

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет залізничного транспорту

Угненко Є. Б., Тимченко О. М., Ужвієва О. М., Орел Є. Ф.,  
Сорочук Н. І.

**ГЕОДЕЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ  
ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ НА ДІЛЯНКАХ ШЛЯХІВ  
СПОЛУЧЕННЯ У ГІРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ**

*Навчальний посібник*



Київ, 2019

УДК 528.004.13

У259

*Затверджено вченою радою  
Українського державного університету залізничного транспорту  
(Протокол № 8 від 30 жовтня 2018 р.)*

**Рецензенти:**

**Блятинський А.О.** д.т.н., професор, завідувач кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів, Національний авіаційний університет, м. Київ;

**Гук В.І.** д.т.н., професор кафедри містобудування та урбаністики, Харківський національний університет будівництва та архітектури.

**У259 Угненко Є. Б., Тимченко О. М., Ужвієва О. М., Орел Є. Ф., Сорочук Н. І.** Геодезичні дослідження при визначенні зсувних процесів на ділянках шляхів сполучення у гірській місцевості: навч. посібник / Угненко Є. Б., Тимченко О. М., Ужвієва О. М., Орел Є. Ф., Сорочук Н. І. – Київ: Видавничий дім «Кондор», 2019. – 184 с. Рис. 33 Табл. 8 Бібліогр. найм. 80.

**ISBN 978-617-7729-32-6**

Посібник складається з шести частин. Перша частина містить в собі основні поняття про природу небезпечних геологічних процесів на ділянках шляхів сполучення в гірській місцевості. Крім того, розглянуто особливості інженерного захисту від зсувів у межах Карпатського регіону та визначення зсувних деформацій на ділянках шляхів сполучення у гірській місцевості.

Друга частина присвячена особливостям досліджень і проектування шляхів сполучення у гірській місцевості.

Третя частина надає опис геодезичних вишукувань при визначенні зсувних процесів на ділянках шляхів сполучення в гірській місцевості.

Четверта частина містить основні принципи призначення протизсувних заходів.

П'ята частина складається з інженерно-технічних методів захисту від стихійних лих шляхів сполучення у гірській місцевості. Крім того, наведено систематизацію та аналіз інженерно-технічних заходів захисту від зсувів.

Шоста частина розкриває суть удосконалення технології та організації експлуатації гірських шляхів сполучення України.

Призначено для студентів спеціальностей «Геодезія та землеустрій», «Залізничні споруди на транспорті» та «Будівництво та цивільна інженерія».

Укладачі: Угненко Є. Б., Тимченко О. М., Ужвієва О. М., Орел Є. Ф., Сорочук Н. І.

Кафедра вишукувань та проектування шляхів сполучення, геодезії та землеустрою.

ISBN 978-617-7729-32-6

УДК 528.004.13

© Колектив авторів, 2019

© Видавничий дім «Кондор», 2019

# ЗМІСТ

<b>ПЕРЕДМОВА.....</b>	<b>5</b>
<b>1. ВСТАНОВЛЕННЯ ОСНОВНИХ ПОНЯТЬ ПРО ПРИРОДУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ДІЛЯНКАХ ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ В ГІРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ.....</b>	<b>7</b>
1.1. Особливості інженерного захисту від зсувів у межах Карпатського регіону.....	7
1.2. Класифікація зсувних зміщень та заходів захисту від зсувів.....	17
1.3. Визначення зсувних деформацій на ділянках шляхів сполучення у гірській місцевості.....	25
<b>2. ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПРОЕКТУВАННЯ ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ У ГІРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ.....</b>	<b>33</b>
<b>3. ГЕОДЕЗИЧНІ ВИШУКУВАННЯ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ НА ДІЛЯНКАХ ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ В ГІРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ.....</b>	<b>35</b>
3.1. Характеристика зсувних процесів.....	35
3.2. Класифікація геодезичних методів спостереження за зміщеням зсувів.....	39
3.3. Аналіз методів спостереження за рухом зсувних процесів.....	41
3.4. Польові роботи з визначення горизонтальних зміщень зсувних точок.....	55
3.5. Тривалість спостереження за зсувними процесами.....	67
<b>4. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОТИЗСУВНИХ ЗАХОДІВ.....</b>	<b>73</b>
<b>5. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ ВІД СТИХІЙНИХ ЛИХ ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ У ГІРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ.....</b>	<b>79</b>
5.1. Систематизація та аналіз інженерно-технічних заходів захисту від зсувів.....	79
5.2. Затримуючі протиобвальні споруди та протиобвальні заходи.....	98
5.3. Уловлюючі протиобвальні споруди та галереї.....	98
5.4. Регулювання поверхневого стоку вод.....	99
5.5. Захист гірських шляхів сполучення від селевих виносів.....	99
5.6. Проектування габійонних конструкцій.....	101
5.7. Конструювання габійонних підпірних конструкцій.....	103
5.8. Захист шляхів сполучення від лавин та снігових заметів.....	105

<b>6. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГІРСЬКИХ ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ УКРАЇНИ.....</b>	<b>107</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>138</b>
1. Розрахунок стійкості укосів земляного полотна на міцність з урахуванням напруженого стану.....	138
2. Розрахунок анкерних утримуючих протизсеувних споруд.....	142
3. Проектування дренажних споруд на зсувонебезпечних ділянках шляхів сполучення.....	148
4. Основні вимоги до габіонів.....	160
5. Схеми застосування габіонних конструкцій.....	169
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>173</b>

## ПЕРЕДМОВА

Навчальний посібник складений відповідно до діючих навчальних програм з дисциплін «Геодезичні розбивочні роботи», «Інженерна геологія, геоморфологія і гідрологія», «Землевпорядні вишукування і проектування» (спеціальність «Геодезія та землеустрій»), «Розвиток та відновлення залізничної інфраструктури» і «Геоінформаційні технології на транспорті» (спеціальність «Залізничні споруди на транспорті»), «Геодезичне забезпечення галузі» (спеціальність «Будівництво та цивільна інженерія» і «Залізничні споруди на транспорті»).

Стійкість і надійність земляного полотна в гірській місцевості істотно залежить від стійкості форм рельєфу і напластувань гірських порід. Внаслідок зсувів, осипів, обвалів, селевих потоків, підвищення рівня ґрунтових вод (підтоплення) тощо рельєф гірської місцевості зазнає безперервних змін. Це значно ускладнює вирішення питань забезпечення стійкості земляного полотна.

Рельєфу гірської місцевості притаманні значна різниця відміток на коротких відстанях, круті схили, глибокі звивисті долини річок і водотоків. Геологічні явища, зокрема процеси ерозії, відбуваються з підвищеною інтенсивністю.

У гірських районах існує інтенсивна діяльність численних, хоча порівняно малих водотоків, яким притаманна велика руйнівна сила. Режим гірських річок є дуже мінливим.

Для режиму річок Карпат характерні такі особливості:

- висотна зональність (зміна гідрологічних елементів за висотою місцевості) більше виражена на південно-західному схилі;
- зміна у часі гідрологічних характеристик (добре виражений повеневий режим із різкими коливаннями стоку і наносів);
- значна водоносність.

Річки Криму належать до річок повеневого режиму (переважають зимово-весняні повені).

Для гірської місцевості характерною є складна геологічна будова, що зазнає змін на коротких відстанях. Складні природні умови проектування гірських шляхів сполучення та висока вартість виконання будівельних робіт на гірських схилах потребують ретельних геологічних, гідрогеологічних розвідувальних і техніко-економічного обґрунтування варіантів.

Проектування інженерного захисту шляхів сполучення у гірській місцевості повинно проводитись на основі:

- результатів комплексних інженерних вишукувань в районах прояву зсувів та обвалів;

- даних, що характеризують особливості використання територій та об'єктів як діючих, так і тих, що проектуються, з прогнозуванням зміни цих особливостей та з урахуванням установленого режиму природокористування;

- урахування ступеню і масштабу негативного впливу стихійних лих на шляхах сполучення у гірській місцевості.

У навчальному посібнику пропонується комплекс заходів з метою стабілізації процесу та виключення деформацій і руйнування шляхів сполучення у гірській місцевості, інженерних споруд та комунікацій.

# **1. ВСТАНОВЛЕННЯ ОСНОВНИХ ПОНЯТЬ ПРО ПРИРОДУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ДІЛЯНКАХ ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ В ГІРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ**

## **1.1. Особливості інженерного захисту від зсувів у межах Карпатського регіону**

З огляду на значне поширення зсувів у межах Карпатського регіону, актуальною є проблема інженерного захисту зсувонебезпечних територій. Стратегія народногосподарського освоєння зсувонебезпечних територій полягає у виборі таких підходів взаємодії зі схилом, які дозволять запобігти виникненню техногенно зумовлених зсувів. На ділянках, де такі зсуви можуть впливати на техногенний об'єкт, необхідно передбачити раціональний комплекс захисних заходів.

До потенційно зсувонебезпечних у Карпатському регіоні відносяться дуже значний відсоток передгірських та гірських територій, у межах яких і відбувається різноманітне техногенне освоєння. До таких ділянок належать значні площі в межах окраїни Східноєвропейської платформи, Передкарпатського прогину, Карпатської гірськоскладчастої області та Закарпатського внутрішнього прогину [1]. У межах цих процесонебезпечних територій проходить постійна трансформація ландшафту в зв'язку з техногенезом. Трансформація лісових екосистем у пасовищно землеробські та селитебні екосистеми є суттєвим фактором техногенно-зумовленої активізації зсувного процесу. Основні зсувонебезпечні території, сформовані шляхом техногенної трансформації – це території південно-східного Передкарпаття та середнього Придністров'я з розвитком різних за механізмом і динамікою зсувів (структурні, структурно-пластичні, пластичні). Значні за площею зсувні ділянки техногенної активізації відмічені в межах Карпатської гірськоскладчастої області, особливо в зонах розвитку древніх зсувів, активізація яких може відбуватися за рахунок техногенного порушення схилу. Наявність таких зсувних ділянок, існуючих у межах різних структурно-тектонічних зон Карпатського регіону, зумовила катастрофічну активізацію зсувів у межах сіл Зелена та Красник (Верховинський район), с. Ямна (Надвірнянський район), с. Сопот (Сколівський район) [1].

Аналогічна картина простежується в межах Закарпатського внутрішнього прогину. На глибоко розчленованих водостоками відкладах глинистої моласи восени – взимку 1998 та весною 1999 років пройшла природна та техногенно-зумовлена активізація зсувів [1].

В морфоструктурі Українських Карпат знайшли відображення поздовжні і поперечні розломи, частина яких може бути віднесена до категорії глибинних. Система поздовжніх і поперечних розломів створює брилово-хвильову, східчасту структуру фундаменту цього регіону. Поперечні порушення не лише викликають фаціальні зміни у відкладах альпійського ярусу, а й знаходять відображення у зміні висот «вершинного» рельєфу вздовж морфоструктурних зон.

Українські Карпати – сейсмічний район, де землетруси досягають 6-7 балів. Найбільш часті землетруси мають місце на Закарпатті. Вони зв'язані із зоною закарпатського глибинного розлому і характерні для районів Вулканічного хребта, Солотвинської та Чоп-Мукачівської западини. Слід відзначити також приуроченість найбільшої сейсмічності до зон поперечних розломів, які перетинають Вулканічний хребет (в межах якого знаходиться й Закарпатський глибинний розлом), Чоп-Мукачівську і Солотвинську западини, а також Полонинський хребет. З останнім, як відомо, зв'язані і напрямки великих поперечних долин. Так, помірні і досить сильні землетруси відзначалися в долинах Моториці (Свалява), Терєблі, а також в с. Драгове поблизу зони регіонального розлому, що проходить на межиріччі Терєблі-Ріки [1].

