

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

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**на тему**  
**«Розробка і проектування самохідної віброплити»**

Виконав: студент IV курсу, групи Маш-42сп

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
(шифр і назва)

Олег Широн  
(Ім'я та прізвище)

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)  
“” 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу студенту  
**Широн Олег Богданович**  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи: «Розробка і проектування самохідної віброплити»**

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

затверджені наказом університету від 27.11. 2023 року № 641/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 20.06. 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. Основи технології ущільнення ґрунту

2. Машинне ущільнення ґрунтів;

3. Проектування самохідної 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, 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 30.11.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	<i>Технологічні основи з ущільнення ґрунту</i>	<i>1.12.23-14.01.24</i>	
2	<i>Машинне ущільнення ґрунтів</i>	<i>15.01.24-20.03.24</i>	
3	<i>Проектування самопересувної віброплити</i>	<i>21.03.24-30.04.24</i>	
4	<i>Охорона праці</i>	<i>01.05.24-16.05.24</i>	
5	<i>Економічна частина</i>	<i>17.05.24-02.06.24</i>	
6	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	<i>03.06.24-20.06.24</i>	

Студент Олег ШИРОН  
(підпис) (Ім'я та прізвище)

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

Розробка і проектування самохідної віброплити.

Широн О.Б. Кваліфікаційна робота. – Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2024р.

56 с. текст. част., 18 рис., 4 табл., 14 джерел інформації.

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

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. Ознайомлено з методикою експериментальних досліджень щодо визначення щільності піщаного ґранту.

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

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
Розділ 1. ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ	
1.1. Загальні відомості.....	7
1.2. Природне самоущільнення.....	9
1.3. Способи машинного ущільнення.....	10
1.4. Послідовність проведення робіт з ущільнення ґрунтів.....	15
Розділ 2. МАШИННЕ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ	
2.1. Загальні відомості про машинне ущільнення .....	16
2.2. Ущільнення ґрунтів укочуванням.....	18
2.3. Технологічні схеми ущільнення ґрунтів.....	23
2.4. Трамбувальні машини.....	26
2.5. Вібраційне ущільнення.....	28
Розділ 3. ПРОЕКТУВАННЯ САМОХІДНОЇ ВІБРОПЛИТИ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ	
3.1. Будова і принцип дії самохідної віброплити.....	29
3.2. Основи проектування самохідної віброплит.....	31
3.2.1. Вібропривод.....	31
3.2.2. Основних параметрів віброплити.....	32
3.2.3. Режим роботи віброплити.....	33
3.2.4. Потужності приводу.....	35
3.2.5. Розрахунок підшипників дебалансного вібратора.....	36
3.3. Основні параметри робочого процесу.....	39
Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ І ВИРОБНИЧА БЕЗПЕКА	
4.1. Джерела та фізичні характеристики вібрації .....	40
4.2. Вплив вібрації на людину.....	41
4.3. Нормування та контроль вібрації.....	42
4.4. Захист від вібрації.....	44
4.5. Основні положення техніки безпеки під час роботи з віброплитою.....	46
4.6. Заходи пожежної безпеки і правила поведінки населення при пожежах.....	47

4.7. Цивільна оборона та захист навколишнього середовища.....	48
Розділ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ САМОХІДНОЇ ВІБРОПЛИТИ.....	49
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.....	55
БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	56

## ВСТУП.

Завданням дорожнього та будівельного машинобудування є створення конструкцій і систем керування машин, завдяки яких можлива автоматизація і комплексна механізація проведення робіт в промисловому, сільськогосподарському, житловому, дорожньому і гідротехнічному будівництві. Під цим мається на увазі така організація праці, за якої важкі і трудомісткі процеси, а також допоміжні і основні операції здійснюються новими відповідаючими сучасному розвитку науки і техніки засобами виробництва. Сьогодні спостерігається розвиток зовсім нових високопродуктивних видів цивільного та промислового будівництва, лінійних споруд і комунікацій тощо.

Важливим напрямком поліпшення якості технологічних операцій вважається застосування в роботі технологічних машин окремих приводів їх механізмів, розроблення модульних систем та мінітехніки, використовуючи при цьому уніфікованих елементів і пристроїв. Під час проектування та експлуатації такого комплексного обладнання роботів і маніпуляторів, які б виконували допоміжні, а також основні операції.

При виконання земляних робіт на будівництві різного типу земляних споруд здійснюється операція з ущільнення основи ґрунту. Вона вважається найбільш відповідальною під час зведення греблів, дорожніх насипів покриттів, благоустрою вулиць і майданчиків тощо. Від якості її виконання залежать міцність, водонепроникність і стійкість споруд, термін та безпечність їх служби. Неякісно здійснене ущільнення приводить до непродуктивних витрат, енергетичних, матеріальних і людських ресурсів. Тому, завданням цієї операції є одержання міцної і щільної структури ґрунту, здатної довгостроково виконувати свої функції.

## Розділ 1.

# ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ

### 1.1. Загальні відомості

Ущільнення ґрунту вважається однією з важливих і трудоміких технологічних операцій під час будівництва різних земляних споруд, земляного полотна, будівництва залізних і автомобільних шляхів, спорудження дамб, ґрунтових подушок, прокладання вулиць, майданчиків різного призначення є ущільнення ґрунту. Від якості виконання цих робіт буде залежити міцність і стійкість споруди, а також протидія до температурних деформацій розмиванню тощо.

У неущільнених ґрунтах можна спостерігати порожнечі, залишкові деформації під час механічних навантажень та утворення нерівностей у вигляді ям та вибоїн на вулицях та проїжджій частині дороги. Натомість ущільнення ґрунту уможливорює підвищенню його міцності до 20 %.

Процес ущільнення це перетворення фізико-механічних властивостей ґрунту без зміни його хімічного стану. Під час ущільнення частинки ґрунту зміщуються в результаті чого збільшується контакт між ними, а отже щільність, витискається повітря, несуча здатність зростає і ґрунт міцнішає. Такий його стан набуває стійкішого стану до просідання, фільтрації і розмивання.

Найефективніші результати ущільнення можна отримати за оптимальної вологості ґрунту, яка визначається спеціальними засобами (приладом стандартного ущільнення). Слід зауважити, що перезволожені ґрунти важко піддаються ущільненню, перед цією операцією їх необхідно підсушити, а дуже сухі навпаки – попередньо зволожити.

Крім того, ущільнення ґрунту залежить також від гранулометричного і хімічного його складу.

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.



Ґрунти класифікуються на такі види: скельних ґрунтів; напівскельні ґрунти; крупноуламкових ґрунтів; піщані ґрунти; глинисті ґрунти; «пливуни».

Слід зазначити, що «пливуни» це найскладніший вид ґрунтів. Їм характерна надмірна рухливість та схильні до розмивання.

На будівництві крім наведених ґрунтів природнього походження використовуються і штучні, які теж можна розділити на насипні і підстави: щебеню, піску, будівельного сміття, гравію, «пустих» гірських порід, відходів промислового виробництва, шлаку тощо.

## 1.2. Природнє статичне самоущільнення

В залежності від технічних характеристик та виду ґрунту використовують наступні способи ущільнення ґрунту: природнє статичне самоущільненням; ущільнення механічними засобами: статичної дії (котки), динамічної дії (ущільнюючі плити), вібраційними машинами (вібратори).

Природнє ущільнення проводиться завдяки ваги об'єкту і не потребує значних витрат. Проте використовуючи цей спосіб не завжди досягається бажаних результатів і не забезпечує від руйнування всієї конструкції.

Для пришвидшення процесу ущільнення здебільшого вдаються до замочування тобто повного насичення водою земляного покрову. При цьому в середині ґрунту його елементи розпадаються і таким чином щільність зростає.

Іншим способом є спосіб відсипанням ґрунту у воду. За цих умов можна одержати щільність з високим ступенем, структура стає монолітною та водонепроникною (рис. 1.1). Тому греблі, дамби, греблі тощо як правило будуються на підставі пошарового відсипання землі у воду.

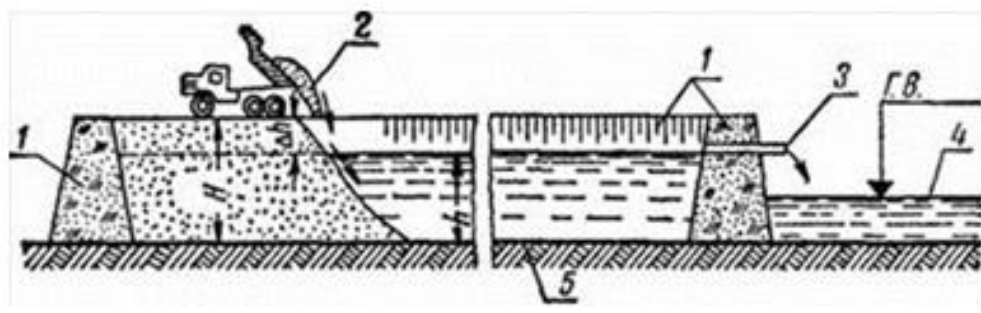


Рис. 1.1. - Схема будівництва насипу шляхом відсипанням ґрунту у воду: 1 — дамби обвалування чеків; 2 — відсипання ґрунту у воду; 3 — труба для зливу надлишкової води; 4 — сусідня карта; 5 — поверхня карти. ¶

Технологічна послідовність будівельних операцій проводиться у такий спосіб: розбивання і підготовка основи на карти укладання; проведення відсипання по зовнішньому контуру дамб; наповнення їх водою; засипання їх ґрунтом.

При цьому способі не проводяться ущільнення і розрівнювання ґрунту, які мають місце при сухому способі будівництва насипів. Ущільнення ґрунту відбувається завдяки власної ваги і рухомих засобів.

Розміри карти укладання (чек) визначаються величиною потоку ґрунту. В залежності від глибини води у картах укладання  $h$  встановлюється товщина шару відсипання залежить від глибини води, властивостей ґрунтів та тоннажності машин. В свою чергу, глибина води у чеках залежить від обвалування дамб. Їх зводять насухо завдяки тяжкої техніки. Рівень води утримується на певній позначці, а зайва вода відводиться у сусідні чеки.

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

Здебільшого для забезпечення проектної щільності ґрунтів використовують різні спеціальні механізми та машини, які завдяки спеціальній пристроям шляхом багаторазової і послідовної силової дії впливають на ґрунт. Необхідно сказати, що на початках інтенсивність ущільнення максимальна, а далі, досягнувши відповідного значення ця механічна дія суттєво не призводить до зміни (рис. 1.2).

