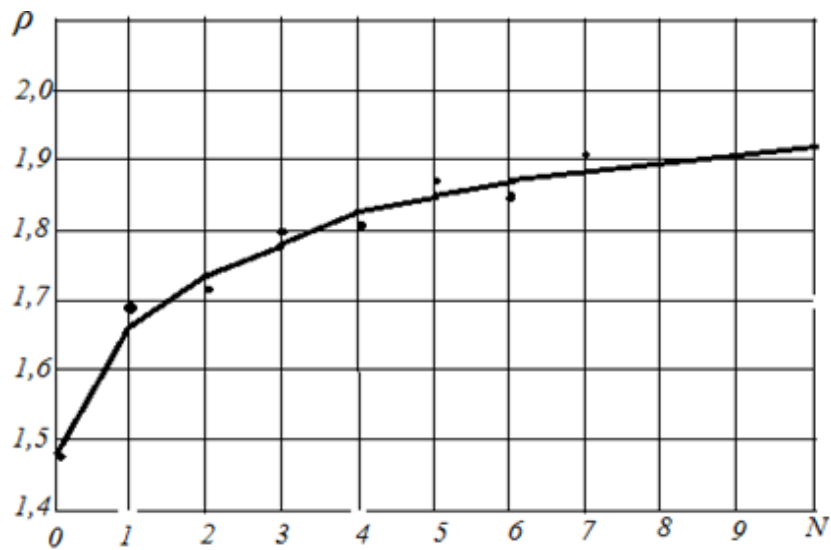


Рис. 3.10. Графік залежності ступеню щільності  $\rho$  пясчаного ґрунту від числа проходів  $N$  (числа ударів) у межах його оптимальної вологості .

## Розділ 4.

### ОХОРОНА ПРАЦІ І ВИРОБНИЧА БЕЗПЕКА

#### 4.1. Джерела та фізичні характеристики вібрації

З розвитком промисловості все більший контингент людей підпадає під вплив вібрації, яка представляє собою механічні коливання пружних тіл або коливальні рухи механічних систем, що передаються через підлогу, елементи машин та обладнання тілу людини.

Причиною вібрації є виникаючі під час роботи машин та механізмів неврівноважені сили та ударні процеси. Її джерелами є зворотнопоступальні рухи елементів машин, неврівноважені обертальні маси, удари елементів машин та інструментів тощо.

Основними параметрами, що характеризують дію вібрації на людину, є віброзміщення ( $x$ ), віброшвидкість ( $V$ ), вібропришвидження ( $a$ ), частота коливань ( $\nu$ ), тривалість впливу та напрямок дії вібрації.

Параметри  $x$ ,  $V$ ,  $a$  – взаємозалежні, і для синусоїдальних вібрацій відомої частоти величина кожного з них може бути обчислена за значеннями іншого.

Для оцінки вібрації використовується також рівень віброшвидкості ( $L_v$ ) та вібропришвидження ( $L_a$ ), які визначаються за такими формулами:

$$L_v = \lg (V / V_0); \quad L_a = \lg (a / a_0),$$

де  $V$ ,  $V_0$  – відповідно середньоквадратичне та опорне значення віброшвидкості ( $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$  м/с),

$a$ ,  $a_0$  – середньоквадратичне та опорне значення вібропришвидження ( $a_0 = 3 \cdot 10^{-3}$  м/с<sup>2</sup>).

Вібрація буває загальною та локальною. Загальна вібрація діє на організм людини у цілому, а локальна – на окремі частини тіла. Наприклад, загальна вібрація діє при користуванні транспортними засобами, а локальна – на робітників, що працюють з електричним та пневматичним ручним інструментом. Залежно від джерела виникнення загальну вібрацію поділяють на три категорії:

Категорія 1 — транспортна вібрація. Діє на людину на робочих місцях самохідних та причіпних машин під час руху по дорогах чи місцевості



(автомобілі, рейковий транспорт, трактори, сільськогосподарські машини, скрепери, грейдери тощо).

Категорія 2 – транспортно-технологічна вібрація. Діє на людину на робочих місцях машин з обмеженою рухливістю та таких, що рухаються тільки по спеціально підготовлених поверхнях виробничих приміщень, промислових майданчиків та гірничих виробок (екскаватори, крани, гірничі комбайни, бетоноукладачі, транспорт виробничих приміщень тощо).

Категорія 3 – технологічна вібрація. Діє на людину на робочих місцях стаціонарних машин або передається на робочі місця, які не мають джерел вібрації (млини, бурові верстати, метало-деревообробне, пресувальноковальське обладнання, насосні агрегати, вентилятори тощо). Вібрацію цієї категорії за місцем дії поділяється на вібрацію:

- на постійних робочих місцях виробничих приміщень підприємств;
- на робочих місцях складів, їдалень, побутових, чергових та інших виробничих приміщень, де немає джерел вібрації;
- на робочих місцях заводоуправлінь, конструкторських бюро, лабораторій, навчальних пунктів, обчислювальних центрів, конторських приміщень, медпунктів та інших приміщень для працівників розумової праці.

За напрямком дії загальна вібрація буває вертикальною та горизонтальною. Виділяють також три напрямки дії локальної вібрації.

За часовими характеристиками вібрації поділяють на: постійні, для яких величина вібропришвидження або віброшвидкості змінюється менш ніж у 2 рази (менше 6 дБ) за робочу зміну і непостійні, для яких ці показники змінюється більш ніж у 2 рази (6 дБ і більше) за робочу зміну.

#### **4.2. Вплив вібрації на людину**

Вплив вібрації на людину залежить від виду і параметрів вібрації, напрямку і тривалості її дії, а також від індивідуальних особливостей людини.