Сучасні морфоскульптурні особливості Українських Карпат – наслідок ерозійних, денудаційних, гравітаційних і частково нівальних процесів, що взаємодіють з найновішими рухами, а також відображають структурно-літологічні закономірності гір. У зв'язку з цим спостерігається вертикальна і горизонтальна зональність морфоскульптурних елементів.

У межах різних тектонічних морфоструктурних зон Українських Карпат висотна зональність морфоскульптури і сучасних шкідливих геоморфологічних явищ змінюється.

Найголовнішими сучасними екзогенними процесами, які формують морфоскульптури, є [1]: ерозійно-аккумулятивна діяльність рік, площинний змив, ярова ерозія, селеві, зсувні, обвальні-осипні й частково карстові явища.



Посилення сучасних екзогенних процесів, особливо зсувних, ерозійних, обвальних-осипних і селевих, викликане знищенням лісів, неправильним розорюванням схилів, випасом на них худоби та іншими наслідками діяльності людини. Спостерігається періодична активізація і взаємообумовленість комплексу стихійних процесів у роки надмірного зволоження (1911, 1927, 1941, 1955, 1969, 1985, 1992, 1998, 2001) [2].

Ерозійно-аккумулятивна діяльність рік визначається особливостями клімату, геологічної будови, рельєфу, найновіших тектонічних рухів і рослинного покриву. Структурно-літологічна зональність Українських Карпат впливає на поздовжній профіль річкових долин і диференціацію ерозійно-аккумулятивних процесів. Вздовж долин Черемошу, Пруту, Бистриці Надвірнянської і Бистриці Солотвинської, Ломниці, Опору, Стрия, Дністра порожисті ділянки і бистрини, а також звуження долин спостерігаються в зонах пісковиків ямненської світи. У зонах поширення глинистих сланців менілітової та кросненської світ виникли улоговини – Делятинська, Виготська, Синьовидненська, Сколівська, в межах яких посилюється акумуляція галечників.

Більш спокійна течія верхів'їв рік у межах Центральної синклінальної зони, складеної товщами кросненської світи. Тут ріки мають переважно поздовжній і діагональний напрям.

Іншого характеру набувають ріки Закарпаття; Тиса, Тересва, Тереля, Ріка, Боржава, Латориця, Уж при перетині Внутрішньої антиклінальної зони (Рахівського масиву, Свидовецько-Чорногорської групи, Полонинського хребта) [2]. Поперечні долини тут часто стають вузькими, падіння русел і швидкість течії зростає, дно долини завалене брилами пісковиків.

Практичне значення має дослідження бічної ерозії берегів рік, що завдає шкоди шляхам сполучення, які прокладені в долинах рік Бистриця Солотвинська, Бистриця Надвірнянська, Пруту, Черемошу, Стрия, Опору та ін. Розмиваючи нижні тераси, вона посилює зсувно-обвальні процеси на схилах гір.

Інтенсивний бічний розмив нижніх терас спостерігається в останні роки (1992, 1998 і 2001) на Закарпаття в долинах рік Чорної і Білої Тиси, Шопурки, Кісви, Тересви, Латориці та інших. Конуси виносу бічних річок змінюють напрям русел головних рік і викликають

перерозподіл бічної ерозії в просторі (р. Чорна Тиса перед с. Кваси і в с. Білин) [3].

Процеси площинного змиву досить поширені і особливо активізувалися в місцях вирубок лісу, розораних схилів, а в Полонинській зоні – в місцях інтенсивного випасу худоби. В Горганах площинний змив активно проявляється в басейнах Пруту, Бистриці Надвірнянської, у верхів'ях Тересви та в інших місцях. Під час весняного сніготанення, зливових та затяжних літніх і осінніх дощів інтенсивний площинний змив посилює селеві явища.

На відміну від Горган, в межах Свидовецької гірської групи схили площинного змиву розміщені вище від обвального-осипних. Так, у басейнах Косівки, Шопурки та інших рік цього району вони у верхній частині змінюються схилами площинного стоку, щільно задернованими трав'янистим покривом. Змивні схили приурочені до піщано-глинистих відкладів крейдового і палеогенового флішу, мають крутизну від 30° до 40°, вкриті малопотужними щербенистими ґрунтами, місцями повністю змитими. На таких схилах поширені щербенисті осипи та ерозійні вибоїни, по яких уламковий матеріал зноситься вниз. Це посилює небезпеку виникнення селевих потоків, часто й великої сили, на гірських притоках закарпатських річок (верхів'я Тересви в районі с. Усть-Чорна, Клемна в с. Білин, Тростянець біля с. Кваси та інші).

Ярова ерозія приурочена до зон м'яких еоценових та олігоценних порід флішу і терасово-алювіальних відкладів [4]. У горах їй часто сприяють улоговини, створені наземним трелюванням деревини в місцях вирубки лісу. Розвиток ерозійних вибоїн і гірських ярів у Приполонинській зоні викликаний знищенням кущів із метою розширення пасовищ (Свидовець). Нерідко ярова ерозія зв'язана із зсувними явищами і посилює селеві прояви.

В Закарпатті ерозійні процеси поширені в передгір'ях Вулканічного хребта [1]. Одним із найбільших ерозійних районів є Іршавська улоговина, де густа сітка ярів виникла в давньоалювіальних відкладах і на корі вивітрювання внаслідок вирубування лісів і неправильного розорювання схилів. У Передкарпатті ярова ерозія особливо розвинена в межах Дрогобицької височини, де їй сприяють тектонічна тріщинуватість міоценових порід, численні джерела, пухкі суглинисті алювіальні відклади, надмірні опади та сучасні підняття. Інтенсивне ярово-зсувне розчленування спостерігається також вздовж північно-

західного схилу Південно-Покутської височини (на відрізьку Коломия-Ланчин), а також на схилах Делятинсько-Надвірянської височини.

Селеві явища посилюються в Українських Карпатах в останні десятиріччя. Вивчення їх почалося в шістдесяті роки двадцятого століття. Так, комплексною географічною експедицією Львівського Національного університету у 1965 році лише в межах Горган-Свидовецького регіону було виявлено понад 100 селенебезпечних потоків. Вони характерні для басейнів Косівки, Шопурки, Тересви, Пруту, Бистриці Надвірянської, верхів'їв Чорної Тиси. Селепрояви були вже тоді відмічені і в інших районах Українських Карпат, зокрема в басейнах Черемошу, гірського Серету, Пістиньки, Опору, Стрия, гірського Дністра, у верхів'ях Ужа, в басейні Боржави, Ріки, а також у деяких місцях передгір'їв Вулканічного хребта.

Серед природних факторів, які обумовлюють селеві явища в Українських Карпатах виділяються [4]: різка розчленованість басейнів гірських рік, значне падіння русел, наявність крутих схилів, слаба денудаційна стійкість флішових товщ, значна потужність пухкого матеріалу на схилах гір, поширення безлісних площ, великий поверхневий стік.

Небезпека виникнення селевих потоків у Свидовецькій гірській групі, крім того, посилюється перевагою в Полонинській і Приполонинській зонах водозаборів з крутими схилами площинного стоку. Нижче селеві потоки перетинають обвальнo-осипні схили. Кількість уламкового матеріалу зростає за рахунок площинного змиву, посиленого лісовими вирубками. Кам'яні осипи і схиліві розсипи, особливо характерні для Горган, також є значним джерелом живлення селевих потоків.

Селеві явища в Українських Карпатах мають регіональні особливості. Найбільш небезпечним в цьому підношенні вважають Свидовицько-Горганський регіон, де розвинені водно-кам'яні і брудокам'яні потоки. Живлення їх посилюється обвальнo-осипними схилами, а в конусах виносу крупноуламковий матеріал з флішових пісковиків досягає в діаметрі 2-3 м.

У Бескидах і в низькогір'ї Зовнішніх Карпат селенебезпечними часто є яри, що розчленовують річкові тераси, а також невеликі гірські потоки. Тут переважають водно-кам'яні і водно-грязекам'яні селі. Останні посилюються в басейні гірського Дністра внаслідок розширення орних земель на схилах. У Покутсько-Буковинських Карпатах

майже щороку виникають водно-кам'яні і грязе-кам'яні селі, що іноді посилюються обвальнo-зсувними процесами (верхів'я р. Пістинька). В передгір'ях спостерігаються грязеві селі.

На південно-західних схилах Полонинського хребта водно-кам'яні селі виникають у невеликих гірських потоках у верхів'ях р. Уж, а також у верхній частині р. Боржава, де водозбірні басейни, які розміщені в зоні полонин, займають великі площі і відзначаються значною крутизною схилів. Конуси виносу складені переважно грубоуламковим матеріалом пісковиків лютьської світи.

У межах Рахівського кристалічного масиву селеві явища мають водно-кам'яний характер і обумовлені насамперед значною крутизною схилів і великим падінням русел потоків, що впадають в Тису. Селенебезпечність ряду інших потоків басейнів інших рік обумовлена комплексом ярово-ерозійних, зсувних, обвальних і суфозійних процесів.

В таблиці 1.1 наведені дані про типи селів, причини їх виникнення і зони зародження [4].

Таблиця 1.1

**Типи селів, причини їх виникнення і зони їх зародження**

	Число випадків		
	Південно-західний район (басейн р. Тиса)	Південно-східний район (басейн р. Прут)	Північно-західний район (басейн р. Дністер)
1	2	3	4
Типи селів			
Водно-кам'яний	48	90	56
Водно-грязе-	5	1	2
Грязе-кам'яний	30	50	13
Грязевий	1	-	9
Причини утворення			
Злива	49	78	42
Дощ	30	61	31
Сніготанення	4	-	-
Прорив загат	1	2	-

1	2	3	4
Зони зародження			
Гірська	9	12	4
Середньогірська	68	129	67
Низькогірська	7	-	2

Значний інтерес для спеціалістів-дорожників мають дані про розрахункові характеристики селів в Українських Карпатах (табл. 1.2) [4].

Зсувні явища поширені в гірських долинах у Передкарпатті (Південне Покуття, Серето-Прутське межиріччя, Буковинське передгір'я, Ломницько-Бистрицьке межиріччя), а також в Солотвинській (Верхньотисенській) улоговині. Вони завдають великої шкоди автомобільним дорогам та іншим інженерним спорудам.

В горах зсувні явища пов'язані із структурно-літологічною зональністю і приурочені до делювіально-пролювіальних відкладів, що залягають на дрібно-ритмічному, переважно еоценовому та олігоценному, сильно дислокованому фліші з переважанням глинистих сланців (Верхньо-Дністровські Бескиди). Основні технічні заходи тут повинні бути спрямовані на посилення дренажних систем, розташованих на рівні корінних порід, а також на створення на схилах систем, які перехоплюють воду. Широко розвинений давньозсувний рельєф і частково сучасні зсувні процеси в Ясинській улоговині і в межах Ворохто-Путьського низькогір'я. Останньому сприяє дрібно ритмічний, переважно глинистий фліш олігоценної кросненської серії, м'які обриси схилів, розвиток делювіального суглинистого покриву. Давньозсувні погорбовані схили закріплені трав'яною рослинністю. Сучасні зсувні цирки приурочені до верхів'їв балок з постійним водотоком, а також спостерігаються і в нижніх, більш крутих частинах схилів.

У південно-західній частині Свидівця (Басейн рік Тересви і Шопурка) зсувні схили приурочені до зон глинистих різновидностей еоценового флішу (забродської світи), а також крейдових буркутської і рухівської світ. Зсувні схили часто розчленовані гірськими ярами (зворами) та потоками. Діяльні зсуви є джерелом живлення селів.