На виробництві застосовують кількаразове (6...8 кратне) прикладання динамічного навантаження для досягнення необхідної проектної щільності.

Чинники, від яких залежить ущільнення ґрунту:

- механічний склад ізв'язність частинок ґрунту;
- вологість початкова щільність;
- товщина ущільнювального шару ґрунту;
- число проходів;
- режим роботи механізмів і спосіб ущільнення.

Процес ущільнення залежить від вологості. Вода у ґрунті зменшує тертя між його частинками. Проте, із збільшенням вологості досягнувши певної границі (рис. 1.3), щільність буде зменшуватися, тобто ґрунт починає розпушуватись (плисти).

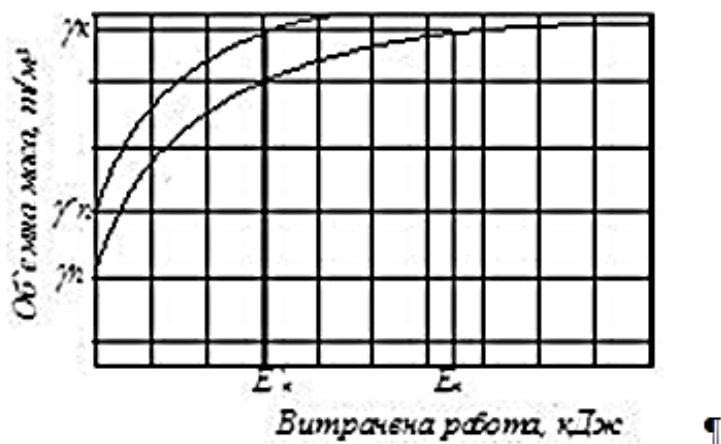


Рис. 1.2. Залежність об'ємної ваги ґрунту від витраченої на його ущільнення роботи

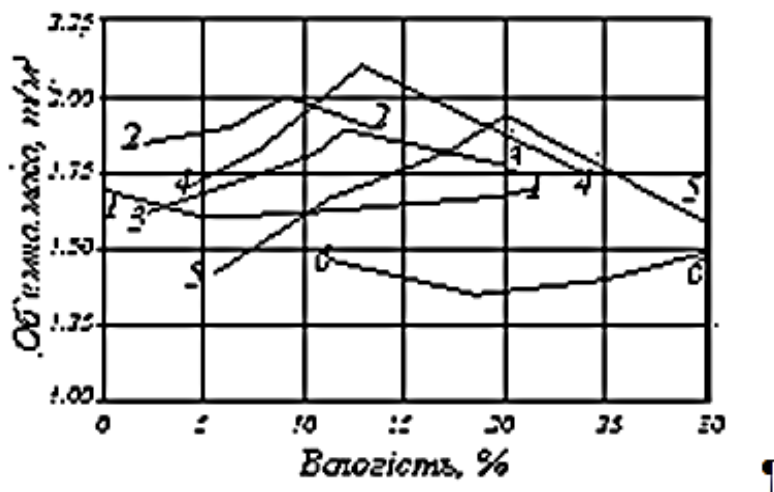


Рис. 1.3. Залежність об'ємної ваги ґрунту від його вологості при однаковій витраченій на ущільнення роботі: 1, 2 — однорідний та різнорідний пісок; 3, 4, 5 — легкий, середній та важкий суглинки; 6 — глина

Під час досліджень встановлено (рис. 1.3):

- зменшення зв'язності ґрунту веде до зменшення його щільності;
- за умов однакової здійсненої роботи щільність ґрунтів стає більшою;
- оптимальна вологість збільшується із зростанням зв'язності ґрунту.

Під час зволоження кількість води визначають за формулою

$$g = (\omega_0 - \omega_n - \omega_v) \cdot 100 \cdot \rho_n / \rho_v \dots \dots \dots (1.1)$$

де  $\omega_0, \omega_n, \omega_v$  — 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>.

До машинних способів ущільнення відносяться: трамбування, укочування і вібраційне ущільнення. На підставі їх можуть застосовуватись ще й комбіновані. Вибираючи спосіб ущільнення необхідно враховувати принцип дії пристрою та взаємодію його робочого органу з об'єктом.

### **Трамбування ґрунту**

Трамбуванням це один із способів механічного ущільнення, яке супроводжується ударами робочим органом по ґрунту. Ці пристрої називаються трамбівкою. Під час ударної взаємодії робочого органу з ґрунтом відбувається переміщення його частинок в усіх напрямках. Крім переміщення частинок, витискається повітря, руйнуються порожнини. Слід зазначити, що не вся енергія йде на ущільнення, а значна її частина поглинається ґрунтом за рахунок його пружних властивостей.

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.

Як правило, цей спосіб використовується для ущільнення великоуламкових, грудкуватих ґрунтів, а також насипів та ділянок доступ до яких обмежений.

Для машинного трамбування використовується трамбувальні плити вагою у кілька тонн, які падають з висоти 3...5 метрів. Вони можуть бути у формі циліндра з плоским дном. Ефективність робочого процесу визначається частотою ударів, масою і швидкістю робочого елемента. Ступінь ущільнення визначатиметься роботою органу, тобто його роботою, яка дорівнюватиме добуткові ваги та висоти скидання плити і та кількості ударів.

Машинне трамбування виконують завдяки дорожньої техніки, до якої відносяться трактори, навантажувачі, підйомники тощо.

На невеликих площах, а також присадибних ділянках можна використовувати так звані «товкачки». Їх поділяються на «легкі» (до 30 кг) та «важкі» (80 кг і більше). Вони можуть бути оснащені ручним і машинним приводом.

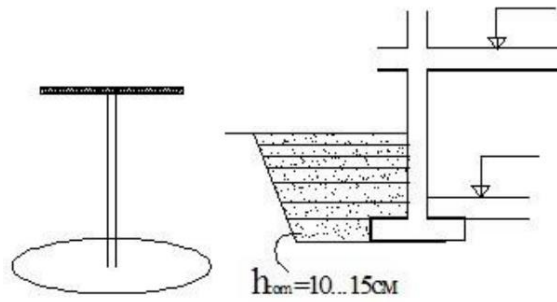


Рис. 1.4. Ручна трамбівка

Трамбувальні роботи можна проводити в любий період року.

### **Укочування ґрунту.**

Укочування це такий спосіб механічного ущільнення, при якому власна вага механізму та горизонтальне тягове зусилля у вигляді результуючої під кутом сили передається на ґрунт. Найбільш ефективним є похилий рівномірний тиск, який можна реалізувати під час перекочування колеса чи барабана.

Цей спосіб застосовується під час ущільнення уламкових, глинястих і піщаних ґрунтів на великих площах де можуть всіляко маневрувати механізми і робочі машини. Як правило укочування здійснюється пошарово у кілька етапів. При цьому ступінь ущільнення залежить від вологості і типу робочих механізмів та машин. Крім того, вибір засобів укочування залежить ще від продуктивності виробничого процесу.

На початку цієї технологічної операції проводять попереднє укочування – «відкатка». Вона здійснюється легкими котками і тракторами. Потім визначається оптимальний ступінь ущільнення і визначається кількість проходок техніки.

### **Вібраційне ущільнення.**

Найефективним способом ущільнення є вібраційне. Під час передачі коливань та динамічних навантажень на частинки ґрунту відбувається їх інтенсивне переміщення в результаті чого відбувається максимальний рівень контакту між ними, зменшуються порожнини, що в цілому здійснюється ущільнення ґрунту. Перевагою цього способу перед іншими є те, що ним можна реалізувати глибинне ущільнення ґрунту за мінімального числа проходжень.

Вібраційне ущільнення відбувається шляхом вібрування робочого органу оснащеним віброзбудувачем (віброприводом). Переважно використовують дебалансний (інерційний) вібропривод. Ці пристрої генерують одночасно статичні і динамічні навантаження на ґрунт.

Робочий режим функціонування вібраційних і віброударних механізмів характеризуються амплітудою і частотою коливань. Із збільшенням амплітуди та зменшенням частоти коливань вібраційний режим перетворюється у віброударний. машини, які працюють у цьому режимі називаються віброударними.

Самохідні вібраційні засоби використовуються для пошарового ущільнення товщиною до 0,6 - 0,85 м, прямолінійних ділянок із поперечними ухилом полотна не більше 12%. Найкращі результати можна одержати при вологості 10 – 15 %. Із зростанням її необхідна щільність досягається із зменшенням числа проходів вібромашини та зменшення робочого часу робочого органу.

До комбінованих методів ущільнення (віброукатка, вібротрамбування) відноситься суміщення роботи засобів трамбування та укочування із вібрацією.

#### **Інші способи ущільнення.**

До інших способів ущільнення відноситься спосіб на підставі вибуху. При цьому процес ущільнення здійснюється від вибуху, який реалізує коливання ґрунту під дією ударної хвилі. За цих умов лише незначна частка витрачається на ущільнення, а більша її частина – на пружне стискання ґрунту і виходить на зовні.

Відомі способи ущільнення поділяються на глибинні і поверхневі. До глибинних відносяться глибинні вибухи, пробивання свердловин, глибинні вібратори, статичне і додаткове навантаження конструкції. У цьому випадку відбувається дія зовнішнього навантаження на певну глибину ґрунту.

До поверхневих відносяться способи коли до поверхні масиву прикладена силова дія. До них відносяться вище розглянуті способи: машинне трамбування, укочування тощо.

Слід зауважити, що під час трамбування, укочування, здійснення вибухів чи використовуючи вібрацію або віброудари навантаження на ґрунтовий масив здійснюється циклічно, а тому за таких умов відбувається почергове навантаження та розвантаження. Відповідно до цього залишкові деформації позитивно впливають на ступінь щільності.

#### **1.4. Послідовність проведення робіт**

Ступінь ущільнення ґрунту задається проектом. На підставі заданого проектом ступеня ущільнення ґрунту визначається оптимальна вологість і максимальна щільність. До основних параметрів робочого процесу відноситься рівномірність ущільнення по глибині, товщина ущільненого шару, число необхідних запроектованих проходів (або ударів) для забезпечення заданої щільності.

Під час ущільнення ґрунту приймаються такі розміри ділянок: для пневмокатків – 200 м; для трамбувальних машин – 50 м і більше, для кулачкових катків – 280-320 м; для віброкатків – 250-350 м.

Продуктивність катків зростає із збільшенням виробничої ділянки. Для забезпечення техніки безпеки під час проведення робіт необхідно визначити безпечну ширину насипу. Необхідно врахувати аби машина не змогла сповзти під укіс.