На людину може діяти вібрація у досить широкому діапазоні частот – від десятих часток до декількох тисяч Гц. Загальна вібрація з частотою менше 0,7 Гц при значних віброзміщеннях порушує у людини нормальну діяльність вестибулярного апарата, що спричиняє погіршення самопочуття, нудоту.

Низькочастотні коливання (до 16 Гц) пригнічують центральну нервову систему, викликають почуття тривоги, страх. При значній інтенсивності коливань на частоті 6–9 Гц можуть втягуватися у резонанс внутрішні органи люди, що спричиняє травми, розриви артерій тощо. Це пов'язано з тим, що внутрішні органи людини можна розглядати як коливальні системи з пружними зв'язками, частоти власних коливань яких знаходяться у зазначеному діапазоні.

Характерними рисами шкідливого впливу вібрації на людину є зміни у функціональному стані: підвищена втома, збільшення часу моторної реакції, порушення вестибулярної реакції. У результаті впливу вібрації виникають нервово-судинні розлади, враження кістково-суглобної й інших систем організму. Систематична дія загальної вібрації, за умов високого значення величини віброшвидкості, може призвести до виникнення вібраційної хвороби – стійких порушень фізіологічних функцій організму, що обумовлено переважною дією вібрації на центральну нервову систему. Ці порушення спричиняють головний біль, знижують працездатність, погіршують самопочуття, порушують роботу серця. Локальна вібрація викликає спазми судин, погіршується кровопостачання. Одночасно протікають зміни у нервовій системі та відкладаються солі у суглобах, що призводить біль, деформацію рук та зниження рухливості у суглобах.

Серед професійних захворювань вібраційна хвороба займає одне з перших місць. Це значною мірою обумовлено тим, що вібраційна хвороба на початковому етапі розвитку тривалий час протікає без загострень, хворі зберігають працездатність, не звертаються за лікарською допомогою. З часом систематичний вплив вібрації обумовлює загострення хвороби, яка може мати три ступеня тяжкості. Ефективне лікування вібраційної хвороби можливе тільки на початковій стадії її розвитку, крім того, відновлення порушених функцій організму протікає дуже повільно. Шкідливій дії вібрації на людину сприяють також зниження температури, підвищення рівня шуму, тривала статична напруга м'язів.

Слід також відзначити, що дія вібрації може приводити до зміни структури конструктивних матеріалів, умов тертя, зносу на контактних поверхнях деталей машин, нагрівання конструкцій. Через вібрацію збільшуються динамічні навантаження в елементах конструкцій, стиках і з'єднаннях, знижується несуча здатність деталей, ініціюються тріщини, виникає руйнування обладнання. Усе це призводить до зменшення терміну експлуатації устаткування, зростання ймовірності аварійних ситуацій і економічних витрат. Вважають, що 80% аварій у машинах і механізмах відбувається внаслідок вібрації. Крім того, коливання конструкцій часто є джерелом небажаного шуму.

### **4.3. Нормування та контроль вібрації**

Згідно з Державними санітарними нормами виробничої загальної та локальної вібрації ДСН 3.3.6.039-99 гігієнічні норми вібрації встановлюють залежно від виду вібрації, місця, часу та напрямку її дії. Гігієнічна оцінка вібрації, що діє на людину у виробничих умовах, здійснюється за допомогою таких методів: спектрального аналізу параметрів; інтегральної оцінки за спектром частот параметрів, що нормуються; дози вібрації. Перші два методи використовуються при нормуванні постійної локальної та загальної вібрації.

При спектральному аналізі параметрами, що нормуються, є середньоквадратичні значення віброшвидкості, вібропришвидшення або їх логарифмічні рівні в октавних смугах із середньгеометричними частотами 1, 2, 4, 8, 16, 32, 63 Гц для загальної вібрації та 16, 32, 63, 125, 250, 500, 1000 Гц для локальної вібрації, або ті ж параметри у діапазоні 1/3 октавних смуг. При інтегральній оцінці за спектром частот нормативним параметром є коректоване значення віброшвидкості, вібропришвидшення або їх логарифмічних рівнів. Оскільки сприйняття вібрації людиною різняться за частотою, то корекція здійснюється за допомогою поправок, які додаються у частотних смугах.

Гігієнічні норми віброшвидкості, вібропришвидшення та їх логарифмічних рівнів в октавних смугах, а також коректовані значення цих показників для деяких видів вібрації наведено у табл. 4.1, 4.2.

Гігієнічні норми вібрації, яка діє на людину у виробничих умовах, встановлені при її дії протягом робочого часу 480 хвилин (8 год). При дії вібрації, яка перевищує гранично допустимий рівень, сумарний час її дії протягом робочої зміни повинен бути меншим (табл. 4.3).

Таблиця 4.1.

Гранично допустимі параметри загальної вібрації категорії 3

Середньогометричні частоти октавних смуг, Гц	Гранично допустимі параметри вібрації по осях $X_3, Y_3, Z_3$			
	Віброшвидкість		Віброприскорення	
	$v, \text{ м/с } 10^{-2}$	$L_v, \text{ дБ}$	$a, \text{ м/с}^2$	$L_a, \text{ дБ}$
2,0	0,02	36	0,18	91
4,0	0,014	33	0,063	82
8,0	0,014	33	0,032	76
16,0	0,028	39	0,028	75
31,5	0,056	45	0,028	75
63,0	0,112	51	0,028	75
Коректовані значення параметрів	0,014	33	0,028	75

Таблиця 4.2.