Розрахункові характеристики селів Українських Карпат

Характеристика	$L$ , м	Середні для розрахункової ділянки				$Q_{\text{макс}}$ , м <sup>3</sup> /с	$T$ , ч, мін	$H$ , м	$W_c$ , 10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup>	Коефіцієнт насиченості потоку наносами	Обсяг вага селівоті маси, т/м <sup>3</sup>	$W_H$ , 10 <sup>3</sup> м	$W_K$ , 10 <sup>3</sup> м		
		$i$ , %	$S$ , м <sup>2</sup>	$b$ , м	$h$ , м									$d$ , м	$U$ , м/с
Південно-західний район (басейн р. Тиса)															
Середня	93,0	91,5	23,3	27,9	0,84	0,84	2,29/2,68	51,2/82,9	1,47	1,6	297,4	0,14	1,18	32,2	1,05
Найбільша	200	306	110	109	1,70	1,50	4,28/3,67	230/346	2,30	2,2	2311	0,28	1,35	241	4,80
Найменша	40,0	23,6	4,85	5,40	0,53	0,32	1,51/1,80	9,45/11,6	1,00	1,2	4,003	0,03	1,04	0,13	0,06
Південно-східний район (басейн р. Прут)															
Середня	93,0	202,5	18,7	15,7	1,13	0,72	2,72/2,87	49,5/59,2	1,08	1,7	221,9	0,14	1,19	24,5	1,70
Найбільша	550	416	65,8	37,2	1,87	1,50	3,94/4,00	191/262	2,30	3,0	1912	0,44	1,48	193	12,6
Найменша	30,0	76,0	2,60	5,40	0,37	0,30	1,54/2,03	5,09/10,7	0,30	0,8	5,08	0,04	1,07	0,40	0,181
Північно-західний район (басейн р. Дністер)															
Середня	98,0	146	28,1	22,4	1,28	0,84	2,77/3,90	75,5/87,6	1,41	1,9	613,4	0,18	1,22	66,8	8,60
Найбільша	587	442	105	99,3	2,28	1,50	4,01/3,93	342/413	5,00	3,2	6858	1,20	1,87	702	43,2
Найменша	21,0	33,5	3,37	4,30	0,48	0,34	1,18/1,99	10,6/8,40	0,30	0,7	3,21	0,09	1,13	0,81	0,15

**Примітка:**  $L$  - довжина розрахункової ділянки;  $i$  - уклон;  $S$  - площа поперечного перерізу при РВВ;  $b$  - ширина потоку;  $h$  - середня глибина потоку;  $d$  - діаметр найбільш крупних каменів, переміщених потоком;  $U$  - швидкість течії;  $Q_{\text{макс}}$  - найбільший розхід;  $T$  - тривалість паводку;  $H$  - висота валів;  $W_c$  - об'єм селевого наводку;  $W_H$  - стік наносів за паводок;  $W_K$  - об'єм відкладень на конусі виносу.

Значення швидкостей і розходів в чисельнику - обчислені за формулою М.Ф. Срібного, в знаменнику - за формулою Г.І. Шамова.

У Передкарпатті та на Серето-Прутській межирічній височині зсувні явища обумовлені наявністю водотривких товщ тортонських глин, покритих на схилах потужною товщею делювіальних суглинків з прошарками пісків.

Зсувні явища на ділянці Південно-Покутської височини розвинуті в глинисто-піщаній товщі гельветської стебницької серії та на глинистих товщах тортону.

В околицях Делятина зсувні цирки приурочені до стебницької серії. Верхня частина терасових схилів тут вкрита алювіальними суглинками і галечниками.

У північно-східній частині Солотвинської улоговини зсувні форми поширені в зоні глинистих відкладів середньоміоценової тересвинської серії. Широкий розвиток давніх і сучасних зсувних цирків пов'язаний з активними рухами в зоні тектонічного контакту флішових структур Полонинського хребта і Солотвинської міоценової западини.

За результатами регіональних робіт, виконаних у межах Закарпаття після катастрофічних паводків 1998 і 2001 років, виявлено близько 1600 зсувонебезпечних ділянок, які морфологічно проявились у різних геоструктурних регіонах та басейнових геокомплексах, більше 120 селенебезпечних струмків, а також багатокілометрові ділянки розвитку бічної ерозії тощо [5, 6].

Селеві потоки спостерігаються в гірських районах і формуються, в основному, в літній період під час інтенсивних дощових опадах (табл. 1.3). Проте на Закарпатті селі можливі і взимку, коли сніготанення супроводжується різкими чи змішаними атмосферними опадами.

Активізація зсувів і селів у листопаді 1998 року та весною 1999 року (сумарна кількість катастрофічно активних зсувів становила понад 900, а селів близько 100) відбулася на фоні надмірного зволоження ґрунтів гірських порід (понад трьох років), особливо у 1998 році. Після зливових дощів у поєднанні з іншими метеорологічними чинниками почалася фаза масової активізації зсувів та селів різного обсягу та інтенсивності. З них деякі були грандіозними, наприклад, зсув в с. Вільхівські Лози, об'ємом до 40 млн. м<sup>2</sup>, який зруйнував село, сель об'ємом до 12 тис. м<sup>2</sup>, який привів до людських жертв у с. Руська Мокра [5].

**Місячні та річні суми опадів за метеостанціями Закарпатської області за 1998 рік**

Станції	1998 рік												Сума за рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Рахів	90	34	129	170	109	213	202	115	169	224	167	68	1690
Міжгір'я	54	36	100	183	102	187	302	211	154	242	265	65	1901
Плай	75	39	122	155	125	193	288	178	237	253	213	1953	1953
Н. Студений	50	56	88	151	96	222	245	138	145	156	171	94	1612
Н. Ворота	52	25	84	163	72	154	233	180	172	167	149	72	1523
В. Березний	51	44	53	103	76	108	249	71	98	117	87	76	113
Ужгород	35	19	31	112	88	136	161	84	82	94	90	69	100
Хуст	62	23	105	137	78	150	192	81	134	170	144	70	1346
Берегове	27	11	41	117	56	190	181	52	115	67	74	38	969

Активізація небезпечних зсувів і селів у березні 2001 року мала інший механізм. У 2000 році кількість опадів була меншою від норми, по цій причині ґрунти гірської частини Закарпаття не були перезволоженними.

Переважаюча більшість зсувів та селів сформувалась за рахунок короткочасного надмірного перезволоження ґрунтів гірських порід протягом початку березня 2001 року. У формуванні селевих потоків істотну роль відіграв підпір води у руслах малих гірських потоків, що призвело до розвантаження кам'яного матеріалу на схилах у пригірлових їх частинах.

У цьому періоді, на початку квітня 2001 року, були закартографовані 483 зсувні ділянки, які становлять потенційну небезпеку інженерним спорудам і комунікаціям, автомобільним дорогам зокрема. Реальний ступінь їх активізації значно менший, ніж у 1998-1999 роках.

Обвальсько-осипні процеси поширені в найбільш високій частині Українських Карпат [4]. У Горганах і в Свидовецько-Чорногорській групі вони приурочені до крутих схилів (від 30° до 40°), де відслонюються масивні яменські та вигодські палеогенові пісковики, а також пісковики крейдової стрийської, шипотської, чорногорської, скупівської та інших світ.

Поширення кам'яних розсипів і осипів особливо посилює обвальсько-осипні процеси в місцях лісовирубок, на таких схилах відновлення лісового покриву стає неможливим. Розміри уламкового мате-



ріалу в кам'яних осипах коливаються від 3-15 см до 0,5-3 см. У долинах Свидовецької гірської групи осипні процеси є причиною виникнення селів.

Обвали зустрічаються порівняно рідше (долини Пруту, Бистриці Надвірнянської, гірської Тиси).

На території Українських Карпат виділено сім геоморфологічних зон [1]:

а) Передкарпаття (зв'язане з Передкарпатським передовим прогином);

б) зовнішні Карпати (відповідають Зовнішній антиклінальній зоні);

в) вододільно-верховинська область (в основному відповідає Центральній синклінальній зоні);

г) полонинсько-чорногорська область (Внутрішня антиклінальна зона);

д) мармароська область (відповідає кристалічному ядру Внутрішньої антиклінальної зони);

е) область Вулканічних Карпат і міжгірських западин (відповідає Вигорлат-Гутинській вулканічній зоні та Солотвинській западині);

ж) закарпатська рівнина (Чоп-Мукачівська западина).

Вихідним фактором у районуванні взято поздовжню структурно-геоморфологічну зональність гір. У межах поздовжніх геоморфологічних областей виділені геоморфологічні райони, що розчленовують їх у поперечному напрямку. Райони мають свої геоморфологічні особливості, що, як правило, відповідають тектонічним структурам меншого порядку.

Зважаючи на вище викладений матеріал, треба зазначити, що будівництво автомобільних доріг в межах процесонебезпечних територій повинно проводитись тільки після крупномасштабного обстеження ділянок, їх районування за ступенем зсувонебезпечності та реалізації відповідних конструктивних рішень при забудові території.

## **1.2. Класифікація зсувних зміщень та заходів захисту від зсувів**

Класифікація схилових процесів на шляхах сполучення у гірській місцевості згідно з нормативно-технічною документацією – зсуви,

осипи, обвали, повзучість, соліфлюкація, селеві потоки, що руйнують будівлі, комунікації, автомобільні дороги, мости [7].

Зсуви – швидке руйнування схилів, коли основний зсув ґрунту відбувається зазвичай менш ніж за 15 хв., хоча при цьому попередні рухи або подальші явища можуть відчуватися протягом тривалішого часу та рух мас порід на схилі відбувається без втрати контакту між масою, що зміщується, та підстилаючим нерухомим масивом. Зсув обумовлений порушенням умов стійкості схилів. Поверхня ковзання зсувного тіла може знаходитись на різних глибинах. При глибині, рівній не менше 10 % ширини зсуву, зсуви відносяться до поверхневих, досить широко розвинених у гірських районах України, особливо в Карпатах. Зсуви з глибшим розташуванням площин ковзання досить часто зміщуються за декілька коротких переміщень. Тоді на їх поверхні спостерігається декілька уступів.

Спостереження дозволили встановити феноменальну особливість швидких зсувів великих мас ґрунтів. Встановлено, що при збільшенні об'єму зсуву (коли він наближається до 100000 м<sup>3</sup>) відбувається зменшення коефіцієнта тертя та збільшуються швидкість і шлях зсуву. При великих зсувах об'ємом від 100 тис. м<sup>3</sup> до 5-10 млн. м<sup>3</sup> і потужності зсувного тіла понад 100-150 м відбуваються аномально далекі зсуви [8].

Осип – це тривалий і неперервний рух по крутому схилу маси уламкових продуктів вивітрювання скельних порід. Рух відбувається у поверхневому шарі з невеликими швидкостями. У процесі руху відбувається сортування матеріалу – більші уламки докочуються до підошви схилу, а дрібні залишаються у верхній і середній частинах схилу.

Переміщення уламкового матеріалу відбувається перекочуванням і ковзанням під дією сили ваги і течії води. Осип діє доти, поки похил усієї його поверхні не стане меншим, ніж кут природного укосу. Тоді настає стабілізація осипу. Проміжки між крупними уламками заповнюються дрібнішими. Стабілізовані осипи заростають травою, чагарником. На них можна висаджувати дерева, що сприяє закріпленню осипів.

Великого збитку завдають повільні грязьові потоки (обвали-потоки), середня швидкість яких може досягати 600 м/рік і витрата до 6000 м<sup>3</sup>/рік і більше, а довжина – 1800 м.