Для одержання запроектованої щільності ґрунтів необхідно під час виконання робочого процесу слідувати таким рекомендаціям і правилам:

- ущільнювати ґрунту зразу після укладання та розрівнювання;
- у дощову погоду роботи з ущільнення ґрунту не проводити;
- ефективність робочого процесу забезпечується при ущільненні шарами ґрунту однакової товщини;
- у разі наявності надлишкової вологості ґрунту проводити підсушування і розпушування його на глибину ущільнювального шару.

За дотримання правил техніки безпеки ущільнення проводити окремими проходами техніки від краю до її середини. Кожен наступний удар робочого органу чи прохід техніки, для уникнення наявності не ущільнених ділянок, необхідно щоб попередні сліди перекривались на 0,10-0,25 м.

## Розділ 2.

### МАШИННЕ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ

#### 2.1. Загальні відомості про машинне ущільнення

Ущільнювальні машини можна поділити на дві групи: статичної дії, до них відносяться засоби укочування та динамічної дії, до яких відносяться трамбувальна техніка і вібраційні машини. Крім того відоме ущільнювальне обладнання в роботі, яких використовуються комбіновані методи ущільнення: вібротрамбування, віброукочування, поєднання трамбування з укочуванням. В залежності від переміщення ці засоби бувають самохідними і причіпними, а також у відношенні до базової техніки навісними.

З огляду на робочий орган ці машини поділяються на статичні котки та вібраційні. Причому їх поверхня може бути з кулачковою, гладкою та ґратчастою обичайкою. Крім того, котки бувають пневмоколісні, а трамбувальна техніка монтується на шасі гусеничних тракторів, відомі ручні трамбівки з бензиновим та електричним приводом. Трамбувальні машини можуть бути виконані на базі гідравлічних екскаваторів, гідромолотів; причіпними і самопересувними, екскаваторів з навісними віброплитами (рис. 2.1). Під дією ваги машин і взаємодії з ґрунтом виникає навантаження, що генерує у ґрунті внутрішнє напруження і деформації. Інтенсивність створення незворотних деформацій визначає Ефективність роботи засобів ущільнення визначається інтенсивністю виникнення незворотних деформацій.

Як правило, всередині кожної групи ущільнювальні машини за своєю масою ще можна розділити на важкі, середні і легкі.

Крім того, ущільнювальній техніці надається індекс дорожнього ущільнювача (ДУ), встановлюється для нього порядковий номер реєстрації в завданні на проектування. Для прикладу, дорожньо причіпний кулачковий коток має позначення ДУ-26А, Це означає: ДУ - ущільнювач дорожній; 26 - в реєстрі має цей порядковий номер; А –буква алфавіту, яка вказує почергову модернізацію котка.

Вибір машини, типорозмір її та спосіб ущільнення, визначаються умовами виробництва.



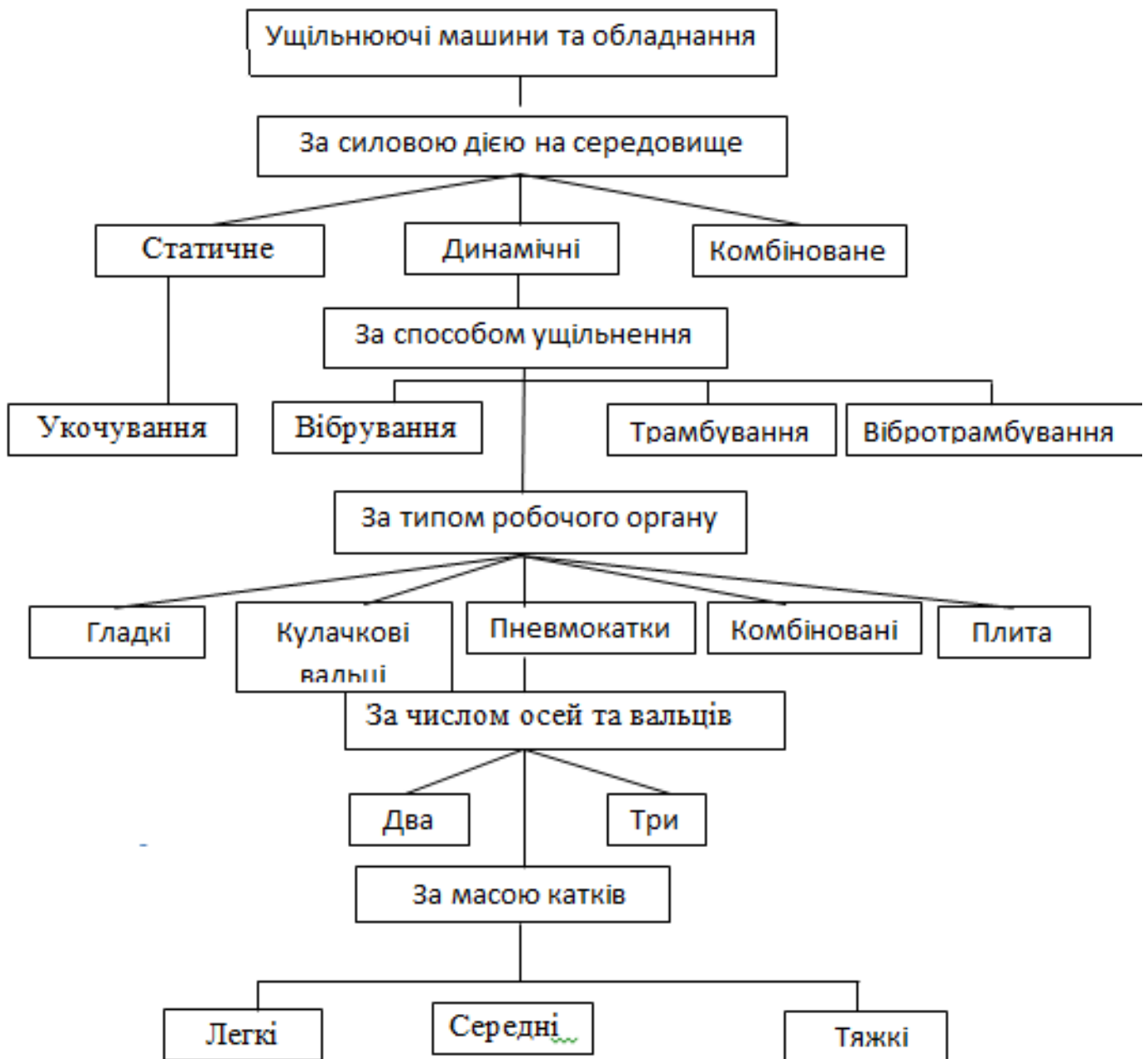


Рис. 2.1. Класифікація ущільнюючих машин і обладнання

Під час будівництва покриттів вулиць, міських доріг, площ та ґрунтових основ, для ущільнення ґрунтів, асфальтобетонних сумішей, гравійно-щебених основ використовують цілий ряд машин, завдяки яким можна трамбувати, укочувати і застосовують вібрацію для ущільнення. При цьому частинки ґрунту завдяки витісненню рідкої та газоподібної фаз одержують додаткове урощення внаслідок чого зменшується об'єм, стає міцнішою структура ґрунту.

В таблиці 2.1. наведені наближені значення максимальних щільностей і оптимальних вологостей ґрунтів.

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

На сучасному етапі виробництва необхідно вдосконалювати конструкції трамбувальних машин, пневмоколісних котків, обладнання ударної та вібраційної дії. З метою підвищення їх ефективності розробляються конструкції, в роботі яких використовуються все те найкраще, що зафіксоване на практиці. Особливу увагу слід приділяти засобам вібраційної дії, в яких можна застосувати багаторежимних принцип роботи, можливість регулювати параметри виконавчих механізмів, застосування гідроприводу, зменшити рівень вібрації і шуму.

## 2.2. Ущільнення ґрунтів укочуванням

Котки відносяться до машин статичної дії. Вони рухаються по ущільнювальній поверхні ґрунта. Для досягти необхідної щільності полотна вони виконують кілька проходів по одному місцю.

Укочування проводять на майжн всіх видів ґрунтів: піщаних, великоуламкових, глинистих. Його застосовують на великих площах з можливістю маневрувати технікою виконуючи великий фронт роботи. Укочування, як правило, здійснюється для пошарово під час будівництва земляних споруд, підготовці основ будівельних конструкцій, планувальних насипів, ґрунтових подушок тощо.

Вид і тип застосовуваної техніки, вологість ґрунтів є визначальними чинниками ефективності робочого процесу ущільнення. Найвищий цей показник спостерігається в глинистих, великоуламкових і піщаних ґрунтах за умови оптимальної вологості.

Ущільнення укочуванням проводиться причіпними і самохідними пневмокатками, автомашинами, навантаженими скреперами, тракторами. Використовують катки як статичної так вібраційні дії. Вони більш ефективні на лінійних, великої протяжності і площі ділянках. Конструктивно обичайки катків виконують гладкими, ребристими або з кулачками чи пневмоколісні.

Для незначного розпушування та ущільнення ґрунту на товщину 0,15 – 0,25 м застосовують **гладкі катки**. Переважно їх використовують після ущільнення іншими катками, щоб укатати, наприклад, щебінь, або ж ущільнити дорожнє покриття. Таку операцію виконують в один або два проходи. На них монтують скребки для видалення налиплого матеріалу. Під час укочування асфальту вальці необхідно змащувати.

**Кулачкові катки** як правило роблять причіпними. Спеціальні робочі елементи 2 у вигляді кулачків закріплюють до обичайки порожнистого барабана 1 (рис. 1, а). для забезпечення барабана необхідною вагою, його заповнюють баластом, як правило, піском. Вага таких барабанів коливається в межах 5 – 32 т. Для очищення поверхні між кулачками передбачені штирі. Кулачкові катки різняться формою кулачків, їх кількістю і висотою, а також розмірами барабанів. Переважно їх застосовують на ущільненні зв'язних і грудкуватих товщиною до 4 м. Їх недолік – це розпушування верхнього шару.

Під час виготовлення ребристих катків кільцеві бандажі встановлюють хвилеподібно, в шаховому порядку їх виступів.

Поверхні ґратчастих катків формуються з прутків квадратної форми. Подібно до кулачкових ґратчастих і ребристих катки застосовують для глибинного ущільнення, заглиблюючись у ґрунт своїми робочими елементами. нього ребрами чи прутками. Під час укочування невеликих ділянок можливе застосування зчіпок з катків з'єднаних траверсами.