Гранично допустимі рівні локальної вібрації

Середньогометричні частоти октавних смуг, Гц	Гранично допустимі параметри вібрації по осях $X_L, Y_L, Z_L$			
	Віброшвидкість		Віброприскорення	
	$v, \text{ м/с } 10^{-2}$	$L_v, \text{ дБ}$	$a, \text{ м/с}^2$	$L_a, \text{ дБ}$
8	2,8	115	1,4	73
16	1,4	109	1,4	73
31,5	1,4	109	2,7	79
63	1,4	109	5,4	85
125	1,4	109	10,7	91
250	1,4	109	21,3	97
500	1,4	109	42,5	103
1000	1,4	109	85,0	109
Коректовані значення параметрів	2,0	112	2,0	76

Таблиця 4.3.

Гранично допустимі рівні локальної вібрації

Перевищення гранично допустимого рівня вібрації, дБ	Допустимий сумарний час дії вібрації за зміну, хв	Перевищення гранично допустимого рівня вібрації, дБ	Допустимий сумарний час дії вібрації за зміну, хв
1	384	7	95
2	302	8	76
3	240	9	60
4	191	10	48
5	151	11	38
6	120	12	30

Залежність допустимих значень нормованого параметра  $V_t$  від часу фактичної дії вібрації  $t$ , який не перевищує 480 хв, визначають за такою формулою:

$$V_t = V \sqrt{\frac{480}{t}}.$$

При дії непостійної вібрації (крім імпульсної) параметром, що нормується, є доза вібрації  $D$  (еквівалентний коректований рівень), яка визначається як вібраційне навантаження, одержане робітником протягом всієї зміни, і визначається з урахуванням значення параметрів вібрації, часу дії вібрації та частотної корекції.

При дії імпульсної вібрації з піковим рівнем вібропришвидження від 120 до 160 дБ параметром, що нормується, є кількість вібраційних імпульсів за зміну (годину), яка встановлюється залежно від тривалості імпульсу. Для контролю вібрації використовують вимірювачі шуму та вібрації або вібрографи (рис. 2.30), які дозволяють виміряти нормовані параметри вібрації в октавних смугах, а також визначати їх коректовані значення. Як чутливі елементи у них використовують п'єзоелектричні перетворювачі вібраційних коливань.

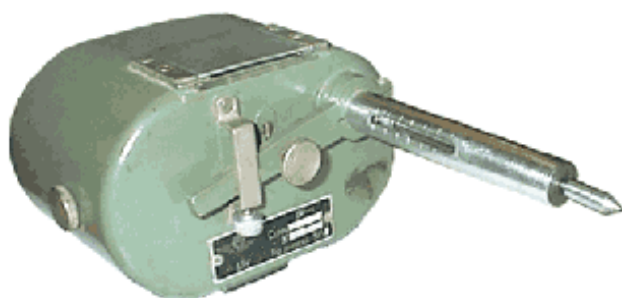


Рис. 4.1. Вигляд вібрографа ручного ВР-1

#### 4.4. Захист від вібрації

Для запобігання шкідливої дії вібрації на організм працюючих здійснюються технічні, організаційні та профілактичні медичні заходи.

До організаційних заходів відносять: раціональне розташування устаткування та робочого місця, постійний контроль режиму праці і відпочинку працюючих, заборону залучення до вібраційних робіт осіб, молодших 18 років,

обмеження застосування обладнання та використання робочих місць, що не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам та ін.

Технічні заходи прийнято поділяти на заходи, що спрямовані на зменшення вібрації у джерелі її виникнення та на заходи, що спрямовані на зниження вібрації на шляху розповсюдження і у зоні сприйняття.

Серед технічних заходів першої групи слід виділити конструктивні, що спрямовані на зниження вібрації у джерелі виникнення за рахунок зменшення діючих змінних сил (зрівноваження мас, заміни ударних технологій безударними, використання спеціальних видів зачеплення у приводах машин тощо), відстроювання від резонансних режимів, вібродемпфування, динамічного гасіння вібрації.

Вібродемпфування полягає в штучному збільшенні втрат у коливальній системі, при цьому енергія вібрації перетворюється у теплову. Це досягається за рахунок використання у конструкціях матеріалів з великим внутрішнім Рис. 2.30. Вигляд вібрографа ручного ВР-1 134 135 тертям (пластмас, сплавів марганцю та міді), нанесення на віброуючі поверхні шару пружно-в'язких матеріалів тощо. Динамічне віброгасіння полягає у збільшенні реактивного опору коливної системи. Засоби динамічного віброгасіння за принципом дії поділяють на ударні та динамічні віброгасники. Останні за конструктивною ознакою можуть бути пружинними, маятниковими, ексцентриковими та гідравлічними. Вони являють собою додаткову коливну систему, яка встановлюється на агрегаті, що вібрує, масою  $M$  та жорсткістю  $C$  (рис. 2.31). Причому маса та жорсткість коливної системи підібрані таким чином, що у кожний момент часу збуджуються коливання, які знаходяться у протифазі з коливанням агрегата. До недоліку цих систем відносять те, що вони налагоджуються тільки на одну задану частоту, яка відповідає їх резонансному режиму коливання.

Ефективним заходом є віброізоляція, яка досягається введенням у коливальну систему для послаблення вібрації, що передається від об'єкта, додаткового пружного зв'язку. Для віброізоляції машин використовують віброізолюючі опори у вигляді пружин, пружних прокладок. Віброізоляція є

ефективним заходом зменшення вібрації, що передається на руки від ручного механізованого інструмента. Для цього держак відокремлюється від корпусу інструмента, що вібрає, за допомогою пружного елемента. Пружні елементи (амортизатори, віброізолятори) бувають гумові, гідравлічні, пневматичні та комбіновані. Використовуються також пневматичні та гідравлічні віброізолятори.