Обвали – швидкі зсуви масивів гірських порід (падіння, кочення, перекидання), що виникають при крутизні схилів більш  $15^\circ$ , переважно при  $45-70^\circ$  за рахунок їх відриву від кореного масиву. Зазвичай такі явища стимулюються землетрусами, активізацією ерозійних процесів, морозним вивітрюванням, а також техногенними чинниками (підризуванням гірських схилів при будівництві доріг та інших споруд). Об'єми обвалів можуть досягати мільйонів кубічних метрів.

Повзучість ґрунтів – властивість мінерального скелета ґрунту деформуватися протягом певного часу під впливом постійного тиску, що діє на нього. Виявляється головним чином у глинистих ґрунтах. Супроводиться складними механічними процесами (дробленням зерен, рекристалізацією, виділенням нових фаз, перебудовою сітки дислокацій тощо), нагромадженням у ґрунті дефектів у вигляді пор і тріщин. Характеризується швидкістю, а також технічною (умовною) границею повзучості – напруженням, при якому ця швидкість або сумарна деформація повзучості не перевищує деякої допустимої величини.

Соліфлюкація – стікання ґрунту, перенасиченого водою, по мерзлій поверхні зцементованого льодом основи схилів.

Соліфлюкація спостерігається в різних природних зонах. Явище широко поширене в зонах з багаторічною мерзлотою або з ґрунтами, які глибоко і на тривалий час промерзають. Дрібноземлистий ґрунтовий покрив насичується вологою від талого снігу або дощів, обважнюється, стає в'язкопластичним і починає рухатися вже при куті нахилу в  $2-3^\circ$  ще не відталого слизькою поверхнею мерзлого підстилаючого шару, прискорюючись при збільшенні ухилів від декількох сантиметрів до метра на рік. При цьому на схилах виникають фстончаті напливи, невисокі гряди і цілі соліфлюкційні тераси навіть на схилах з дерево-станів, утворюючи п'яний ліс.

Селеві потоки – грязьові, грязьокам'яні потоки. За швидкістю зсувних процесів відносяться до швидких потоків. Селеві потоки розвиваються переважно в гірських регіонах (Памір, Карпати, Крим, Кавказ тощо), але бувають і в межах районів із відносно пологим рельєфом, якщо цьому сприяють техногенні чинники.

Потужність потоків досягає  $30 \text{ м}^3$ , швидкості в середньому перевищують  $10 \text{ м/с}$  і доходять до  $30 \text{ м/с}$ . Рух може відбуватися ривками, хоча зазвичай потоки течуть по раніше сформованим долинам. Щільність по-токів може досягати  $2,5 \text{ г/см}^3$ , а об'єми глиб – від  $4,75$  до  $10 \text{ м}^3$  і більш [9].

Найбільш небезпечні процеси схилів (обвали, зсуви, селеві потоки) розвинені в гірських районах (Крим, Карпати), по долинах великих річок (Дніпро, Дністер, Прут тощо), а також по берегах штучних водоймищ (водосховища Дніпровського каскаду), на Азово-Чорноморському узбережжі [10, 11]. Слід зазначити, що під впливом господарської діяльності активність процесів на схилах за останні 20-25 років значно збільшилась.

Особлива небезпека зсувів полягає в їх раптовому виникненні переважно на територіях населених пунктів, де зосереджені населення та матеріальні цінності, а також у тому, що при виникненні у відповідних ґрунтових умовах вони зупиняться лише при завершенні повної руйнації ґрунтового масиву, на якому можуть бути розташовані будівлі та споруди [8].

Суттєвий вклад у вивчення закономірностей виникнення та протікання зсувів внесли російські та українські вчені, серед яких: В. Ф. Бабков, О. А. Белятинський, Ф. П. Саваренський, Л. М. Бернацький, К. Терцагі, Г. С. Золотарьов, О. М. Дранніков, А. І. Білеуш, Є. О. Яковлев, І. Ф. Єриш, Г. І. Рудько, М. Г. Демчишин, В. О. Осіюк, Х. Я. Мурадов, С. І. Мацій, зарубіжні вчені: Е. Еккель, С. Флейшман, Н. Хаст, А. Шейдеггер, А. Скейптон, Л. Мюллер та інші [12-18].

Методика оцінювання механізму, прогнозування розміру (довжини виносу) та швидкості руху зсуву ґрунтується на феноменологічному підході до визначення типології зсувів, який розроблено в працях М. М. Маслова, К. Терцагі, О. Енгра (O. Hungr) та інших [19-21].

Системний аналіз, моделі та методи управління надзвичайними природними ситуаціями на шляхах сполучення розглянуто в працях Л. І. Нефьодова, Н. Ю. Філь, Ю. Л. Губіна [22, 23].

Закономірності розвитку зсувного процесу в межах України зумовлені рядом природно-історичних факторів, що корелюються з антропогенними змінами. При цьому пропонується історико-генетичний підхід до проблеми, що дозволяє розглядати розвиток зсувного процесу в межах відповідних зсувних геосистем.

Через відсутність загальної класифікації факторів, стосовно необхідності оцінки їх кількісної ролі у формуванні й розвитку зсувних систем, оцінки інженерно-геологічної ефективності споруд за інженерним захистом, а також для проведення довгострокових і короткострокових прогнозів ці факти доцільно згрупувати за видами впливу на коефіцієнт стійкості та режим стійкості.

На рис. 1.1 представлена класифікація факторів виникнення та розвитку зсувних процесів, виділені фактори-умови і фактори-процеси, що визначають різні види впливу на коефіцієнт стійкості та режим стійкості зсувних схилів [24].

В основу класифікації покладені тривалі стаціонарні спостереження Департаменту геології України на зсувних схилах Південного Криму (V інженерно-геологічний район) з урахуванням робіт В. М. Слав'янова, Є. П. Ємельянової, І. Б. Корженевського, І. В. Попова [25-28].

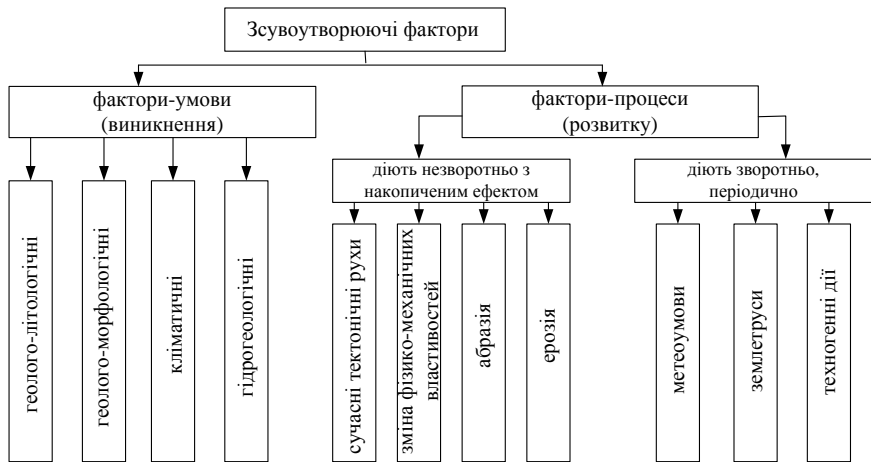


Рис. 1.1. Класифікація факторів виникнення та розвитку зсувних процесів

До основних заходів захисту від зсувів на ділянках шляхів сполучення у гірській місцевості відносяться превентивні та активні заходи [29].

До превентивних відносяться заходи, спрямовані на запобігання зсувних процесів: зміщення об'єкту будівництва (шляхів сполучення) за межі території, що знаходиться під впливом потенційного або існуючого зсуву.

Якщо перенесення ділянки будівництва шляхів сполучення неможливе, тоді розраховують варіанти інженерного захисту, що базуються на таких показниках превентивного характеру:

- заборона підризки зсувних схилів;

– заборона будівництва на зсувних схилах інженерних споруд, ставків, водоймищ, об'єктів із значним водоспоживанням без виконання конструкторських заходів, які б повністю виключали надходження води в зсувні маси;

– заборона проведення вибухів і гірських робіт поблизу зсувних ділянок шляхів сполучення;

– обмеження, в необхідних випадках, швидкості руху на ділянках шляхів сполучення у зоні, що примикає до зсувної ділянки;

– охорона дерево-чагарникової та трав'янистої рослинності;

– заборона неконтрольованого зрошення земельних ділянок;

– заборона встановлення водопровідних колонок і постійного водопроводу без облаштування каналізації;

– недопущення на зсувні схили зливної, талої, стічної й інших вод;

– залісення зсувних територій;

– здійснення охоронно-обмежувальних протизсувних заходів, не пов'язаних із будівництвом інженерних споруд і проведенням трудовітких робіт.

Разом із тим очевидно, що ефект від цих заходів може бути одержаний тільки через деякий час, але їх проведення необхідне в більшій мірі, ніж активних заходів. Як альтернативне може бути прийняте рішення про зміну місця будівництва шляхів сполучення, житлових і лінійних інженерних споруд.

У випадках, коли перенесення наміченого або побудованого в зсувонебезпечному районі об'єкта (шляхів сполучення) є неможливим, застосовуються активні заходи захисту. До них слід віднести такі протизсувні заходи, проведення яких вимагає налагодження різного роду інженерних споруд, спрямованих на усунення активних причин, що викликають зсуви на схилах.

Активні заходи боротьби зі зсувами базуються на двох основних принципах:

а) зменшення зсувних сил;

б) збільшення утримуючих сил.

Оскільки стійкість схилів залежить від умов рівноваги зсувних та утримуючих сил, проектування навантажень на схил слід спрямовувати на забезпечення належного запасу стійкості проти сил, що викликають зміщення ґрунту. Зсувні зусилля мають переважно гравітаційний характер і залежать від маси ґрунту та води, що в ній вміщується.

На початковій стадії проектування будівельних робіт доцільно проводити заміну напрямку та профілю схилів: зменшення ваги нестійких мас за рахунок їх видалення й осушення. Видалення нестійких мас ґрунту вважається економічно вигідним при видаленні невеликих об'ємів слабких ґрунтів, що залягають на незначній глибині.

Іншим засобом зменшення зсувних сил є часткове розвантаження тіла зсуву шляхом видалення з його верхньої частини достатньої кількості ґрунтових мас (зменшення маси) з метою підвищення стійкості зсуву. Треба відзначити, що це рішення не коректне для великих або пластичних зсувів. Доцільність заходів щодо розвантаження зсувного схилу слід розглядати з економічної точки зору. Проект названих заходів повинен містити оцінку стійкості схилу, розташованого за межами ділянки, наміченої до видалення мас ґрунту. Проектуючи проти-зсувні заходи, слід розглядати питання про переміщення вийнятого ґрунту та можливість видалення всієї зсувної маси.

З усіх можливих заходів щодо укріплення схилів із існуючими та можливими зсувними процесами найбільш важливим є дренаж, що сприяє зменшенню ваги нестійких мас і зміцненню ґрунтів, що складають відкоси. Відповідний дренаж поверхневих вод необхідний як для тільки закладених, так і для старих укосів, в яких почались зміщення. Оцінюються поверхневі води, що стікають по укосу, та ті, що інфільтруються в ґрунт. Ці два процеси викликають ерозію на поверхні укосу та сприяють виникненню опливин. Для боротьби з ерозією в районах із значними атмосферними опадами широко застосовуються відвідні канали та дренажні споруди. Обробка схилу може бути виконана різноманітними засобами, наприклад: засів або покриття схилу дерном, застосування торкретбетону, кам'яного покриття, бетонного облицювання, укладення схилу бетонними плитами. Для попередження інфільтрації доцільно створювати асфальтове покриття схилів. Усі ці засоби боротьби з поверхневими водами стають особливо ефективними в сукупності з підземними дренажними спорудами. До них відносяться: горизонтальний дренаж, вертикальні дренажні колодязі та свердловини, дренажні тунелі тощо. Ефективність і можливість застосування різних типів підземних дренажних споруд залежать від геологічних і кліматичних умов. У багатьох випадках, щоб попередити виникнення нових зсувів і боротьби з існуючими зсувами, застосовують повне або часткове відведення підземних вод.