**Котки з пневматичними колесами** (рис. 2.2) можуть бути самохідними, напівпричіпними і причіпними. Ущільнення ґрунту здійснюється пневматичними колесами під дією їх ваги і ваги баластів. Колеса їх мають незалежну підвіску (причіпні та напівпричіпні) і оснащені баластом, що дає можливість створювати рівномірне навантаження, а отже і ущільнення складної форми рельєфу ґрунту. Переважно їх застосовують на ущільненні зв'язних і грудкуватих ґрунтах товщиною до 0,45 м. Проектна щільність забезпечується 5 – 7 проходками зв'язних ґрунтів і 4 – 5-ма – незв'язних.

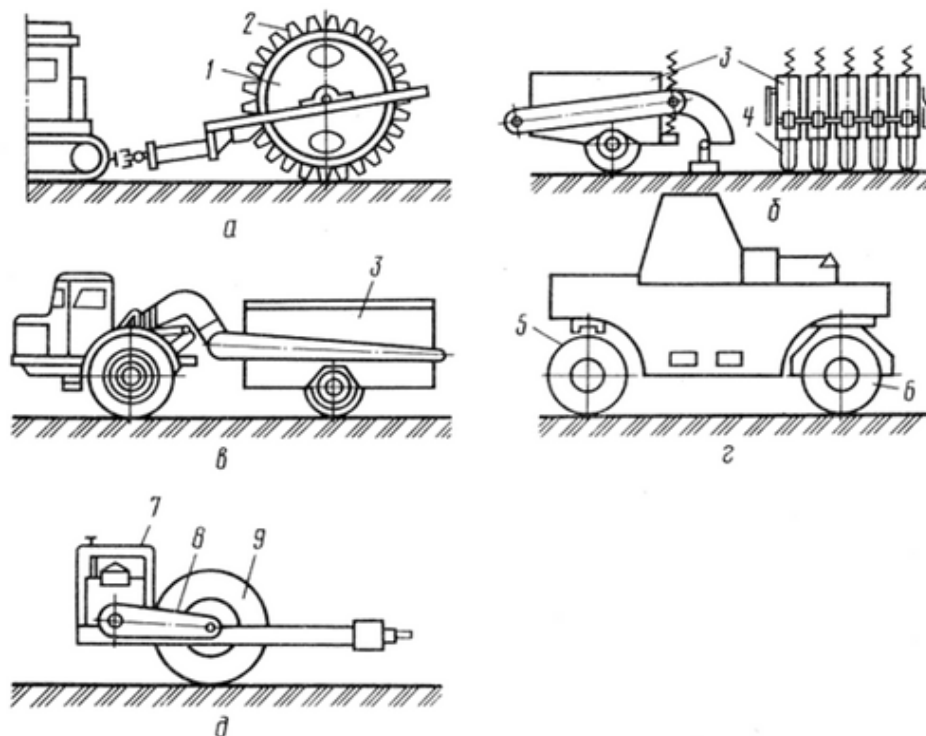


Рис. 2.2. Схеми ущільнювальних котків: *а* - причіпного кулачкового; *б* - причіпного пневмоколісного; *в* - напівпричіпного пневмоколісного; *г* - самохідного пневмоколісного; *д* - причіпного вібраційного;  
 1 - барабан; 2 - кулачки; 3 – баластні ящики; 4 - пневмоколеса; 5, 6 - відповідно передні керовані і задні ведучі пневмоколеса; 7 - двигун внутрішнього згоряння; 8 - клинопасова передача; 9 - валець з віброзбурювачем коливань.

Самохідні пневмокотки застосовують як правило для ущільнення дорожніх покриттів та їх основ. В порівнянні з гладкими, під час роботи вони не розтискають щебінь. У самохідних колісних котків (передні керовані, а задні ведучі), взаємне розташування коліс таке, що уможливорює отримати суцільну смугу ущільненого ґрунту.

Під час ущільнення глинистих та піщаних ґрунтів методом уочування не слід використовувати гладкі і кулачкові котки, оскільки при цьому глибина ущільнення незначна (0,2– 0,4 м.) Відчутне зростання продуктивності і краща прохідність досягається (рис. 2.3) одержується зчіпкою котків.

Будь який прохід характеризується усадкою  $h_n$  ґрунту та горизонтальною проекцією  $b_n$  опорної поверхні. Ці параметри зменшуються із зростанням кількості проходів.

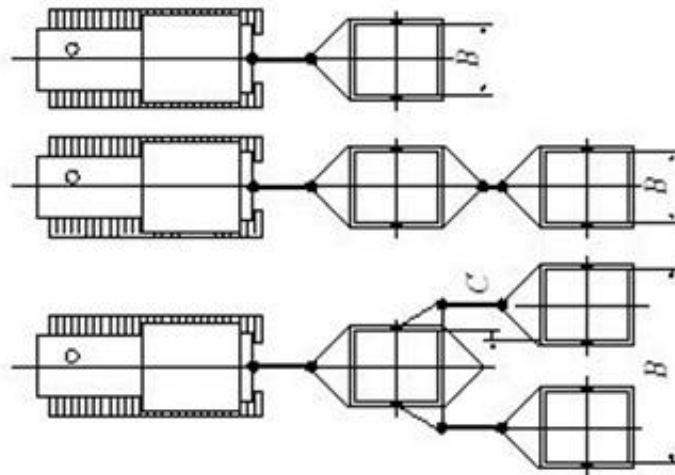


Рис. 2.3. Зчіпки котків: *a* – одиночна; *б* – подвійна; *в* – потрійна; *B* – ширина смуги ущільнення.

Робоча ширину ущільненої смуги визначити з формули

$$B = 3B - 2C;$$

де  $C = 0,1 \dots 0,2$  м – перекриття смуг.

Питомий тиск (середній) на ґрунт

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

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

$Q$  – сила ваги котка, Н;

$b_n$  – горизонтальна проекція опорної поверхні, см.

Оскільки середній тиск є змінною величиною, то відношення сила ваги до довжини котка використовується як характеристика котка

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

Розподіл тиску у площині дотичній контакту котка є нерівномірний. На рис. 2.4. наведено епюри тиску котків

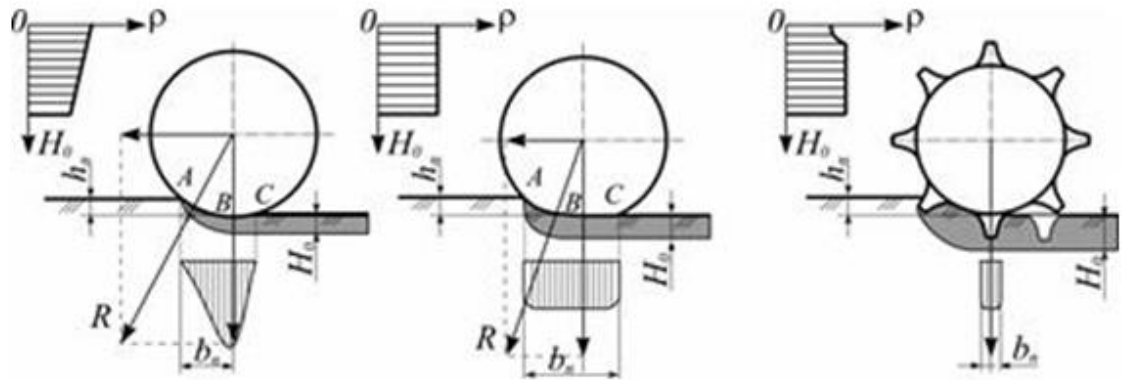


Рис. 2.4. Схеми взаємодії котка з ґрунтом: *a* – гладкий коток; *б* – пневмоколісний коток; *в* – кулачковий коток;  $H_0$  – товщина шару ущільнення;  $R$  – результуюче зусилля тиску на ґрунт

Товщина ущільненого шару залежить від вологості ґрунту, виду котків та їх параметрів. Товщина шару визначається з виразу:

– гладкі:

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

– пневмоколісні:

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

– кулачкові:

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

де  $\omega$  – вологість ущільнювального ґрунту, %;

$\omega_0$  – оптимальна вологість, %;

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

$R$  – радіус котка;

$p$  – тиск в шині,  $\text{Н/см}^2$ ;

$\xi$  – статичний коефіцієнт жорсткості шини;

$B$  – товщина кулачка;

$Q$  – сила ваги одного колеса пневмоколісного котка,  $\text{кН}$ ;

$L$  – довжина котка;

$A$  – експериментальний коефіцієнт (див. довід.);

$h_1$  – товщина шару після обробітку кулачковим котком.

Використовуючи гладкі котки ґрунт необхідно оброблювати шарами малої товщини. Щоб підвищити ефективність робочого процесу на гладкі котки закріплюють бандажі кулачками на них. Оскільки поверхня кулачків незначна в порівнянні до поверхні циліндра, тому зростає питомий тиск на ґрунт і збільшується глибина ущільнення. Найбільша глибина ущільнення співрозмірна подвійній висоті кулачка. В порівнянні з гладким величина шару у двічі більша. Гладкі котки використовують на фініші ущільнення насипу, наприклад, дорожнього полотна.

Пневмоколісні котки (причіпні і самохідні) можуть використовуватися для ущільненні всіх видів ґрунтів. Кількість проходів зробленими ними одним слідом приблизно становить 2...3 для піщаних, 4...5 для суглинистих та 2...3 для супіщаних ґрунтів. Котками вагою до 12 т та 2 – 10 проходах ущільнювальний шар становить 10 ... 25 см. Натомість, котками до 44 т за тим же числі проходів товщина шару становить 30 ... 55 см.

Для ущільнення глинистих ґрунтів та суглинків разом із гравієм і щебенем застосовують кулачкові котки. Для на незв'язних ґрунтів застосування Використання кулачкових котків для незв'язних ґрунтів є неефективним. Не варто використовувати їх для вже ущільнених ґрунтів. Машинами у двічі легшими за тих же умов, що і в попередньому варіанті можна одержати ті ж результати.

Розміри поперечного перерізу насипу повинні відповідати схемам руху котків. Відповідно до ширини, ущільнення з розворотом може здійснюватися як на насипі, так із з'їздом з нього. Для якісного будівництва насипу, споруду слід поділити на окремі карти (ділянки), на яких проводиться почергове ущільнення її. Товщина шару визначається технічною характеристикою і спроможністю котка.

Як правило, довжина ділянки, становить 100...300 м. Ущільнення споруди проводиться від країв до середини. Як раніше зазначалося, кожна наступна

смуга перекривається з попередньою на 0,1...0,2 м, а від краю насипу слід котка повинен бути не ближче 0,5 м.