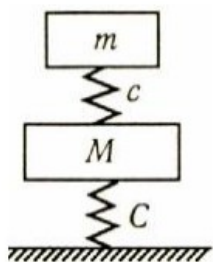


Рис. 4.2. Схема дії динамічного віброгасника

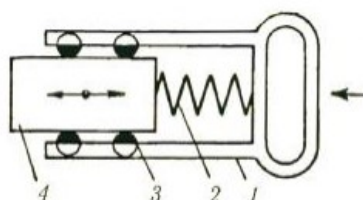


Рис. 4.3. Схема віброізольованого держака: 1 – держак; 2 – пружний елемент; 3 – підшипник; 4 - корпус

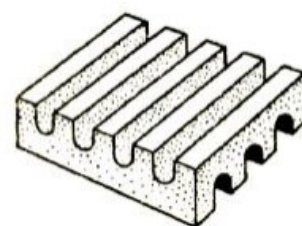


Рис. 4.4.. Вигляд гумового амортизатора

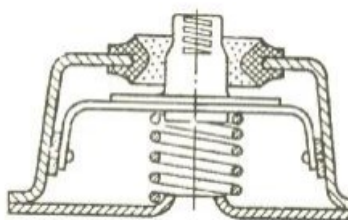


Рис. 4.5. Вигляд та схема пружинно-гумового амортизатора

Віброізоляцію людини забезпечують за допомогою віброзахисних крісел, віброізоляційних кабін та платформ.

Агрегати, які можуть викликати небажані вібрації конструкцій будинків (верстати, насоси, компресори, вентилятори, холодильні установки тощо), слід встановлювати на масивні фундаменти чи віброізолюючі основи. Невеликі агрегати, які розміщують на перекриттях будівель, встановлюють на масивні опорні плити, які збільшують масу установки, що призводить до зниження власної частоти коливань і зменшення вібрації агрегата. В свою чергу плиту встановлюють на віброізолятори.

Якщо технічними засобами не вдається зменшити рівень вібрацій до норми, то необхідно забезпечувати працівників індивідуальними засобами

захисту. Ці засоби можуть застосовуватися як для захисту від загальної вібрації, так і локальної. Такими засобами можуть бути віброізолюючі рукавиці і віброізолююче взуття, які мають пружні прокладки, що захищають працівника від впливу вібрації.

Комплекс лікувально-профілактичних заходів захисту передбачає: попередній та періодичний медичні огляди, заборону допуску до вібраційних робіт; лікувальну гімнастику, фізіотерапевтичні процедури, вітамінізацію тощо.

#### **4.5. Основні положення техніки безпеки під час роботи з віброплитою**

Віброплита призначена для пошарового ущільнення основи дорожніх покриттів, тротуарів, будівельних, виробничих і господарських майданчиків тощо. Цей пристрій (рис 1, 2, 3) є самохідним агрегатом з електромеханічним приводом на вібруючій плиті. Він повинен відповідати вимогам технічного завдання і стандартів та пройти технічні випробування перед серійним виробництвом.

Згідно ГОСТу 2.2.01-95 "Машини будівельні і дорожні" повинні відповідати окремим вимогам, щодо техніки безпеки, бути зручною і безпечною в обслуговуванні, не повинна створювати небезпеки і відповідати усім вимогам ДСТУ.

В комплект до машини входить інструкція з експлуатації і чітким перелік заходів безпеки, яких повинен дотримуватися весь обслуговуючий персонал.

Машина не має особливих конструктивних відмінностей, а тому обслуговуючий персонал не потребує проходження спеціальних курсів навчання. Робота на машині не допускається за умов присутності на робочому місці крім оператора інших осіб, недостатнього освітлення в темний час доби, з приладами, що вийшли з ладу. Оператор не має права доручати керування машиною іншим особам, залишати керування під час її руху.



Конструкція машини не передбачує захист від обледеніння, тому її використання при температурах навколишнього середовища нижче 0 °С не дозволяється

**Заходи безпеки від ураження електричним струмом.** Електропривод даної конструкції віброплити живиться від електричної мережі напругою 380 В. Усі провідники повинні бути сертифіковані і мати опір ізоляції не менше 0.5 Ом.

Для уникнення ураження водія струмом внаслідок контакту машини з лініями високої напруги, що є цілком можливим, під час робіт, перехідний опір між металоконструкціями машини та корпусами електрообладнання повинен бути не більше 0.1 Ом. Цю умову необхідно перевірити після складання основних вузлів машини і в разі її невиконання вузли з великим перехідним опором додатково закоротити між собою.

**Заходи зменшення вібрацій і шуму.** Для зменшення впливу вібрації на оператора пристрій керування повинен бути підресореним з можливістю плавного регулювання його жорсткості.

Машина додатково комплектується звукозахисними навушниками.

Вжиті заходи добре зарекомендували себе на проведених випробуваннях і дозволили звести до мінімуму вплив вібрацій і шуму на водія та обслуговуючий персонал. Рівень вібрації на робочому місці оператора не перевищує значень, вказаних в ГОСТ 12.1.012.

Рівень звуку на робочому місці оператора складає не більше 64 дБ. Відповідно до вимог ГОСТу 12.1.003, вимагається не більше 80 дБА.

**Вимоги і заходи до атмосфери робочого місця.** Газодимність на робочому місці суттєво впливає на здоров'я обслуговуючого персоналу і продуктивність праці. Для вимірювання газодимності необхідно використовувати прилади, що працюють за принципом просвічування стовпа відпрацьованих газів заданої довжини. Концентрація шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигуна, механізмів, що працюють на даній ділянці за умови використання якісного палива, згідно з техпаспортом не повинно

перевищувати значень зазначених в ГОСТу 17.2.2.02.