Засоби збільшення утримуючих сил поділяються на дві групи:

1. Прикладання зовнішніх сил (контрфорси або утримуючі призми, палеві та анкерні пристрої), балансування зсувних напруг за допомогою сил, прикладених із зовні, або протидія їм [30]. На схилі з неглибокими зсувами доцільно перекривати ділянки шляхів сполучення інженерними спорудами, що спираються на палі, занурені на достатню глибину нижче підшви нестійких ґрунтів. Якщо опори проходять крізь товщу нестійких порід, палі мають бути запроектовані з розрахунком бокового тиску цих порід. Слід ставитись із певними застереженнями до застосування буронабивних паль у межах зсувних ділянок Карпатського регіону, оскільки в багатьох випадках вони формують у зоні контакту з корінними породами складну систему тріщинуватості та втрати міцності порід, створюючи потенційно ослаблену зону.

Проектуючи контрфорси або утримуючі призми для забезпечення стійкості схилу, як правило, планують нагромадити достатній об'єм насипних мас у підшві нестійкого масиву ґрунту, який може запобігти його подальшому переміщенню. Контрфорс проектується таким чином, щоб збільшити утримуючі сили поблизу підшви гірського схилу до розмірів, що забезпечують відповідний коефіцієнт запасу стійкості. У багатьох міських районах спорудження утримуючих насипних призм для укріплення схилів є неможливим. У цих випадках конструюють запобіжні огороження з вертикальних паль великих діаметрів. Одним із видів використання захисних споруд є підпірні стінки.

У ряді випадків основним принципом роботи захисних споруд є передача зусиль на достатньо міцну породу, що залягає за межами зсуву, з використанням анкерних відтяжок. Останні можуть являти собою попередньо напружені троси, шланги, анкери тощо.

2. Збільшення утримуючих сил – зміна властивостей ґрунтів за рахунок зміцнення (підземний дренаж, хімічна обробка, електроосмос, термічна обробка тощо) [29].

Метод хімічної обробки ґрунту полягає в обробці глинистих мінералів у зоні можливих зсувів концентрованим хімічним розчином. Склад розчинів залежить від мінералогічних особливостей глинистих частинок у ґрунті та гідрогеологічних умов зсувного масиву. У результаті застосування такого методу міцність ґрунту на зсув може збільшитися на 30-40 %. Електроосмос є одним із засобів, за допомогою якого вдається



ефективно збільшити міцність ґрунту на зсув у натурних умовах. Цим засобом створюється міграція парової води в ґрунті між установленими в ньому електродами. Втрата парової води призводить до консолідації ґрунту і, як наслідок, до збільшення його фільтраційних параметрів. Головна мета, що досягається при термічній обробці ґрунту, – під дією високих температур ґрунт в укосах підтримувати постійно сухим.

Попередження зсувних процесів дозволить уникнути величезних витрат порівняно із ліквідацією їх наслідків. Недостатня розробка методів оцінки ступеня зсувної небезпеки та надійності розрахунків протизсувних споруд призводить до того, що вимоги будівельних норм не завжди виконуються, в результаті чого кількість зсувних аварій та катастроф збільшується. Це визначає актуальність робіт з удосконалення методів розрахунку зсувної небезпеки та ефективності інженерного захисту територій та споруд. Серед найбільш відомих робіт у даному напрямку є роботи Г. І. Чорного, І. П. Бойка, О. В. Школи, М. Л. Зоценка, С. Ф. Клованича, М. М. Герсенванова, М. М. Маслова, В. В. Соколовського, Г. М. Шахунянца, М. М. Гольдштейна, Є. Я. Кільвандера, Г. Л. Фісенко та інші [20, 31, 32].

На підставі проведеного аналізу треба зазначити, що існуючі класифікації схилових процесів не враховують механізм та динаміку розвитку зсувного процесу.

### **1.3. Визначення зсувних деформацій на ділянках шляхів сполучення у гірській місцевості**

Різноманітність причин і чинників, інженерно-геологічних особливостей у будові схилів та їх морфології ускладнюють класифікацію зсувів. Запропоновано багато класифікацій зсувних процесів за різними ознаками. Відомі загальні, часткові, регіональні класифікації, класифікації за характером захоплення гірських порід, за структурою зсуву, за видами зсувних деформацій, за віком зсувів, за морфологією зсувів тощо.

Розглянемо класифікацію з визначення форм порушення стійкості схилів, запропоновану М. М. Масловим у 1955 р. [20]. Опис форм порушення стійкості схилів і укосів наведено в таблиці 1.4.

Характер деформації визначає форму зсувного процесу. Швидкість деформації дає можливість намітити захисні заходи. Так, швидкість зсувного процесу в декілька сантиметрів на рік може бути допустимою для укосу каналу та незабудованих схилів. Проте обрушення

з такою швидкістю зсувного процесу на будівлю або споруди небезпечне та вимагає проектувати захисні протизсувні заходи.

Таблиця 1.4

**Форми порушення стійкості схилів і укосів**

Форми порушення стійкості	Характер деформації	Швидкість деформації
Обвали гірських порід	Падіння та кочення	Катастрофічна (м/с)
Обвал зі зрізом і обертанням	Переміщення масивів по поверхнях із найменшим запасом стійкості та з деяким обертом навколо горизонтальної осі	Висока (м/хв)
Сколювання при просіданні	Опускання з бічним переміщенням	Висока (м/хв)
Ковзання	Зрушення по площині напластування, розломах, зміщеннях	Висока (м/год)
Зсув-зрушення	Горизонтальне переміщення по слабкому прошарку	Невисока (см/добу)
Сповзання	Сповзання гірських порід по нерівній поверхні підстилаючої товщі	Невисока (до м/добу)
Сплив	Поверхнєве обпливання перезвожених ґрунтових мас	Висока (м/хв)
Пластична та в'язка деформація	Деформація глинистої товщі як пластичного та в'язкого матеріалу	Мала (см/рік)
Вікова переробка схилу	Поверхнєві явища, пов'язані з фізичними процесами	Мала та виключно мала (см/рік, мм/рік)

Є. П. Ємельяною детально описані цикли порушення загальної рівноваги схилу, виділено стадії та фази зсувного процесу [26, 33]. Стадією зсувного процесу називають частину зсувного циклу, впродовж якої розвиток зсувного процесу якісно однорідний. При цьому накопичуються кількісні зміни, що забезпечують перехід у іншу стадію. Фазою називають частину стадії зсувного процесу, в перебігу якої якісні та кількісні характеристики зсуву близькі до постійних.

У роботі [33] виділено стадію підготовки зсуву, стадію зсувного зрушення, стадію вторинних зсувів і стадію стабілізації (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Класифікація зсувів

Також виділені наступні фази:

- фаза наростання швидкості деформації;
- фаза швидкого наростання швидкості зсуву;
- фаза загасання швидкості зсуву;
- фаза затухаючих деформацій;
- фаза глибинної повзучості;
- фаза відновлення локальних порушень рівноваги.

У класифікації зсувів дорожньо-дослідницького бюро США, що викладена Е. Еккелем [34, 35], зсуви поділено за ознаками, які можна встановити при мінімальному обсязі досліджень, не вдаючись до причин їх утворення (табл. 1.5).

При цьому розглянуто дві основні складові (змінні): а) вид ґрунту зсувного процесу; б) тип руху, що може бути встановлений у період спостережень за формою зсувного процесу або розташуванню зсувних мас.

Типи руху Е. Еккель (див. табл. 1.5) поділив на три основні групи: обвал, ковзання та течія. У четверту він ввів змішані види руху, що охоплюють комбінацію будь-яких двох або всіх трьох попередніх типів руху. Тип руху або вид матеріалу в різних точках або в різний час може бути неоднаковим у одному й тому ж зсуві, тому дуже строга класифікація небажана.

Стисла схема класифікації зсувів за Е. Еккелем

Тип руху	Види ґрунтів				
	Скельні		Нескельні		
I. Обвал	Скельні обвали		Нескельні обвали		
II. Ковзання	Обертове	Плоске	Плоске	Обертове	
II А. Невелике число крупних глиб	Зсув	Бічне зрушення	Бічне зрушення	Бічний зсув-обертання	
II Б. Безліч окремих частин	–	Скельне ковзання	Ковзання наносів	–	
III. Течія	Всі незцементовані				
Суха	Скельні уламки	Піски	Пильоваті ґрунти	Змішані відкладення (наноси)	Пластичні ґрунти (загалом)
	Кам'яний осип	Піщаний осип-потік	Осип-потік	-	-
	–	–	Швидкі спливи	Лавина в наносах	Повільні спливи
Мокра	–	Перебіг пісків або пильоватих ґрунтів (розрідження)		Перебіг наносів	Грязьові потоки
IV. Змішаний	Поєднання ґрунтів або типів руху				

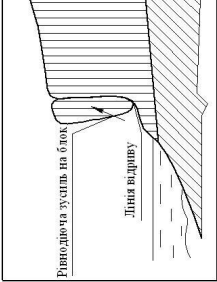
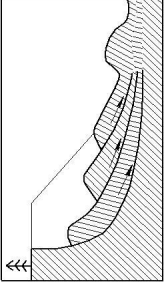
Проаналізувавши класифікації схилових процесів, встановлено, що не всі схили руйнуються за наведеними в них схемами. У роботі [24] удосконалено класифікацію зсувних деформацій на ділянках шляхів сполучення у гірській місцевості для визначення типу зсувних процесів на основі механізму руйнування порід і динаміки зміщення зсувних мас (табл. 1.6).

При визначенні типу руйнування порід схилу враховано узагальнений показник ураженості ділянок шляхів сполучення зсувними процесами  $K_3$ . За допомогою даного показника обґрунтовано ступінь стійкості зсувонебезпечної ділянки та віднесено експериментальні ділянки до характерних типів зсувних деформацій і визначено основні захисні заходи [24, 36].

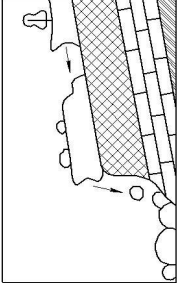
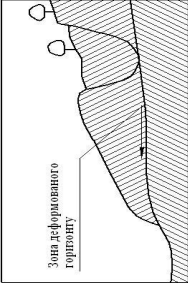
Удосконалена класифікація зсувних деформацій на гірських шляхах сполучення дозволить більш чітко підходити до питання вибору розрахункових положень, призначення виду протизсувних заходів, своєчасного проведення профілактичних робіт або влаштування основних захисних заходів для попередження руйнування ділянок шляхів сполучення.