### 2.3. Технологічні схеми ущільнення ґрунтів

Відомі дві основні схеми (рис. 2.5) машинного ущільнення: човникову і кільцеву. Під час ущільнення насипу спочатку від його краю на відстані 2 м роблять перші проходи, а наступні скеровуються до краю, перекриваючи слід на 0,20-0,25 м. Після цього роблять розворот і переходячи до першої смуги (тобто 2 м) здійснюють проходи до середини полотна. Після закінчення роботи зайвий ґрунт зсувають на сусідні. За цих умов, загальний обсяг роботи збільшується до 2 %, але загалом коефіцієнта ущільнення збільшується до 0,98... 1.

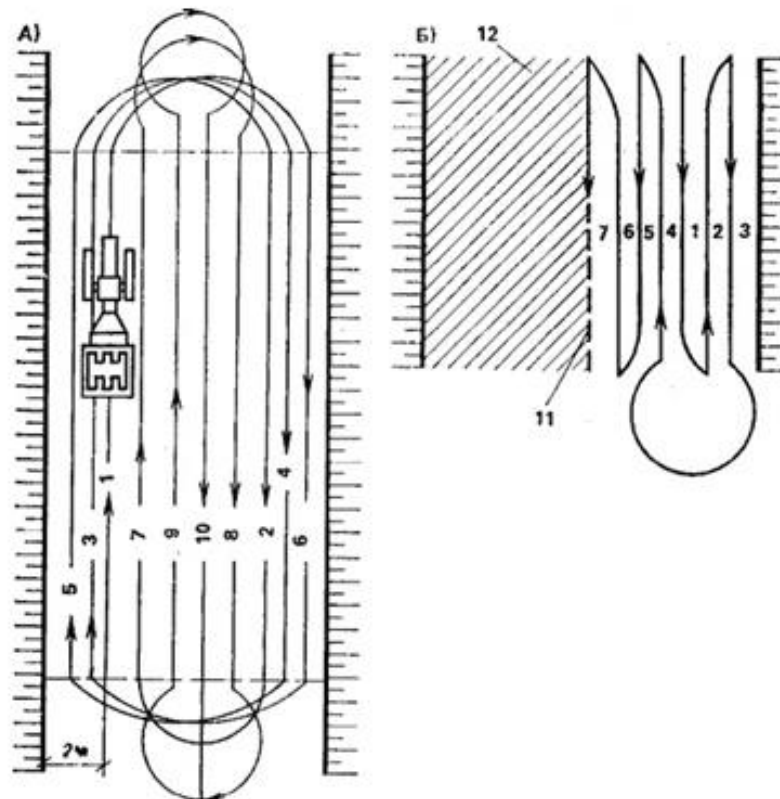


Рис. 2.5. Схеми можливих проходів котка під час ущільнення: *a* — кільцеве переміщення; *б* — човникове; 1 ... 10 — послідовність проходів; 11 — вісь вулиці; 12 — спланований ґрунт

Кільцева схема руху використовується за умови застосування довгих захватів, зменшення часу на повороти та використання причіпних котків. Як



правило, під час ущільнення самохідними котками застосовуються і кільцева та човникова схеми. У міських умовах застосовують човникову схему руху.

За будь якої схеми спочатку по м'якому ґрунті рухатися слід вперед веденими вальцями. На ділянках з ухилом ущільнення ґрунтів необхідно починати знизу і рухаються до гори. Спочатку використовують котки легкого типу завдяки яких відбувається краще укладання ґрунтових зерен.

Довжину захвату встановлюють за рекомендаціями відповідної продуктивності. Швидкості котків назначають в залежності від ступіня ущільнення. З підвищенням швидкості зменшується час контакту котка з ґрунтом і знижується щільність. Тому швидкість слід попередньо уточнювати з умовами роботи. Ефективність котків значно підвищується із збільшенням їхньої маси.

**Вібраційні котки.** У порівнянні із котками статичної дії ці пристрої до 10 разів ефективніші. Їх використовують для ущільнення малозв'язних та незв'язних ґрунтів. Вібрація сприяє зменшенню тертя, що є позитивним у робочому процесі ущільнення. Під час використання причіпних котків (рис. 2.2) всередині їх встановлюють віброзбурювач коливань, який приводиться в дію ДВЗ та клинопасової передачі.

Вібраційні самохідні котки (рис. 2.6) випускаються одно-, дво- і тривальцьовими, а віброприводи, які при цьому використовуються в їх роботі вмонтовані віброприводи бувають гідравлічними і механічними.

*Гладкий коток*



*Віброкоток*



*Кулачковий коток*



Рис. 2.6. Промислові взірці котків

У комбінованих самохідних котках ведучі вальці є з пневматичними шинами, а керовані – гладкий металевий валець. Ефективність їх забезпечується одночасною дією вібрації і статичним навантаженням. Зазвичай для збурювання коливань використовується гідропривод. Сила збурювання коливань становить 160–220 кН. Продуктивність таких котків сягає 1000 м<sup>3</sup>/ч.

#### 2.4. Трамбувальні машини

Цей тип машин використовують для ущільнення важких незв'язних і зв'язних ґрунтів затовшки 1...1,6 м. Таке трамбування проводиться важкою спеціальною технікою: навантажувачами, тракторами, підйомниками тощо. Їх масивний трамбувальний орган (рис. 2.7) у вигляді плит вагою 2–15 т., які вільно падають з висоти 2-6 метрів або вантажів з чавуну або бетону та опорною поверхнею біля 1 м<sup>2</sup> квадратної чи круглої форми.

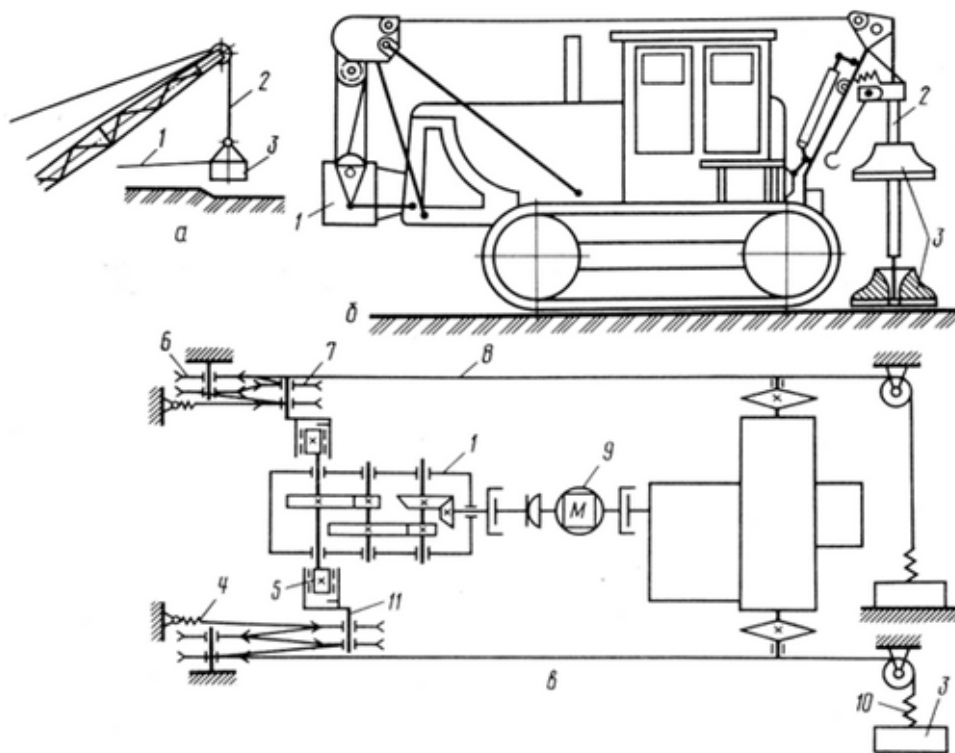


Рис. 2.7. Трамбувальні машини: *а* - на базі екскаватора-драглайна; 1 - канат для запобігання закручування вантажу; 2 - підйомний канат; 3 - вантаж; *б, в* - на базі трактора (*б* - зовнішній вигляд; *в* - кінематична схема); 1 - редуктор відбору потужності; 2- напрямляючі штанги; 3- ущільнюючі муфти;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

Запроектовану щільність можна досягнути 3...5 ударами в одне місце плитою. Ступінь ущільнення визначається обсягом роботи і визначається кількістю спроб та добутком ваги плити на висоту скидання.

Трамбування проводиться у циклічному або безперервному режимі. Циклічне ущільнення можна проаналізувати на прикладі екскаватора-драглайна (рис. 2.7). Вантаж кріпиться до каната екскаватора або стрілового крана. Завдяки лебідки плити піднімають лебідкою на висоту до 2 м і скидають на ґрунт. Кількість ударів коливається в межах 0,06...0,11 с<sup>-1</sup>, а енергія кожного удару дорівнює 10...15 кДж. Після закінчення роботи на одній смугі, машина займає нову позицію з кроком рівним ширині плити з перекриттям. Такі машини бажано застосовувати на об'єктах з обмеженими умовами.

При великих об'ємах роботи використовується трамбувальна техніка безперервної дії, роботу якої можна відслідкувати на прикладі гусеничних тракторів (див. рис. 2.7, б, в). Використовуючи сповільнювач руху, ґрунт почергово ущільнюють двома плитами. При цьому ковзаючи по штангах, їх підіймають та опускають на ґрунт. Швидкість машини назначається з врахуванням здійснення потрібної по одному місцю кількості ударів. Частота їх становить 0,5...0,6 с<sup>-1</sup>, а енергія одного удару 15...17 кДж. Для такого принципу роботи машин продуктивність визначити за формулою

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

де  $B$  - ширина смуги ущільнення, м;

$b$  - ширина перекриття ущільнювальних смуг м;

$h$  - товщина ущільнювального шару, м;

$m$  - кількість проходів;

$k_b$  - коефіцієнт використання техніки ( $k_b = 0,82 \dots 0,87$ ).

Для трамбувальної плити

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

де  $n$  – число ударів в 1 хв;

$a$  – розмір опорної плити, м;

$z$  —кількість ударів по одному місцю.

На рис. 2.8. показана схема динамічної дії машин.