#### **4.6. Заходи пожежної безпеки і правила поведінки населення при пожежах.**

На виробничій ділянці де використовується віброплита, можливе використання іншої будівельно-дорожньої техніки з двигунами внутрішнього згорання та інших джерел енергії. А тому, машини обладнані баком для палива і баком для зберігання масла гідравлічної системи у випадку неправильного поводження з вогнем можуть бути джерелом небезпеки загорання.

Усі баки на машині повинні бути герметично закриті. Конструкція кришок паливних і масляних баків не повинна допускати їх витоку під час нахилу машини до 30°. Окрім цього необхідно стежити за герметичністю з'єднань паливопроводів.

Місце стоянки техніки повинно бути обладнане засобами пожежегасіння, а машина укомплектована вогнегасником марки ПР-1МВС. У випадку появи полум'я обслуговуючий персонал повинен оперативно скористатися вогнегасником або накрити полум'я брезентом чи засипати його піском. Бензин, гас, різні органічні масла, електропроводку водою гасити не можна. Їх слід гасити за допомогою пінних чи порошкових вогнегасників, шляхом засипання піском чи землею.

Будь яка пожежа починається з загорання, яке часто може погасити одна людина. Але ліквідувати пожежу однієї людини, тим більше без відповідних засобів пожежегасіння, не просто. Загальним правилом боротьби з пожежею є гасіння її в місцях інтенсивного горіння, при цьому засобами гасіння необхідно подіяти не на полум'я, а на поверхню котра горить.

При виникненні пожежі в населеному пункті або на виробництві в першу чергу необхідно сповістити про це по телефону в пожежну команду, а потім спробувати загасити полум'я. При цьому необхідно, за наявності, намагатися застосовувати протипожежний інвентар: пінні чи порошкові вогнегасники, пісок, цупкі покривала тощо.

Для зменшення впливу температури на тіло необхідно змочити одяг водою, а на рот одягнути марлеву чи матерчату пов'язку змочену водою. Через сильно задимлені приміщення рухатись, пригнувши голову ближче до підлоги.

Зачинені двері слід відкривати обережно зважаючи на можливий протяг. Потерпілим, які отримали опіки потрібно надати першу медичну допомогу, а при потребі госпіталізувати.

#### 4.7. Цивільна оборона та захист навколишнього середовища

Стихійні лиха - це різні явища природи, що викликають раптові порушення нормальної життєдіяльності населення, а також руйнування та знищення матеріальних цінностей. Вони часто негативно впливають на оточуюче середовище і природу.

До стихійних лих відносяться землетруси, повені, селеві потоки, зсуви, снігові заноси, виверження вулканів, обвали, засухи. До таких лих в ряді випадків можуть бути віднесені також пожежі, особливо лісові і торф'яні.

Небезпечними лихами є, крім того, виробничі аварії. Особливу небезпеку несуть аварії на підприємствах нафтової, газової та хімічної промисловості.

Причинами виробничих аварій можуть бути стихійні лиха, а також порушення технології виробництва і правил техніки безпеки. Найбільш типовими наслідками аварій можуть бути вибухи, пожежі, затоплення, завали шахт, зараження оточуючого середовища сильнодіючими отруйними речовинами.

Завдання кожного працюючого на виробництві – знати основні правила поведінки при аваріях, вміти діяти в складній ситуації. Існують певні правила і послідовність відключення електроенергії, зупинки транспортних пристроїв, агрегатів і апаратів, перекриття продуктових, газових, парових і водяних комунікацій у відповідності з технологічним процесом і технікою безпеки, порушення яких може ускладнити обстановку; ці правила і послідовність дії треба вивчити, постійно пам'ятати і вміти практично виконувати.

В аварійній ситуації важливим завданням є організація сучасного оповіщення про аварії. Кожен працівник повинен вміти викликати пожежну команду, а також газову службу. Для ліквідації виробничих аварій і рятування потерпілих в першу чергу використовують спеціальні підрозділи пожежників і газорятувальників; за необхідності використовуються формування ДНС.

## Розділ 5.

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ САМОХІДНОЇ ВІБРОПЛИТИ

Здійснюючи порівняння техніко-економічних показників базової і нової машини, визначаємо економічну ефективність впровадження вдосконаленої конструкції самохідної віброплити у виробництво.

Таблиця 5.1

Вихідні дані для розрахунків

Показники	Базова машина	Вдосконалена машина
Потужність, кВт	2,5	1,5
Маса плити, кг	65	80
Ширина плити	400	400
Продуктивність, м <sup>2</sup>		
- за годину змінного часу м <sup>2</sup> /год	380 без реверсу	450 з реверсом
- за зміну, м <sup>2</sup> /зм	228 0	2700
- за рік, м <sup>2</sup> /рік	5,01 x10 <sup>5</sup>	5,9x10 <sup>5</sup>
Коефіцієнт використання змінного часу*	0,75	0,75
Кількість обслуговуючого персоналу	1	1
Тарифна ставка оператора плити, грн./год (за 9 розрядом тарифної сітки станом на 2020 р.)	21,6 4	21,64
Питома витрата електроенергії, кВт/год	2,5	2,5

\* для ручної роботи з машинами та устаткуванням  $K_{зм} = 0,65 \dots 0,85$ .

Визначаємо затрати праці на одиницю роботи, люд-год./м<sup>2</sup>:

$$T = \frac{\sum n_i}{W_r}; \quad (5.1)$$

де  $W_r$  – продуктивність плити за годину змінного часу, м<sup>2</sup>/год;

$n_i$  – кількість операторів,  $n_i = 1$ .