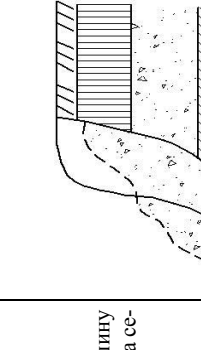
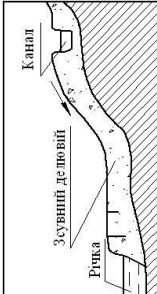
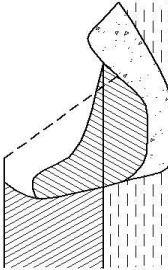
Таблиця 1.6

## Класифікація зсувних деформацій

Тип руйнування порід схилу та руху порід	Геологічні особливості будови схилу	Швидкість зміщення	Вид руйнування схилу в розрізі	Основні особливості оцінки стійкості та вибору захисних заходів
<p>1</p> <p><b>1. Обвали</b> Обвалення, падіння та сколювання глиб і окремих масивів, <math>0,85 \leq K_3 \leq 1</math></p>	<p>2</p> <p>Скельні та напівскельні круті схили, що підлягають або підробляються, складені глинистими, суглинними, гравелистими або піщаними зцементованими, легко вивітрюваними породами</p>	<p>3</p> <p>Максимальна швидкість: <math>V = f(\alpha, \phi) \sqrt{2gH}</math>, де <math>f(\alpha, \phi) \leq 1</math> залежить від крутизни схилу та коефіцієнта тертя кочення, <math>H</math> – висота центру тяжіння мас, що відірвалися, <math>g</math> – прискорення сили тяжіння</p>	<p>4</p>  <p>Рівнодіюча зусиль на блок</p> <p>Лінійна відхилення</p>	<p>5</p> <p>Нагляд і профілактика нестійких масивів. Укріплення стінами, контрфорсами, анкерами, палювими конструкціями. Улаштування прогіобвальних галерей, тунелів</p>
<p><b>2. Обвалення (осови)</b> Зміщення масиву схилу, укосу, вимки внаслідок перевищення навантажень, у тому числі й динамічних, поблизу бровки, необрунтоване збільшення крутизни схилу, укосу або глибини вимки, <math>0,8 \leq K_3 &lt; 0,85</math></p>	<p>Схили або укоси вимок, складені глинистими, суглинними та піщаними слабозцементованими породами</p>	<p>Від декількох сантиметрів на добу до 0,8–0,9 швидкості обвалів</p>		<p>Робота захватками, розміщення механізмів на пилотах, розподілюючих навантаження, розосередження механізмів. Використання механізмів із малими впливами на ґрунти. Підпірні споруди, розпірки, анкери</p>

Продовження табл. 1.6

1	2	3	4	5
<p><b>3. Зсуви ковзання</b> Ковзання верхньої частини порід схилу або укосу по поверхнях послаблення: площинах напастування, тектонічних тріщинах, увігнутих і криволінійних поверхнях ковзання, що сформува- лись, <math>0,75 \leq K_3 &lt; 0,8</math></p>	<p>Скельні та напівскельні породи з наявністю по- верхонь послаблення, тектонічних тріщин і нащарувань, спрямова- них у бік падіння схилу. Перебудова структури глинистих або суглин- них порід під впливом напруг і формування криволінійної поверхні ковзання</p>	<p>Від міліметрів на добу до метрів на годину</p>		<p>Уположення схилу, утримуючі та анкерні споруди. Контрфорси, контрбанкети. Дренажі як допоміжні споруди</p>
<p><b>4. Зсуви по зоні деформованого горизонту</b> Руйнування в більш слабких породах структурних зв'язків під впливом напруги від над- верхніх порід, гідродинаміч- них або хімічних впливів. Пластичні деформації гірських порід, витискування, утворення валів. Тріщини розриву та зсуву в верхніх, міцніших породах, <math>0,7 \leq K_3 &lt; 0,75</math></p>	<p>Наявність у схилі слабких глинистих порід, які після руйнування струк- турних зв'язків схильні до повзучості, течії, ви- тискування</p>	<p>Від метрів на хвилину до десятків метрів на се- кунду</p>		<p>Дренажні споруди різних конструкцій, контрфорси, контрбанкети</p>

1	2	3	4	5
<p><b>5. Суфозійні зсуви</b> Утворення в шарах гірських порід, що складають схил, в межах фільтраційного потоку ходів, порожнеч, збільшення пористості внаслідок вносу дрібних мінеральних частинок або розчинення окремих мінералів водою. Просідання верхніх шарів порід і зсув їх по гідродинамічному прошарку, <math>0,65 \leq K_3 &lt; 0,7</math></p>	<p>Наявність у схилах або укосах шарів, де поширені водоносні горизонти, у яких може розвиватись механічна або хімічна суфозія</p>	<p>Від метрів на хвилину до десятків метрів на секунду</p>		<p>Дренажі, екрани, хімічне закріплення – переведення розчинних мінералів у не розчинні</p>
<p><b>6. Зсуви течії</b> Зволоження та перехід у пластичний перебіг верхнього шару гірських порід, що розтікаються по нерівній поверхні більш стійких порід, <math>0,6 \leq K_3 &lt; 0,65</math></p>	<p>Наявність у верхній частині схилів або укосів, складених відносно міцними породами, менш міцних, вивітрених і слабоуцільнених порід</p>	<p>Від метрів на добу до десятків метрів на хвилину</p>		<p>Видалення слабких порід, захист від інфільтрації та зволоження</p>
<p><b>7. Зсуви по гідродинамічному прошарку</b> Зсув по водонасиченому прошарку верхньої частини порід, що складають схил і укві, <math>0,55 \leq K_3 &lt; 0,6</math></p>	<p>Наявність у схилі шарів гірських порід, розташованих із боку падіння схилу, схильних до набухання, суфозійних або просадкових деформацій</p>	<p>Від десятка сантиметрів на добу, метрів на годину до десятків метрів на секунду. Швидкість залежить від в'язкості матеріалу прошарку</p>		<p>Дренажні споруди, утримуючі конструкції з жорстких елементів</p>



## 2. ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПРОЕКТУВАННЯ ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ У ГІРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ

Особливість дослідження та проектування шляхів сполучення у гірській місцевості полягає у ретельному вивченні топографічних, інженерно-геологічних, гідрологічних умов території, виявленні зсувонебезпечних ділянок, встановленні типів зсувів і причин їх виникнення на основі рекогносцирувального, інженерно-геологічного обстеження району прокладання траси дороги і опрацювання літературного та картографічного матеріалів [37].

Трасу шляхів сполучення необхідно прокладати на найбільш стійких ділянках схилів, на пологих узгір'ях із сприятливими інженерно-геологічними умовами.

У зсувонебезпечних районах слід розробляти декілька варіантів прокладання траси, серед яких повинен бути варіант обходу нестійкої ділянки.

У разі, коли технічні нормативи дороги не дозволяють обійти зсувонебезпечну ділянку, трасу дороги прокладають через зсувонебезпечну ділянку. При цьому розробляють варіанти перетину зсувонебезпечної ділянки косогірними віадукми і тунелями або проектують таку конструкцію земляного полотна, яка не сприяла б активізації зсувного процесу.

При перетині трасою дороги верхньої частини зсувонебезпечної ділянки слід розробляти такий варіант переходу (віадук, естакада, виїмка), при якому знижується додаткове навантаження нестійкого схилу, а зсувонебезпечна ділянка розвантажується.

При перетині зсувонебезпечних ділянок біля підшови зсуву земляне полотно слід влаштовувати в насипі. У цьому випадку стійкість зсувонебезпечної ділянки збільшується в результаті підвищення сил опору руху зсуву. Влаштування виїмок слід уникати.

При перетині трасою середньої частини зсуву земляне полотно слід влаштовувати в насипі й виїмці невеликої висоти і глибини з метою виключення додаткового навантаження на протизсувні споруди.

При виборі варіанту траси на зсувонебезпечній ділянці та конструкції земляного полотна слід виходити з умов підвищення стійкості зсувонебезпечної ділянки з врахуванням запроєктованих протизсувних заходів і утримуючих споруд.

Вибір того або іншого варіанту перетину зсувонебезпечної ділянки слід обґрунтовувати техніко-економічним порівнянням варіантів з врахуванням протизсувних заходів [11].

Матеріали комплексних вишукувань для інженерного захисту шляхів сполучення у гірській місцевості повинні бути достатніми для [37]:

- загальної оцінки природних умов територій та ступеня їх придатності для різних видів освоєння;
- характеристики зсувонебезпечної обстановки та кількісної оцінки стійкості ділянок шляхів сполучення;
- прогнозу змін природних умов, зсувної небезпеки від впливу будівництва та експлуатації шляхів сполучення;
- прийняття принципових інженерних рішень щодо інженерного захисту об'єктів та обмежень основного будівництва;
- видачі рекомендацій щодо технологічної послідовності та черговості освоєння територій;
- видачі рекомендацій щодо конструкцій фундаментів об'єктів будівництва, можливості суміщення функцій захисних споруд на шляхах сполучення.

При розробці матеріалів комплексних вишукувань та проектування шляхів сполучення у гірській місцевості можна користуватись, як рекомендаційним матеріалом, наступними нормативними документами МР В.2.3-218-20533253-305 [38] та МР В.2.3-218-20533253-499 [39].

### **3. ГЕОДЕЗИЧНІ ВИШУКУВАННЯ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ НА ДІЛЯНКАХ ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ В ГІРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ**

#### **3.1. Характеристика зсувних процесів**

Значне місце в дослідженні зсувного процесу належить спостереженням за динамікою схилів. Картина зміщення земляних мас в просторі та в часі може надати неоціненну послугу при аналізі механізму зсувів.

Перш ніж описувати різні методи спостережень за зміщенням зсувів, необхідно коротко познайомитися з об'єктом досліджень [40].

Зсуви є чітким рухом земляних або скельних мас, що відбувається за деякою поверхнею ковзання (вона є ложем зсуву). Від обвалів зсуви відрізняються тим, що протягом всього процесу маси, що зміщуються, не втрачають контакту з ложем, тоді як при обвалах ці маси частину свого шляху проходять в повітрі. У більшості випадків сповзання схилів є тривалим процесом, в якому можна розрізнити два етапи: 1) підготовча фаза, коли в деякій глибинній зоні відбуваються дуже повільні рухи типу повзучості й формується потенційна поверхня ковзання; цей етап називається фазою глибинної повзучості та 2) катастрофічна фаза, коли відбуваються значно більш швидкі, іноді навіть помітні для очей рухи по поверхні ковзання, що сформувалась [41]. Вивчення динаміки зсувів в фазі глибинної повзучості представляє великий теоретичний і практичний інтерес, так як ефективність протизсувних заходів в цій фазі особливо висока [42].

Існує безліч типів зсувів, що розрізняються розмірами і формою, глибиною захвату та формою поверхні ковзання, характером зміщення земляних мас, їх швидкістю, періодичністю, станом поверхні, умовами видимості тощо. Розглянемо два типових, морфологічно різних випадків зсувів.

Земляні потоки – це довгі та вузькі смуги рухомого ґрунту, витягуються вниз по схилу вздовж знижень рельєфу (рис. 3.1, а). Заповнюючи улоговини, вони звиваються подібно річкам у своїх берегах, приймають притоки, огинають виступи берегів і утворюють острова. Швидкість руху матеріалу в земляних потоках коливається в залежності від зволоження, що носить сезонний характер. Довжина земляних потоків вимірюється сотнями метрів, ширина – десятками метрів, а

глибина має величину порядку 2-6 м. Тіло зсуву чітко відділяється від нерухомого ґрунту бічними тріщинами; поверхню потоку зазвичай розтинають безліччю тріщин. Вектори зміщення точок на поверхні ґрунту приблизно паралельні бортам зсувного і зсувонебезпечного ложа. На прямолінійних ділянках зміщення відбувається з рівномірною швидкістю, на криволінійних ділянках «струмінь» відсувається до увігнутого берега. У фазі глибинної повзучості спостерігаються різкі сезонні коливання швидкості зсуву; в фазі катастрофічного зсуву відбуваються швидкі зміщенні.

Обертальні зсуви – це ґрунтові масиви округлої, овальної або витягнутої форми в плані (рис. 3.1, б).