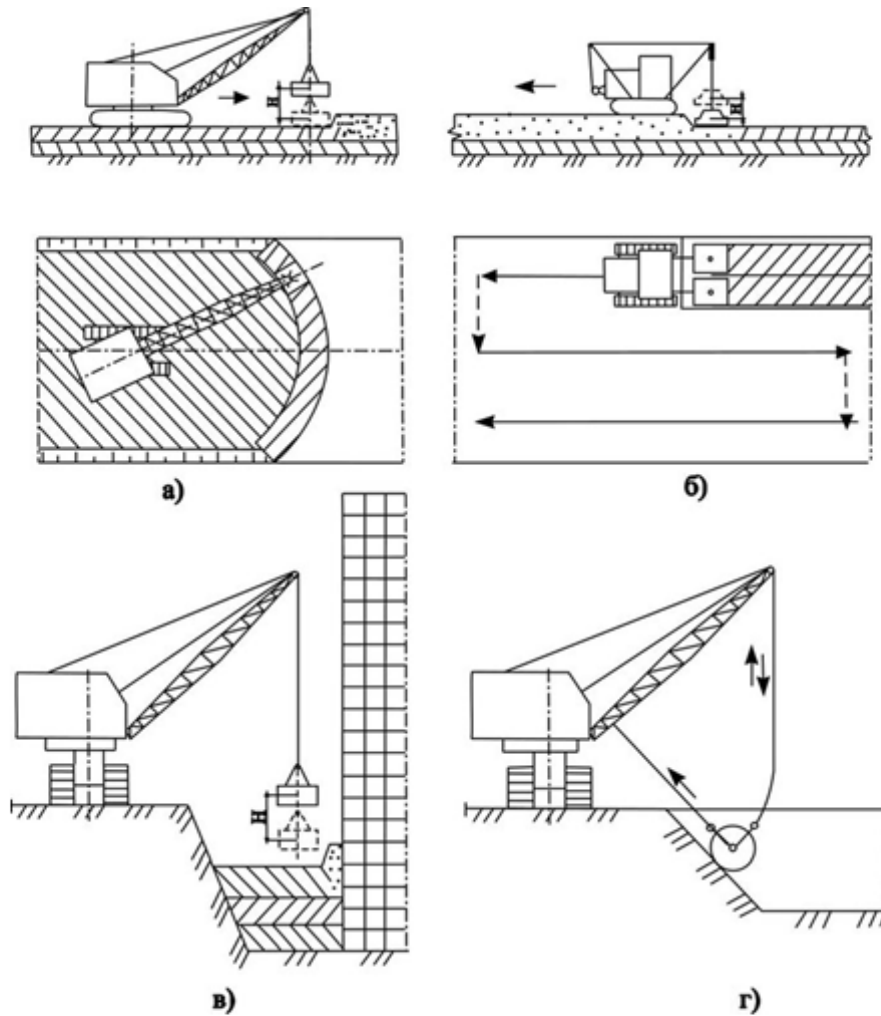


Рис. 2.8. Ущільнення ґрунту машинами динамічної дії: *а* – плитами на базі крана-екскаватора; *б* – ущільнюючою машиною на базі трактора; *в* – при засипанні котлованів; *г* – при закріпленні укосів

Слід пам'ятати, що важкий режим роботи машини може створювати великі динамічних навантажень, а це погіршує роботоздатність вузлів та машини в цілому.

### 2.5. Вібраційне ущільнення

Використання вібраційних засобів механічного впливу на ґрунт вважаються найефективнішим способом ущільнення. Під час вібрування створюються умови максимального контакту між елементами ґрунту та видаляються порожнечі. До такого типу обладнання робота якого базується на підставі використання явища вібрації відносяться віброплити. За приводом вони поділяються на дизельні, електричні і бензинові.

Пристрої з електричним приводом в основному знаходять своє застосування в роботі в закритих ділянках і приміщеннях де немає потреби примусової вентиляції і є доступ до електрики. Вони мають невеликі габарити і вагу, відносно легкі у керуванні і транспортуванні.

У промисловому будівництві на великих об'єктах переважно застосовують дизельні віброплити, але оптимальним типом конструкції віброплити є бензинові (рис. 2.9). Завдяки своїй компактності і маневреності вони стали універсальним засобом ущільнення на будь яких будівельних майданчиках. Бензинові віброплити придатні у використанні в обмежених важкодоступних об'єктах.

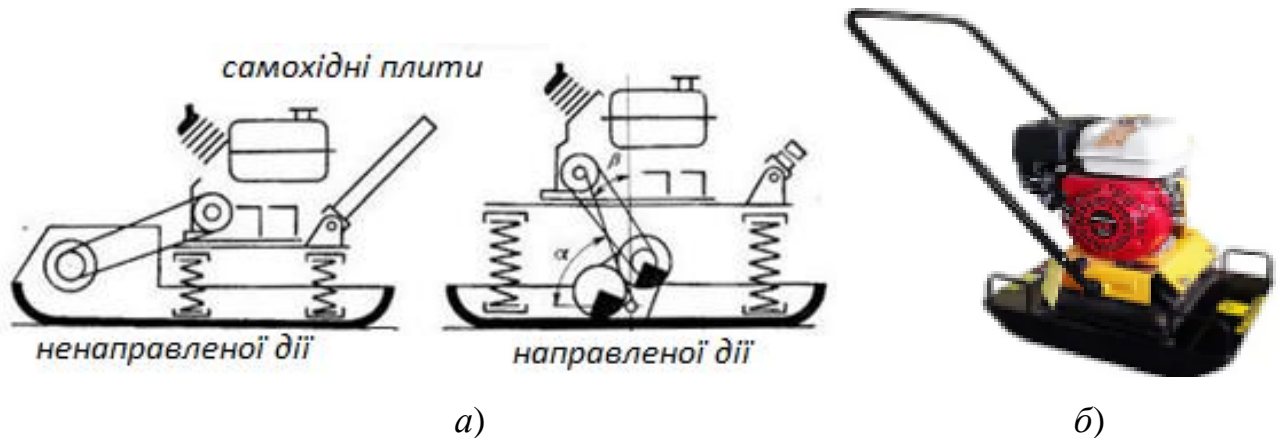


Рис. 2.9. Самохідні віброплити: а – схеми конструктивного виконання; б – промисловий взірець

**Вібропривод.** Для створення ефекту вібрації необхідно мати віброзбурювач коливань (вібропривод). Він складається з двигуна і пристрою генерує коливання плити. Конструктивно він може бути виконаний одновальним для руху лише в одному керунку, так і двовальні – який дозволяє здійснювати реверс. Самохідні плити використовуються для пошарового (товщиною 0,6 - 0,7 м,) ущільнення незв'язних ґрунтів з невеликим нахилом прямолінійних ділянок за вологості ґрунту 12 - 16 %.

Вібраційні плити добре зарекомендувалися на будівництві будинків, прокладання дорожніх покриттів вулиць, тротуарів, присадибних ділянок, вирівнювання асфальту і забезпечують однорідність утрамбованої поверхні. В залежності від типу і параметрів обладнання глибина ущільнення становить 200 – 900 мм.

## Розділ 3.

### ПРОЕКТУВАННЯ САМОХІДНОЇ ВІБРОПЛИТИ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ

Вібраційні пристрої є універсальними засобами ущільнення ґрунтів. Вони ефективні в роботі з різноманітними типами ґрунту, тротуарною плиткою, каменем тощо. За динамічною схемою роботи вони бувають: одномасні; двомасні і віброударні. Далі розглянемо роботу та основи проектування самохідної віброплити спрямованої дії.

#### 3.1. Особливість конструкції та принцип дії самохідної вібраційної плити

Самохідні ущільнюючі віброплити (рис. 3.1.) – це піддон змонтованим на ньому вібратора спрямованої дії. Основними складовими є корпус 1, в якому у підшипникових опорах встановлено два вала 4 з невідбалансованою масою 5.

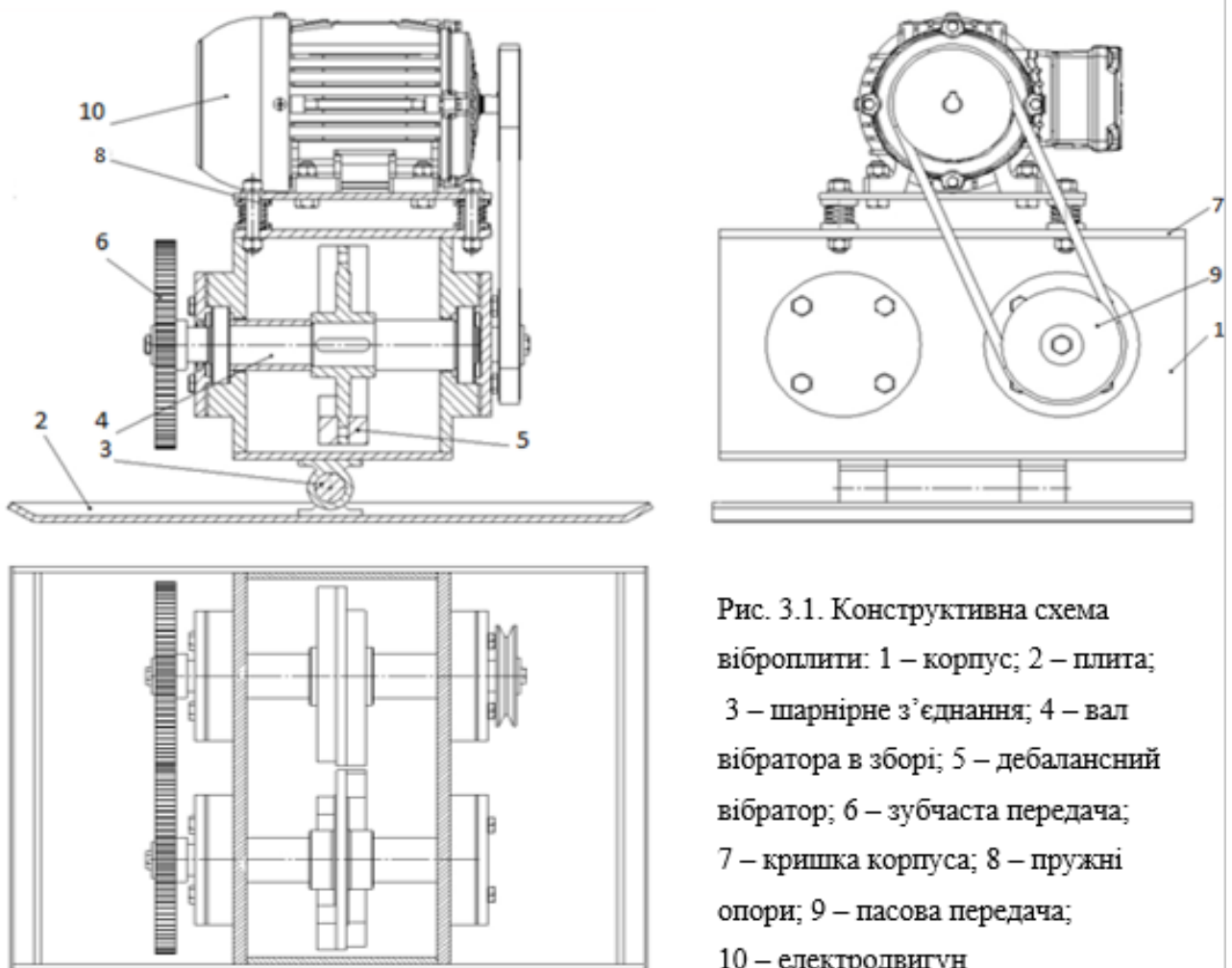


Рис. 3.1. Конструктивна схема віброплити: 1 – корпус; 2 – плита; 3 – шарнірне з'єднання; 4 – вал вібратора в зборі; 5 – дебалансний вібратор; 6 – зубчаста передача; 7 – кришка корпусу; 8 – пружні опори; 9 – пасова передача; 10 – електродвигун