Тоді, для базової моделі:

$$T_c = \frac{1,0}{380} = 0,0026 \text{ люд-год./м}^2;$$

для вдосконаленої моделі:

$$T_n = \frac{1,0}{450} = 0,0022 \text{ люд-год./м}^2.$$

Затрати праці від застосування вдосконаленої віброплити, %:

$$C_T = \frac{T_c - T_n}{T_c} \cdot 100\% = \frac{0,0026 - 0,0022}{0,0026} \cdot 100\% = 15,38\% \quad (5.2)$$

Економія праці на одиницю роботи, люд-год./м<sup>2</sup>:

$$E_n = T_c - T_n = 0,0026 - 0,0022 = 0,0004 \quad (5.3)$$

Річна економію праці нового пристрою, люд-год.:

$$E_{np} = (T_c - T_n) \cdot W_{np} = E_n \cdot W_{np} = 0,0004 \cdot 294000 = 237,6 \quad (5.4)$$

Показник росту продуктивності праці:

$$B = \frac{T_c}{T_n} = \frac{0,0026}{0,0022} = 1,18 \text{ рази} \quad (5.5)$$

За нормативами приймаємо річне завантаження віброплити  $T_3 = 1400$  год/рік.

Прямі затрати на одиницю виробітку продукції, грн./м<sup>2</sup>:

$$U_{nz} = Z + A + P_k + P_T + \Gamma + \Pi_I \quad (5.6)$$

$A$  – амортизаційні відрахування, грн./ м<sup>2</sup>;

$Z$  – зарплата обслуговуючого персоналу, грн./ м<sup>2</sup>;

$P_k$  – затрати на капітальний ремонт обладнання, грн./ м<sup>2</sup>

$P_T$  – затрати на техобслуговування пристрою та поточний ремонт, грн./м<sup>2</sup>;

$\Gamma$  – затрати на паливо-мастильні матеріали, грн./ м<sup>2</sup>;

$\Pi_I$  – інші прямі затрати, грн./ м<sup>2</sup>.

Заробітну плату визначаємо за формулою, грн./ м<sup>2</sup>:

$$Z = \frac{1,0}{W_3} \cdot \Sigma x \cdot r_j, \quad (5.7)$$

$x$  – кількість працівників;

$r_j$  – годинна тарифна ставка оплати праці обслуговуючого персоналу віброплити, грн. м<sup>2</sup>.

Тоді, для базової моделі:

$$Z = \frac{1,0}{380} \cdot 1,0 \cdot 21,64 = 0,057;$$

для нової:

$$z = \frac{1,0}{450} \cdot 1,0 \cdot 21,64 = 0,048;$$

Амортизаційні затрати знаходимо за формулою, грн./ м<sup>2</sup>:

$$A = \frac{B_{c(n)} \cdot a}{T_3 \cdot W_T}, \quad (5.8)$$

де  $B_n$  – балансова ціна вдосконаленої машини,  $B_n = 45500$  грн;

$B_c$  – балансова ціна базової машини,  $B_c = 45000$  грн;

$a$  – коефіцієнт відрахувань на амортизацію,  $a = 0,166$ .

Тоді, для базової плити:

$$A_c = \frac{45000 \cdot 0,166}{1400 \cdot 380} = 0,014;$$

для вдосконаленої:

$$A_n = \frac{45500 \cdot 0,166}{1400 \cdot 450} = 0,012$$

За технічними нормативами коефіцієнт відрахувань на планове технічне обслуговування і капітальний та поточний ремонт і планове технічне обслуговування віброплити становить:

$$P_k + P_T = 40\%; \quad (5.9)$$

тоді, для базової конструкції, грн./ м<sup>2</sup>:

$$P_{\frac{c}{k}} + P_{\frac{c}{T}} = \frac{45000 \cdot 40}{100 \cdot 380 \cdot 1400} = 0,034;$$

для вдосконаленої, грн./т:

$$P_{\frac{n}{k}} + P_{\frac{n}{T}} = \frac{45500 \cdot 40}{100 \cdot 450 \cdot 1400} = 0,029.$$

Затрати на електроенергію, грн./ м<sup>2</sup>:

$$\Gamma = q \cdot C_e / W_2 \text{ грн./ м}^2 \quad (5.10)$$

де  $C_e$  – ціна 1 кВт електроенергії ( $C_e = 2,64$  грн);

$q$  – витрата електроенергії,  $q = 5,5$  кВт/год:

$$\Gamma_c = 2,5 \cdot 2,64 / 380 = 0,017 \text{ грн./м}^2$$

$$\Gamma_n = 1,5 \cdot 2,64 / 450 = 0,009 \text{ грн./м}^2$$

Затрати на допоміжні матеріали, грн./м<sup>2</sup>:

$$P_l = M \cdot C_e / W_2 = 2,12 \cdot 25,4 / = 51,73 \quad (5.11)$$

де  $C$  – ціна допоміжних матеріалів, за нормативними даними  $C_e = 15,1$  грн.