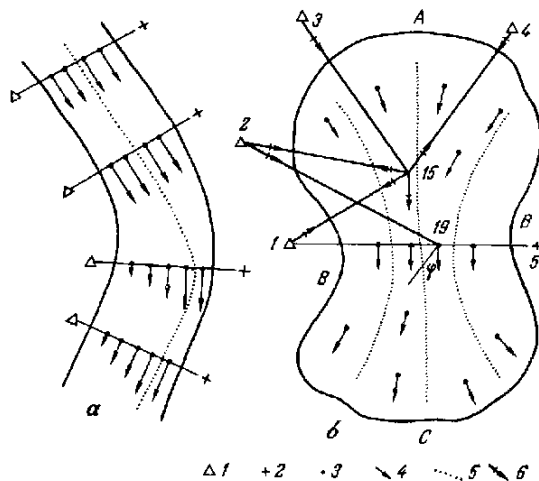
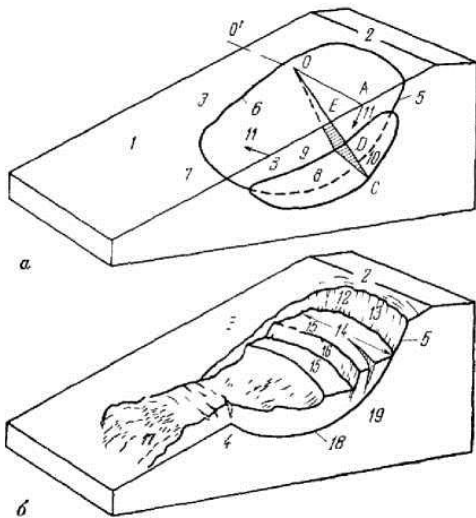


Рис. 3.1. Типи зсувів:

- а – повільний земляний потік; б – обертальний зсув; 1 – опорний репер; 2 – орієнтирний знак; 3 – зсувна точка; 4 – вектор зміщення; 5 – траєкторії руху; 6 – напрямок променю візування

У процесі зсуву вони роблять обертальні рухи навколо деякої осі. Тіло зсуву оконтурюється тріщинами, що свідчать про різні зміщення: у верхній частині схилу А – з відривом і зміщенням вниз; в середній частині схилу В – із зсувом і зміщенням по горизонталі; в нижній частині С – із стисненням і зміщенням вгору. У більшості випадків змі-

щення земляних мас у зсувах цього типу відбувається шляхом повороту навколо деякої осі обертання. У фазі глибинної повзучості такі обертальні рухи роблять точки, що утворюють зону повзучості, а в катастрофічній фазі обертання відбувається по круглоциліндричній поверхні ковзання. У більш рідкісних випадках ковзання відбувається по криволінійних поверхнях, кривизна яких у міру наближення до нижньої частини схилу або збільшується, або зменшується [43]. Деякі елементи обертальних зсувів показані на схемі (рис. 3.2).



**Рис. 3.2. Обертальний зсув:**

а – в фазі глибинної повзучості; б – в катастрофічній фазі; 1 – первісна поверхня ґрунту; 2 – брівка; 3 – правий борт; 4 – підшова; 5 – верхова тріщина розтягування; 6 – бічна тріщина зсуву; 7 – низова тріщина стиснення; 8 – зона повзучості; 9 – жорстке зміщення верхньої частини зсувного тіла, обмеженого з боків зсувними тріщинами і знизу зоною повзучості; 10 – потенційна поверхня ковзання, що формується; 11 – вектори зміщення зсувних реперів (перпендикуляри до відповідних радіусів  $OA$  і  $OB$ );  $OO'$  – вісь обертання зсуву,  $OC$  – довільний радіус обертання і розподіл швидкостей зсуву вздовж нього (глибинна повзучість на ділянці  $CD$  і жорстке зміщення на ділянці  $DE$ ); 12 – головна стінка відриву (головний уступ); 13 – вершина зсуву; 14 – голова; 15 – зсувний блок; 16 – внутрішній уступ; 17 – язик зсуву; 18 – поверхня ковзання; 19 – ложе зсуву

Описані два типових зсуви є порівняно простими; до них відносяться багато невеликих зсувів. Значно складніші великі зсуви. Внаслідок особливостей геологічної будови земляні маси, що зміщуються, зазвичай мають неправильну форму. Зсувне ложе багатьох великих зсувів володіє складним підземним рельєфом. У таких випадках земляні тіла розпадаються на окремі блоки, що вчиняють складні рухи; на виступах виникають землепади. Деякі великі зсуви є багатоярусними; маси, що зсуваються, утворюють кілька ярусів, розташованих один над одним і зміщуються з різною швидкістю та за різними траєкторіями [44].

Чинники утворення зсувів не виявляються на всіх ділянках зсуву одночасно і не діють в однаковому ступені; часто в тілі зсуву утворюється зсувний осередок, який далі поширюється наступально, вниз по схилу, або відступально – вгору по схилу. На зсуві може зустрічатися поєднання різних видів руху; так, наприклад, блокові зміщення у верхній частині схилу можуть нижче переходити в земляні потоки і тощо. Нарешті, на зсувні рухи в фазі глибинної повзучості часто накладаються співмірні за величиною зміщення поверхневого шару типу поверхневої повзучості, або соліфлюкації. Таке ж накладення зміщення має місце і в багатоярусних зсувах. Для аналізу всієї цієї обстановки потрібні ретельні та систематичні спостереження.

Для вивчення динаміки схилів проводяться такі види робіт [40]:

- 1) спостереження за рухом мережі зсувних точок, встановлених на поверхні зсувів, і отримання векторів зсуву і швидкостей зсуву;
- 2) аналіз зсуву шляхом побудови годографів повзучості [44];
- 3) вивчення деформованого стану зсувного тіла по годографам повзучості;
- 4) спостереження за зміщенням ґрунту на глибині та визначення положення поверхні ковзання;
- 5) зйомка зсувних тріщин і спостереження за ходом їх розвитку;
- 6) аналіз деформації інженерних споруд на схилах.

Геодезичні спостереження за рухом знаків, розташованих на поверхні зсувів, – досить трудомісткий процес. Цим і можна пояснити відсутність вичерпних даних про рух будь-якого зсуву, хоча і не було нестачі в постановці таких робіт. Таке становище викликане недостатньою увагою до методики, організації та ведення спостережень.

Результати грубих спостережень за рухом зсувів містяться в багатьох звітах про катастрофічні зсуви, однак сенс спостережень полягає тільки в ілюстрації звітів; основна увага тут приділяється кінцевому результату, величині загального зсуву.

За останній час результати подібних спостережень набувають трохи більше значення, ніж проста ілюстрація звітів. В районах деяких великих зсувів стали встановлювати спеціальні репери, за допомогою яких з тією або іншою точністю й регулярністю ведуться спостереження за зміщенням зсувних точок.

Спостереження показали, що катастрофічні зсуви ніколи не відбуваються раптово; їм передує стадія незначних, наростаючих із часом швидкостей зсуву, що представляють собою явище глибинної повзучості схилів. Встановлено, що більшість зсувів володіє постійним, хоча і нерівномірним рухом. Періоди великої активізації зсувної діяльності, коли зміщення вимірюються метрами і десятками метрів на добу і викликають катастрофічні наслідки, змінюються періодами згасання, коли відбуваються непомітні для ока зсуви, які вимірюються сантиметрами на рік.

Вивчення стадії глибинної повзучості схилів часом цікавіше, ніж спостереження за катастрофічною стадією зсуву. Таке дослідження дозволяє раціонально направляти протизсувну діяльність, що є в цій стадії найбільш ефективним. З підвищенням точності робіт виявилось можливим застосувати отримані результати до дослідження внутрішньої механіки зсувів.

### **3.2. Класифікація геодезичних методів спостереження за зміщенням зсувів**

Існує багато методів інструментальних спостережень за зміщенням зсувів, більшість цих методів засновано на застосуванні геодезичних прийомів [45]. Перевага геодезичних методів полягає в можливості отримання величин абсолютних зміщень зсувів.

Геодезичні спостереження ведуться зазвичай за зміщенням обмеженого числа точок, які обираються на поверхні ґрунту; при цьому частина точок розташовується на прилеглих нерухомих ділянках. Точки, за якими ведуться спостереження, закріплюються на місцевості у вигляді постійних знаків. Це зазвичай вкопані в землю дерев'яні, мета-

ліві або бетонні стовпи, на яких є головка з центром, що є власне знаком для спостережень. Іноді в якості знака служать металеві стрижні або розфарбовані візирні мети, що закладаються в стіни будівель і споруд; це марки.

Геодезичні знаки в залежності від місця установки поділяються на нерухомі репери і рухливі, або зсувні, точки; перші встановлюють на свідомо нерухомих ділянках, а другі – на поверхні ґрунту [45]. Частина нерухомих реперів служить для установки на них інструменту; такі репери будемо називати опорними. Інші нерухомі репери служать для отримання вихідних напрямків; їх будемо називати орієнтирними пунктами.

Відомі випадки, коли передбачувані нерухомі репери в дійсності переміщалися, що в подальшому знецінювало проведені тривалі роботи. Зсувні точки повинні бути розташовані в місцях, найбільш важливих для аналізу механізму зсуву. Тому при виборі місць установки опорних і зсувних точок необхідно консультуватися з геологом.

Геодезичні методи спостережень за зміщенням зсувів підрозділяються на наступні групи [46]:

1. Осьові (одномірні) методи для визначення зміщення точки по відношенню до заданої лінії або осі.
2. Планові (двомірні) методи для визначення зміщення проекції точки на горизонтальній площині.
3. Висотні методи для визначення тільки вертикальних зміщень точки.
4. Просторові (тривимірні) методи для визначення повного зміщення точки в просторі.

Осьові методи застосовуються в тих випадках, коли напрямок зміщення точки можна встановити швидко і більш-менш точно. Виробляючи періодичні вимірювання по відношенню до цього напрямку, можна отримати горизонтальну величину зміщення точки. Якщо дійсний напрямок руху точки невідомо, то осьові методи дають лише складову цього загального руху.

До осьових методів належать:

- 1) метод відстаней, що полягає у вимірюванні відстаней по прямій лінії між знаками, встановленими вздовж руху зсуву;
- 2) метод створів, що полягає у вимірюванні відхилень (поперечних зсувів) зсувних точок щодо створу, призначеного перпендикулярно до напрямку руху зсуву;



3) метод променів, що полягає у визначенні відхилення зсувній точки зі зміни напрямку променя візування з нерухомого репера на зсувний знак.

Планові методи є більш універсальними, так як вони не пов'язані з необхідністю заздалегідь знати напрямок руху зсуву. У поєднанні з висотними методами вони дають повну картину зміщення зсувних точок в просторі. Це практично найбільш важлива група методів.

До планових методів належать:

1) метод лінійних зарубок, який полягає у вимірюванні відстаней від декількох опорних реперів до даної зсувної точки;

2) метод прямих геодезичних зарубок, який полягає у вимірюванні напрямків, утворених візирними променями з декількох нерухомих точок на дану рухливу;

3) метод зворотних геодезичних зарубок, який полягає у вимірюванні кутів, утворених візирними променями з даної рухомої точки на кілька нерухомих;

4) комбіновані методи, що поєднують вимір напрямків, кутів, відстаней і відхилень від створів;

5) полігонометричний метод, що полягає в послідовному вимірі довжин сторін і утворених ними кутів полігонометричних ходів.

Висотні методи дають можливість визначення вертикальних переміщень зсувних точок; до них відносяться:

1) метод геометричного нівелювання, що полягає в прокладанні нівелірних ходів і визначенні перевищень зсувних точок по відношенню до опорних реперів;

2) метод тригонометричного нівелювання, що полягає у визначенні перевищення зсувних точок по відношенню до опорних реперів шляхом вимірювання вертикальних кутів і відстаней.

До просторових методів відноситься метод наземної стереофотограмметрії, що передбачає фотографування району зсуву й аналіз отриманих фотографій.