Корпус пристрою завдяки шарніра 3 закріплений на плиті 2 (робочий орган). Зверху над вібратором на пружних опорах 8 знаходиться електродвигун 10. Для вибраної механічної схеми він не лише урочомлює пристрій, але й служить ваговим довісом (додаткова вага). Крутний момент передається від електродвигуна і пасову передачу на один із валів дебалансного віброприводу. Оскільки два вала сполучені між собою кінематично (завдяки зубчастій передачі) вони рухаються синхронно синфазно. Генероване при цьому динамічне навантаження разом із вагою всієї конструкції реалізує силову взаємодію з оброблювальною поверхнею.

Під час роботи під дією сил ваги і вертикальної складової збурювального зусилля здійснюється ущільнення ґрунту, а завдяки направленої горизонтальної складової – самостійне переміщення віброплити.

### **3.2. Основи проектування самохідної віброплит**

#### **3.2.1. Вібропривод**

Вібратор (вібропривод) є одним з Основним вузлом віброплити є вібратор (вібропривод). Він призначений для генерування коливань плиті. Вібратори бувають наступних типів: електромагнітні, інерційні, гідравлічні та пневматичні.

Вибір типу привода для віброплити залежить від умов експлуатації, її динамічними характеристиками. При цьому вирішальним є одержання запроектованих параметрів коливання. Він повинен відповідати таким вимогам:

- забезпечення потужності виконуваної операції;
- стабільність амплітудно-частотних параметрів;
- можливість регулювання амплітуди та частоти коливань;
- простота і компактність конструкції, використання стандартних виробів.

Інерційний привод уможливує одержати значне збурювальне зусилля, а тому необхідно забезпечити надійну конструкцію підшипникових опор його валів. Дебаланси бувають з постійним статичним моментом та змінним. Крім того, вони поділяються на регулюючі та нерегулюючі. Статичний момент  $m\mathbf{r}$  є основним параметром дебаланса. Він містить рухому і нерухому частини з однаковим статичним моментом. Сумарний статичний момент знаходиться як

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

де  $(mr)_{max}$  – максимальний статичний момент із суміщеними частинами;

$\varphi$  – кут повороту між частинами дебаланса.

### 3.2.2. Основні параметри вібраційних плит

Вібраційні плити характеризуються наступними параметрами: вага віброплити, розміри опорної плити, потужність двигуна, величина збурювальної сили, частота коливань, швидкість пересування.

Статичний момент дебалансів знаходиться з виразу

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

де  $M$  – маса коливальних частин;

$p_y$  – частота власних коливань;

$A_y$  – вертикальна складова амплітуди;

$\omega$  – частота вимушених коливань.

Величина збурювальної сили дорівнює

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

а вага нерівноваженої частини дебаланса

$$m = F b \gamma,$$

де  $F$  – площа перерізу;

$b$  – товщина нерівноваженої частини;

$\gamma$  – густина матеріалу.

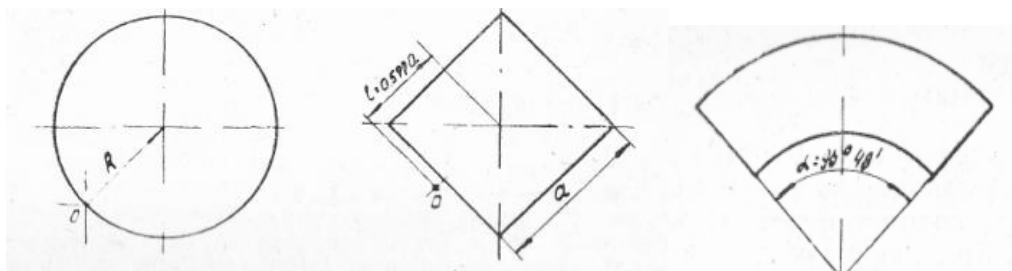


Рис. 3.2. Рекомендована форма дебалансів

**Параметри плити.** Параметри робочого органу визначають виходячи з експериментальних рекомендацій. Мінімальну ширину плити слід вибрати більше товщини ущільнення

$$B \geq h,$$



де  $B$  – ширина основи;

$h$  – товщина шару.

Розмір ширини плити визначаємо за формулою

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

де  $B$  – ширина плити м;

$V$  – швидкість переміщення м/мм;

$t$  – час повного ущільнення хв;

$n$  – число проходів.

Довжина плити приймається рівною 1...1,5 її ширини.

**Дебаланси.** Конструкція дебалансів складається з двох сегментів, які знаходяться ободі диску. Під час відносного зсуву цих сегментів можна регулювати незрівноважену масу, тобто амплітуду коливань.

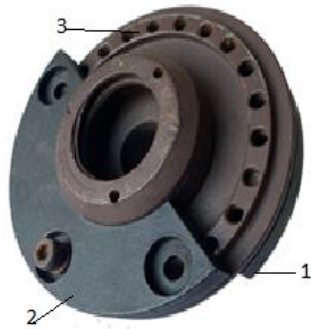


Рис. 3.3. Загальний вигляд дебаланса:  
1 і 2 – рухомі сегменти; 3 – диск із маточиною

З умови рівноваги моментів Маса дебалансів визначається маса дебалансів:

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

де  $m$  - маса дебалансів;

$r$  - амплітуда коливань;

$R$  - радіус центру ваги дебалансів;

$M$  – коливальна маса.

Для максимальної амплітуди ( $r = 4$  мм.) одержані такі параметри дебалансу: діаметр  $D = 180$  мм, ширина  $b = 45$  мм , радіус  $R = 44,56$  мм.

### 3.2.3. Режим роботи віброплити.

До режимів роботи самохідної віброплити відноситься визначення часу вібрування, ущільнення ґрунту, швидкість її пересування.

Час вібрування

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

де  $C$  – кількість ударних навантажень, які забезпечують необхідну щільність;

$n$  – частота коливань в хв..

При вологості вище на 12 – 18 % оптимальної, для незв'язних ґрунтів  $C = 1,5 \cdot 10^3 \dots 5 \cdot 10^3$ . Ущільнення ґрунтів визначається в залежності від маси пристрою. Із її зростанням густина шару збільшується. Вагу самохідної плити визначають за умови питомого статичного тиску

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

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

$Q$  – вага плити в  $\text{кГ}$ ;

$F$  – площа плити в  $\text{м}^2$ .

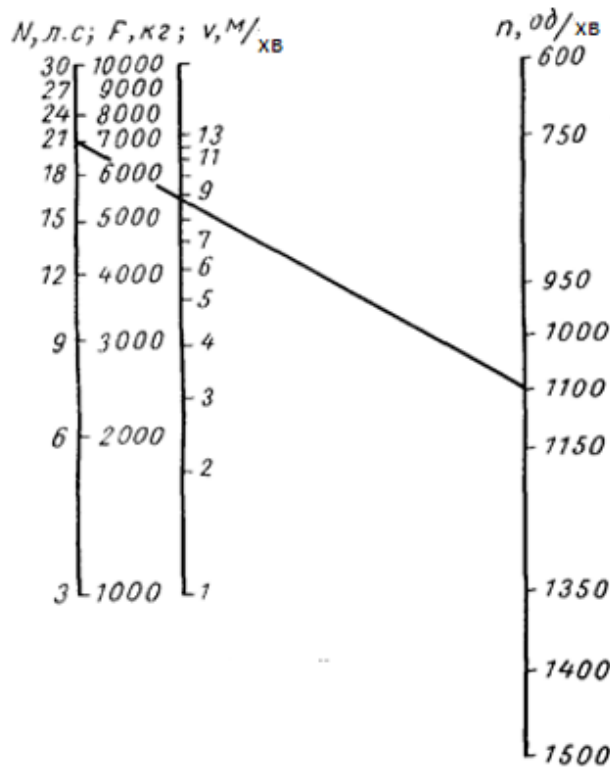


Рис. 3.4. Номограма визначення потужності двигуна і швидкості пересування віброплити:  $N$  – потужність двигуна;  $F$  – збурювальне зусилля;  $v$  – швидкість пересування;  $n$  – число обертів дебаланса.

Для одержання необхідної щільності на заданій глибині питомий тиск для вологого піску 400...950; супесчаних ґрунтів – 900...1250.

Частоту коливань приймають з наступних рекомендацій:

$p$ , $\text{кГ/м}^2$	450...1000	900...1800
$n$ , хв	1800...1200	1100...900

Середню швидкість пересування віброплити можна визначити з виразу

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

де  $v$  – кількість обертів дебаланса, здійснених під час одного удару плити;  
 $\alpha$  – нахил збурювальної сили.

При  $\alpha = 44 \dots 48^\circ$  швидкість пересування плити найвища.

Під час проектування швидкість пересування задається до 20 м/хв., при цьому кількість проходів для одержання заданої щільності мінімальна. При збільшенні вона різко зменшується. З номограми представленої на рис. 3.4 можна визначити швидкість пересування пристрою в залежності від величини частоти обертання дебаланса та збурювальної сили за оптимальної вологості ґрунту .

### 3.2.4. Потужність приводу.

Потужність двигуна віброплити включає:

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

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

$N_{\text{вд}}$  – потужність для підтримки коливань плити;

$N_{\text{тр}}$  – потужність на подолання тертя в опорах

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

де  $\sum W$  – загальний опір пересуванню пристрою;

$\eta$  – загальний к.к.д.;

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

$W_1$  – опір пересуванню плити;

$\mu_1$  – коефіцієнт опору;

$Q$  – вага плити.