$M$  – затрати допоміжних матеріалів, за нормативними даними  $M = 2,12$  кг.

$$П_c = 2,12 \cdot 25,4 / 380 = 0,14 \text{ грн./м}^2;$$

$$П_n = 2,12 \cdot 25,4 / 450 = 0,12 \text{ грн./м}^2;$$

Тоді, для базової моделі плити, грн./м<sup>2</sup>:

$$U_{пз}^c = 0,057 + 0,014 + 0,034 + 0,017 + 0,14 = 0,262 \text{ грн./м}^2$$

для вдосконаленої плити за нормативними даними, грн./м<sup>2</sup>:

$$U_{пз}^n = 0,048 + 0,012 + 0,029 + 0,009 + 0,12 = 0,218 \text{ грн./м}^2$$

Прямі експлуатаційні затрати визначаємо за формулою:

$$U_p = U_{пз} \cdot B_3, \text{грн} \quad (5.12)$$

$B_3$  – продуктивність віброплити за рік, м<sup>2</sup>,

тоді, для базової, грн.:

$$U_p^c = 0,262 \cdot 5,01 \cdot 10^5 = 131262 \text{ грн};$$

для вдосконаленої, грн.:

$$U_p^n = 0,218 \cdot 5,9 \cdot 10^5 = 128620 \text{ грн.}$$

Річна економія експлуатаційних затрат, грн:

$$U_{pE} = U_p^c - U_p^n = 131262 - 128620 = 3000 \text{ грн} \quad (5.13)$$

Типові капіталовкладення становлять:

$$K_n = \frac{Б}{T_3 \cdot W_r} \text{ грн/м}^2 \quad (5.14)$$

- для базові:

$$K_n^c = \frac{45000}{1400 \cdot 380} = 0,085 \text{ грн/м}^2;$$

- для нової:

$$K_n^n = \frac{45500}{1400 \cdot 450} = 0,072 \text{ грн/м}^2.$$

Визначаємо капіталовкладення на річний об'єм робіт, грн:

$$K_{np} = K_n \cdot W_r; \quad (5.15)$$

- для базової моделі:

$$K_{np}^c = 0,085 \cdot 5,01 \cdot 10^5 = 42585 \text{ грн};$$

- для вдосконаленої моделі:

$$K_{np}^n = 0,072 \cdot 5,9 \cdot 10^5 = 42480 \text{ грн.}$$

Приведені затрати на одиницю виробітку:

$$П_n = E \cdot K_n + U_n \text{ грн./м}^2; \quad (5.16)$$

де  $E$  – коефіцієнт ефективності капіталовкладень,  $E = 0,15$ ;

тоді, для базової:

$$\Pi_{\text{н}}^{\text{с}} = 0,15 \cdot 0,085 + 0,262 = 0,275 \text{ грн./м}^2;$$

для нової:

$$\Pi_{\text{н}}^{\text{н}} = 0,15 \cdot 0,072 + 0,218 = 0,229 \text{ грн./м}^2.$$

Приведені затрати на річний об'єм робіт, визначаємо за формулою, грн:

$$\Pi_{\text{пр}} = \Pi_{\text{н}} \cdot B_3; \quad (5.17)$$

тоді, для базової, грн.:

$$\Pi_{\text{пр}}^{\text{с}} = 0,275 \cdot 5,01 \cdot 10^5 = 137775 \text{ грн}$$

для нової, грн.:

$$\Pi_{\text{пр}}^{\text{н}} = 0,229 \cdot 5,9 \cdot 10^5 = 135110 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект від впровадження нового віброущільнювача становить, грн:

$$E_{\text{пЕ}} = (\Pi_{\text{пр}}^{\text{с}} - \Pi_{\text{пр}}^{\text{н}}) = 137775 - 135110 = 2675 \quad (5.18)$$

Металомісткість процесу, кг/м<sup>2</sup>:

$$M = \frac{G_{\text{м}}}{Q}; \quad (5.19)$$

де  $G_{\text{м}}^{\text{с}}$  – маса базової моделі,  $G_{\text{м}}^{\text{с}} = 65$  кг;

$G_{\text{м}}^{\text{н}}$  – маса вдосконаленої моделі,  $G_{\text{м}}^{\text{н}} = 80$  кг;

$Q_{\text{м}}$  – річний виробіток вдосконаленої машини,  $Q_{\text{м}} = 5,9 \cdot 10^5 \text{ м}^2$ .

$Q_{\text{с}}$  – річний виробіток базової машини,  $Q_{\text{с}} = 5,01 \cdot 10^5 \text{ м}^2$ ;

Тоді, для базової:

$$M_{\text{с}} = \frac{65}{5,01 \cdot 10^5} = 0,00013 \text{ кг/м}^2;$$

для нової машини, грн.:

$$M_{\text{н}} = \frac{80}{5,01 \cdot 10^5} = 0,00014 \text{ кг/м}^2.$$

Значення металомісткості дорівнює, %:

$$C_{\text{м}} = \frac{M_{\text{с}} - M_{\text{н}}}{M_{\text{с}}} \cdot 100\%; \quad (5.20)$$

$$C_{\text{м}} = \frac{0,00013 - 0,00014}{0,00013} \cdot 100\% = -7,7 \%;$$

Енергомісткість процесу становить:

$$F = \frac{N_{\text{е}}}{W_{\text{г}}} \quad \text{кВт} \cdot \text{год/м}^2 \quad (5.21)$$



де  $N_e$  – потужність двигуна;

Тоді, для базової:

$$F_c = \frac{2,5}{380} = 0,0066 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2;$$

для нової:

$$F_n = \frac{1,5}{450} = 0,0033 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2.$$

Термін окупності модернізованої вібраційної плити становить:

$$T = \frac{B_n - B_c}{E_{pe}} = \frac{45500 - 45000}{2675} = 0,19 \text{ років.}$$

Отримані дані заносимо в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2

Зведені техніко-економічні економічні показники проекту

№ п/п	Найменування показника	Одиниці виміру	Значення	
			Базовий варіант	Модернізований варіант
1.	Показник росту продуктивності праці	рази	_____	0,16
2.	Капіталовкладення за машинами	грн./ м <sup>2</sup>	0,085	0,072
3.	Приведені затрати на одиницю виробітку	грн./ м <sup>2</sup>	0,262	0,218
4.	Приведені затрати на річний об'єм робіт	грн	137775	135110
5.	Питомі затрати праці на одиницю площі	люд.·год/ м <sup>2</sup>	0,275	0,229
6.	Питомі затрати на енергомідкість	кВт год./ м <sup>2</sup>	0,014	0,012
7.	Річний економічний ефект від впровадження удосконаленого пристрою	грн.	2675	
8.	Час окупності удосконаленого пристрою	років	_____	0,19

**Висновки по розділу**

За розрахунками техніко-економічних показників економічний ефект від впровадження самохідної віброплити становить 2675 грн, а термін окупності капіталовкладень – 0,19 років.

## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Результати дослідження роботи спроектованого самохідного вібраційного пристрою для ущільнення ґрунту дозволяють зробити наступні висновки.

1. Збільшення потужності приводного двигуна веде до зменшення часу розгону і збільшення динамічних навантажень.
2. Застосування в конструкції віброплити дебалансного віброзбудника, залежно від його маси і моменту інерції приводить до додаткових витрат потужності двигуна (до 2-3%).
3. Максимальна швидкість пересування віброплити досягається при куті нахилу віброприводу до горизонту  $45 - 50^\circ$ . Оптимальний кут нахилу віброприводу до горизонту під час ущільнення ґрунту становить близько  $30^\circ$ .
4. Вологість сприяє поліпшенню протікання робочого процесу ущільнення ґрунту. Оптимальна вологість для піщаного ґрунту становить 10 – 14%. Подальше збільшення вологості негативно впливає на робочий процес.
5. За результатами проведених експериментів встановлено, що щільність ґрунту збільшується в середньому до 5 – 7 проходів по одному місцю робочої поверхні. Подальше використання віброплити є недоцільним.

## БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Автомобільні дороги : будівництво, ремонт, машини і механізми для виконання робіт / Л. А. Хмара, О. С. Шипілов, В. Д. Мусійко, М. П. Кузьмінець. – К. : НТУ, 2011. – 416 с.
2. Баладінський В.Л. Будівельна техніка: підручник / В.Л. Баладінський, А.М. Тугай, О.М. Гаркавенко, І.В. Русан. - К.: КНУБА, 2002. - 237 с.
3. Баладінський В.Л. Будівельна техніка: навчальний посібник / В.Л. Баладінський, О.М. Лівінський, Л.А. Хмара. - К.: Либідь, 2001. - 361 с.
4. Будівельна техніка : практикум / Н. М. Слободян, О. Б. Волошин. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 104 с.
5. Гурей К. М. Дорожньо-будівельні машини : навч. посібник / К. М. Гурей. – Львів : Кальварія, 2007. – 444 с
6. Деревянко С. Н. Оптимальна механізація швидкісного будівництва автомобільних доріг . – Харків : Вища школа, 1983. – 128 с.
7. Законодавство України про охорону праці. Збірник нормативних документів. Київ: Основа, 1995. 114 с.
8. Експлуатація меліоративних і будівельних машин / С. В. Кравець, М. П. Скоблюк, В. Ф. Ткачук, В. І. Романюк. – К. : Вища школа, 1992. – 328 с.
9. Коруняк П.С. Вібраційні машини у технологічних процесах та технологіях: навч. посібник / П.С. Коруняк, І.С. Керницький. – Львів : Сполом, 2019. – 346 с.
10. Лівінський О.М. Будівельні машини та обладнання: підручник / Лівінський О.М., Пшінько О.М., Савицький М.В., Курок О.І., Єсипенко А.Д., Бабиченко В.Я., Коваленко В.М., Пелевін Л.Є., Смірнов В.М., Воляннюк В.О. - К.: Українська академія наук; «МП Леся», 2015.-612 с.
11. Машини для земляних робіт : навч. посібник / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Нічке. – Рівне, Дніпропетровськ, Харків, 2010. – 557 с.
12. Машини і обладнання для будівництва, утримання і ремонту доріг : навч. посібник / А. В. Фомін, О. О. Костенюк, О. А. Тетерятник, Г. І. Боковня. – К. : КНУБА, 2005. – 126 с.

13. Машини для земляних робіт : підручник / В. Л. Баладінський, О. М. Гаркавенко, С. В. Кравець, І. В. Русан, А. В. Фомін. – Рівне : РДТУ, 2000. – 288 с.
14. Назаренко І. І. Машини для виробництва будівельних матеріалів : підручник / Назаренко І. І. – К. : КНУБА, 1999. – 488 с.
15. Онищенко О.Г. Будівельна техніка: підручник / О.Г. Онищенко, В.О. Онищенко, С.Л. Литвиненко, Б.О. Коробко. - К.: Кондор-Видавництво, 2017. - 416 с.
16. Онищенко О.Г. Будівельна техніка: навч. посібник / О.Г. Онищенко, В.М. Помазан. - К.: Урожай, 1999. - 302 с.
17. Палій В.П. Будівельна техніка: навчальний посібник / В.П. Палій, І.М. Малик. - К.: Аграрна освіта, 2009. - 254 с. – с. 147-149.
18. Полянський С. К. Будівельнодорожні та вантажопіднімальні машини / Полянський С. К. – К. : Техніка, 2001. – 624 с.
19. Панченко В.О. Технологія і механізація будівельних процесів: навч. посібник. / В.О. Панченко, М.Г. Костюк, А.О. Качура. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 242 с.
20. Пістун І.П., Кіт Ю.В, Березовецький А.П., Ліщук М.Є., Стець М.Б. Охорона праці на автомобільному транспорті (будівництво, ремонт, утримання автомобільних доріг): навчальний посібник. Суми: Університетська книга, 2012. 480 с.