Для сталевих і чавунних плит не враховуючи опір ґрунту  $\mu_1 = 0,6 \dots 0,7$ . В свою чергу коефіцієнт опору залежить від амплітуди і швидкості пересування. Він зростає із зростанням швидкості руху, а із збільшенням амплітуди коливань від 0,2 до 0,9 мм опір зменшується на 50%.

Під час виконання операції опір подолання підйому становить

$$W_2 = Q \alpha,$$

де  $\alpha$  – кут нахилу поверхні в рад.

Опір ґрунтової призми волочення переміщенню плити

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

де  $\mu_2$  – коефіцієнт тертя в середині матеріалу ( $\mu_2 = 0,6 \dots 0,7$ )

$\mu_3$  – коефіцієнт опору ґрунтової призми;

$Q_1$  – вага волоченої призми.

Довжина ґрунтової призми приймають рівною ширині плити, а висота –  $0,6 \dots 0,8$  її висоти. Кут природнього відкосу наближено становить  $45^\circ$ .

Опір силам інерції

$$W_4 = \frac{Q V}{q t},$$

де  $t$  – час розгону,  $s$ .

$V$  – швидкість переміщення,  $m/s$ ;

Всі інші види розрахунків проводяться за відомими методиками.

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

Як з'ясувалося, найбільшого навантаження у вібраційних пристроях з інерційним приводом зазнають опори валів на які діють сили інерції. А тому в такому обладнанні слід застосовувати вібростійкі роликові підшипники. Використовуючи такі опори з дотриманням режиму змащення, зменшує тертя між їх елементами, зростає термін довговічності та роботоздатності техніки.

#### ***Розрахунок підшипників.***

Навантаження на опори плити створюються в наслідок дії зі сторони дебалансів відцентрової сили інерції та інерційних під час переміщення пристрою. Перша складової має постійне значення і визначається як

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

де  $s$  – число підшипників.

Іншу складову сили знаходимо з виразу  $F' = (0,1 \div 0,3)F$ . Тоді еквівалентне навантаження на підшипник

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

приймавши  $k$  в межах  $1,1 \div 1,3$ , а  $v = 1,2$ ,

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

**Вибір підшипників.** Для опор середнього і важкого типу вібротриб застосовують двошрядні радіальні сферичні роликотідшипники. Ці підшипники крім радіального навантаження, малочутливі до перекосів під час збірки та сприймають випадкові осьові сили. При виборі їх надають перевагу підшипників з масивними сепараторами, а не тим, що виготовлені штампуванням або з чавуну чи тих, які центруються тілами кочення.

Для легкого типу вібротриб встановлюють радіальні підшипники з короткими роликами. Їх використання сприяє рівномірному навантаженню ролик, знижує імовірність його руйнування при вібрації, менш чутливі до перекосів.

Довговічність підшипника з умови експлуатації пристрою протягом 2-х років у 2-і зміни

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

де  $N_{pd}$  – кількість робочих днів.

Динамічна вантажотідіймальність

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

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

$n$ - число обертів.

З каталогу з умови  $C \geq C_H$  підбираємо підшипники за динамічною вантажотідіймальністю. Далі перевіряємо його на абразивну довговічність, яка визначається величиною допустимого внутрішнього зазору підшипника.

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

Цей зазор (мкм) знаходимо як

$$\Delta = f \cdot e,$$

де  $e$  - параметр, що залежить від діаметра підшипника;  $f$  – параметр зношення;

Для даного варіанту  $\Delta = 5 \cdot 5 = 25$  мкм.

Уточнене значення довговічності підшипника

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

де  $C$  - динамічна вантажність, н

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

$a_1$  – коефіцієнт надійності;

$a_{23}$  – коефіцієнт якості підшипника.

Приймаємо  $a_1 = 0,95$  та  $a_{23} = 0,6$  і отримаємо

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

Тобто, головним чинником впливу на довговічність підшипника є абразивне зношення. У даного підшипника абразивна довговічність знаходиться в межах (5÷10) тис. годин при зношуванні 25 мкм.

**Змащення підшипників.** Для змащення, переважно, переважно використовують пластичне мастило Літол-2. Мастило подається безпосередньо в порожнину вузла. Сам підшипник заповнюється ним на 100%, а порожнини на 30%. Мастилом заповнюється підшипник на 100%, а порожнини вузла на 30%. наноситься на всі внутрішні поверхні вузла.

Періодичність проведення змащення визначається за формулою

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

де  $k$  – коефіцієнт, що вказує на тип підшипника (для роликів –  $k = 1$ ).

При роботі у складних умовах, періодичність змащення уточнюється як

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

де  $q$  – коефіцієнт коригування, він залежить від температури та умов роботи.

Для  $t = 80^{\circ}$  -  $q = 1$  ця періодичність складає

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

За умови двозмінної роботи вона визначається кількістю днів

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

### 3.3. Основні параметри робочого процесу ущільнення ґрунту

**Коефіцієнт ущільнення ґрунту** — визначається відношенням щільності сухого ґрунту на ділянці до щільності його в лабораторних умовах. Для визначення цього коефіцієнта необхідні дані щільності сухого та вологого ґрунту, також вологість дослідного ґрунту.

**Щільність (вологого) ґрунту**

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

де  $m$  — маса відібраного зразка ґрунту;

$V$  — об'єм зразку ґрунту;

**Вологість ґрунту** визначаємо з виразу:

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

де  $m_0$  — маса висушеного ґрунту, г;

$m$  — маса порожньої місткості, г;

$m_1$  — маса вологого ґрунту із місткістю, г.

**Щільність скелету ґрунту :**

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

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

$W$  — вологість ущільненого зразка, %;

**Коефіцієнт ущільнення ґрунту  $k_y$ :**

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

де  $\rho_{max}$  — лабораторне значення максимальна щільність ґрунту;

$\rho_{di}$  — щільність скелету ґрунту.

## 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 невірноважені сили та ударні процеси. Її джерелами є зворотнопоступальні рухи елементів машин, невірноважені 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:

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

де  $V$ ,  $V_0$  – відповідно середньоквадратичне та опорне значення віброшвидкості;

$a$ ,  $a_0$  – середньоквадратичне та опорне значення вібропришвидження.

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: транспортна вібрація, транспортно-технологічна вібрація, технологічна вібрація.

Вібрацію 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 до болю, деформації 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. Шкідливий вплив 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 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.

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 вібропришвидшення 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, 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.

#### **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. 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  $C$ . 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 вібрує, за допомогою пружного елемента. Пружні елементи (амортизатори, віброізолятори) бувають гумові, гідравлічні, пневматичні та комбіновані. Використовуються також пневматичні та гідравлічні віброізолятори.

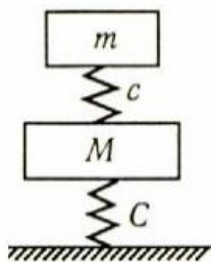


Рис. 4.2. Схема дії динамічного віброгасника

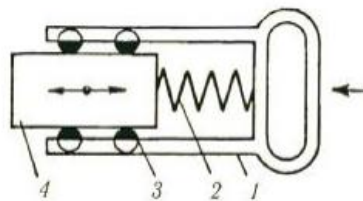


Рис. 4.3. Схема віброізолюваного держака: 1 – держак; 2 – пружний елемент; 3 – підшипник; 4 – корпус

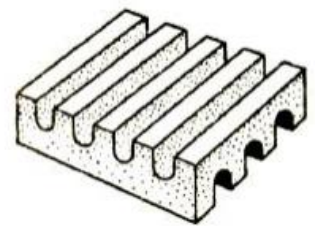


Рис. 4.4. Вигляд гумового амортизатора

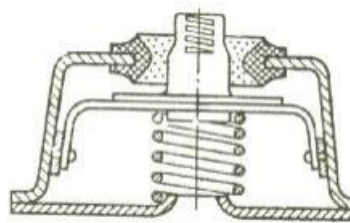


Рис. 4.5. Вигляд та схема пружинно-гумового амортизатора

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 плити 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.

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

Згідно ГОСТу 2.2.01-95 "Машини будівельні і дорожні" повинні відповідати 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.

**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.

#### **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 загоряння.

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.

Будь яка пожежа починається з загоряння, 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. Потерпілим з опіками потрібно надати першу медичну допомогу.

#### **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>:

$$\Pi_1 = M \cdot C_e / W_2 = 2,12 \cdot 25,4 / = 51,73 \quad (5.11)$$

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:

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

- 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

Під час проектування самохідної вібраційної плити для ущільнення ґрунту можна зробити наступні висновки.

1. Із зростанням потужності електродвигуна зменшується часу розгону і збільшуються динамічні зусилля.

2. Використання інерційного віброприводу віброплити збільшує витрати потужності електродвигуна (до 3%). Вони залежать від конструктивних та масово інерційних параметрів віброзбудника.

3. Швидкість пересування самохідної залежить від нахилу віброприводу до горизонту. Її максимальне значення можна отримати під кутом  $45 - 50^\circ$ , а оптимальне під час виконання операції –  $30...35^\circ$ .

4. Кількість проходів плити по одному сліду становить 4...5 разів, збільшення їх не приводить до відчутних результатів.

## 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. – Львів : Кальварія, 2007. – 444 с
6. Законодавство України про охорону праці. Київ: Основа, 1995. 114 с.
7. Коруняк П.С. Вібраційні машини у технологічних процесах: навч. посібник /П.С. Коруняк, І.С. Керницький. – Львів : Сполом, 2019. – 346 с.
8. 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., Волянчук В.О. - К.: Українська академія наук; «МП Леся», 2015.-612 с.
9. Машини для земляних робіт : навч. посібник / Л. А. Хмара, С. В. Кравець, В. В. Нічке. – Рівне, Дніпропетровськ, Харків, 2010. – 557 с.
10. Машини і обладнання для будівництва, утримання і ремонту доріг : навч. посібник / А. В. Фомін, О. О. Костенюк. – К. : КНУБА, 2005. – 126 с.
11. Машини для земляних робіт : підручник / В. Л. Баладінський, О. М. Гаркавенко, С. В. Кравець, І. В. Русан. – Рівне : РДТУ, 2000. – 288 с.
12. Онищенко О.Г. Будівельна техніка: підручник / О.Г. Онищенко, С.Л. Литвиненко, Б.О. Коробко. - К.: Кондор-Видавництво, 2017. - 416 с.
13. Палій В.П. Будівельна техніка: навчальний посібник / В.П. Палій, І.М.Малик. - К.: Аграрна освіта, 2009. - 254 с. – с. 147-149.
14. Полянський С. К. Будівельнодорожні та вантажопіднімальні машини / Полянський С. К. – К. : Техніка, 2001. – 624 с.