### **3.3. Аналіз методів спостереження за рухом зсувних процесів**

Порівняльна характеристика різних методів, що застосовуються для спостережень за рухом зсувів, завжди корисна для того, щоб ви-

конавець міг заздалегідь вибрати найбільш доцільний метод, який передбачає особливості вирішення поставлених завдань і враховує можливості організації робіт у місцевих умовах. Поширення серед фахівців найбільш доцільних методів і правильне їх застосування для вивчення руху зсувів полегшить завдання дослідників.

Нижче приводиться опис і критична оцінка методів спостережень, що застосовуються, в загальному досить відомих [46]. В описі методів і їх оцінці опущено все те, що можна знайти в звичайних посібниках із геодезії та збережені особливості методів, важливі з точки зору їх застосування до вивчення динаміки зсувів.

### **3.3.1. Метод відстаней**

Цей найбільш простий метод полягає в систематичному вимірюванні відстані між нерухожими опорними знаками і рухливими (зсувними) точками [8]. Вимірювання зазвичай виконують сталевую рулеткою довжиною 20 або 50 м. При цьому, якщо міліметрові ділення нанесені тільки на першому дециметрі, то в якості доповнення до рулетки застосовують накладну сталеву лінійку з міліметровими розподілами. Для підвищення точності результатів робіт зазвичай виконують триразові вимірювання відстані з натягом рулетки за допомогою динамометра (силою 10 кгс).

Метод відстаней дає досить точні результати. Доцільно, щоб довжина відрізка прямої між опорною і всіма зсувними точками була менше довжини рулетки; тоді відстань можна виміряти шляхом однієї операції (рис. 3.3, а). Правда, відстань між знаками в принципі може бути значно більше довжини мірного приладу; тоді вимір виконують по тимчасово встановленим проміжним кілкам. У цьому випадку витрата часу велика, але все ж необхідна точність може бути забезпечена. Необхідно прагнути, щоб пряма, що з'єднує опорну та зсувні точки, була близька до напрямку зміщення зсуву. Тоді зміна відстані завжди буде дорівнювати величині зміщення зсувної точки. Метод відстаней особливо зручний для визначення повільних зсувів споруд, розташованих в головній частині зсуву [43].

Видозміна методу відстаней полягає в розбивці прямолінійних ходів уздовж руху зсуву. На кожному ході встановлюють по кілька зсувних точок. Відстані між ними не повинні перевищувати довжини

рулетки. Верховий та низовий знаки встановлюють на нерухомих ділянках, і вони є опорними (рис. 3.3, б). Сума вимірних відстаней між зсувними точками і реперами повинна рівнятися загальній відстані між крайніми опорними знаками. Це дозволяє в кожному циклі вимірювань визначити нев'язку і розподілити її пропорційно між вимірними відстанями. Тут залишається неврахованим тільки зміщення зсувних точок у сторону від прямої, що з'єднає опорні реperi.

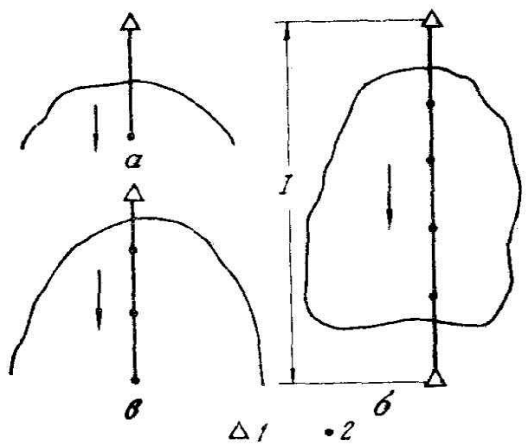


Рис. 3.3. Метод відстаней:

а – один проліт; б – поздовжній створ; в – висячий хід; 1 – опорний репер;  
2 – зсувна точка

Якщо місцеві умови дозволяють встановити тільки один опорний знак або репер у верховій або низовій частини схилу (рис. 3.3, в), то виключається можливість визначення неув'язки ходу і розподілу її між вимірними відстанями, і вся похибка ходу цілком увійде в результат. Це робить такий висячий хід ще менш точним. Точність зсувів може бути підвищена шляхом дво- або триразових вимірювань.

Перевага методу відстаней – його порівняльна простота, потреба в доступних вимірювальних приладах (сталеві рулетка з міліметровими розподілами), нескладна камеральна обробка. Метод відстаней має обмежене застосування, так як він не дає поперечної складової зміщення.

### 3.3.2. Метод створів

Створом, або створною площиною, називається вертикальна площина, що проходить уздовж променю візування, що з'єднає центри репера й орієнтирного пункту. Відхиленням зсувної точки називається горизонтальна відстань між зсувним знаком і створною площиною.

Метод створів полягає в періодичному вимірі відхилень зсувних точок по відношенню до створу, що розташовується перпендикулярно до напрямку руху зсуву. На рис. 3.1, а показано розташування чотирьох створів на земляному потоці, а на рис. 3.1, б – одного створу на обертальному зсуві.

Зазвичай на кожному створі знаходиться кілька зсувних точок і два крайні репера, розташованих на нерухомому ґрунті. Один із цих реперів А, що називається опорним, служить для установки над ним теодоліта, а другий репер В, що називається орієнтирним, служить для орієнтування вихідного напрямку візирного променю з опорної точки А (рис. 3.4).

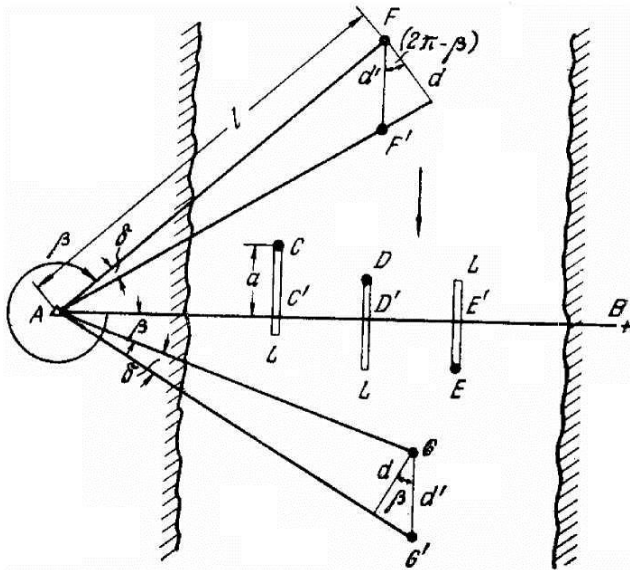


Рис. 3.4. Методи створів і променів  
(стрілка показує напрямок руху земляних мас)

Відхилення зсувних точок  $C, D, E$  щодо створу  $AB$  вимірюють за допомогою лінійок, сталевих рулеток або спеціальних відлікових рейок  $L$ , що укладаються горизонтально і спрямованих перпендикулярно до створу, вздовж руху зсуву. При вимірах початковий кінець цих вимірювальних приладів завжди розташовують на зсувному знаку, а відлік роблять в місці перетину променя візування з вимірювальним приладом (точки  $C', D', E'$ ). Спочатку зсувні знаки (наприклад,  $C$ ) розташовують вище по схилу (по відношенню до створу  $AB$ ) і рейку  $L$  направляють вниз по схилу; відповідно до зміни зсуву знаки наближаються до створу (наприклад, знак  $D$ ), а в подальшому вони переходять на ту частину схилу, яка розташована нижче створу (наприклад, знак  $E$ ); тоді відлікову рейку направляють вгору по схилу.

Перевага методу створів у простоті виконання польових робіт, достатньою їх точності при використанні накладного рівня й створної рейки, в можливості наближеного контролю правильності результатів спостережень у польових умовах і в легкості первинної камеральної обробки отриманих даних.

Недоліки методів створів полягають в наступному: необхідна попередня розбивка створів, перпендикулярних до напрямку руху зсуву і маючих на кінцях взаємно видимі нерухомі точки; потрібні два спостерігача (у інструменту й у створної рейки), спеціальні інструменти (теодоліт із великим збільшенням труби і накладним рівнем, створна рейка); зсувні точки повинні встановлюватися приблизно по одному напрямку; зсувні знаки виходять з ладу після того, як довжина створної рейки виявляється недостатньою; нарешті, виходить тільки одна нормальна до створу складова загального зсуву.

Метод створів слід застосовувати для спостережень за зміщенням земляних потоків. Ці вузькі та довгі смуги ґрунту, який зміщується, зазвичай оконтурюється ясно вираженими бортовими тріщинами, тому вибір нерухомих реперів (опорного й орієнтирного) не представляє труднощів.

### 3.3.3. Метод променів

Променем називається пряма, що з'єднує точку установки інструменту з точкою, на яку проводиться візування, а напрямком називається кут, утворений візирним променем із вихідним напрямком.

Метод променів, як і метод створів, можна застосовувати тільки в тих випадках, коли заздалегідь відома траєкторія або напрямок руху зсуву; він полягає у визначенні кутових зміщень зсувних знаків по відношенню до вихідного орієнтирного напрямку і обчисленні по куту і відстані величини лінійного зміщення зсувного знаку вздовж заданої траєкторії. Метод променів можна застосовувати спільно з методом створів.

На рис. 3.4 показані дві зсувні точки, початкове положення яких позначено буквами  $F$  і  $G$ , а зміщене –  $F'$  і  $G'$ . Нехай  $\beta$  – напрямок променів із опорного репера  $A$  на початкові положення цих точок і  $\delta$  – збільшення напрямків, що відбулися в результаті зсуву точок. Беручи внаслідок малості кутів  $\delta$  тангенси цих кутів рівними дуг, знаходимо, що катети  $d$  малих прямокутних трикутників, утворених у зсувних точках  $F$  і  $G$ , складають  $d=l \delta/\rho$ , а гіпотенузи  $d'$  рівні:

$$d' = \frac{l\delta}{\rho \cos\beta} \quad (3.1)$$

оскільки  $\cos(2\pi-\beta) = \cos\beta$ ;

де  $l$  – відстань між точками  $A$  і  $F$  (або  $G$ );

$\rho$  – кутова міра радіана.

Переваги і недоліки методу променів у загальному такі ж, як і методу створів. Перевага спільного застосування цих методів полягає в можливості подальшого використання тих зсувних знаків, які перемістилися в недоступну для створних спостережень область (точка  $G$ ). Маючи це на увазі, можна розміщувати зсувні знаки так, щоб збільшити загальну тривалість їх використання. Для цього зсувні знаки встановлюють значно вище створу  $AB$  (точка  $F$ ) і спостереження за ними ведуть методом променів. Коли знак у результаті переміщення виявляється в смузі, доступній для спостережень методом створів, тоді починають застосовувати цей метод (точки  $C$ ,  $D$ ,  $E$ ). Коли знак виходить з цієї смуги, спостереження продовжують методом променів (точка  $G$ ). Якщо для спостереження за рухом зсуву застосовується кілька створів (див. рис. 3.1, а), то, застосовуючи поєднання методів, створів і променів, можна стежити за зміщенням знаку на значній ділянці його траєкторії. Це дуже важливо, тому що земляні потоки від-

різняються досить великими загальними переміщеннями і при застосуванні тільки одного методу створів ефективність спостережної мережі невисока.

### 3.3.4. Метод лінійних зарубок

Методи визначення зміщення зсувних точок в горизонтальній площині відрізняються великою різноманітністю. В основі цих методів лежить добре відомий спосіб геодезичних зарубок.

Метод лінійних зарубок полягає в періодичному вимірі відстаней від даної зсувної точки до декількох близько розташованих опорних точок, встановлених на цілком стійких основах (підпірна стінка, підвалина моста, стіна, виступ скелі тощо).

Для контролю та підвищення точності визначення положення зсувної точки прагнуть доводити число виміряних відстаней до трьох або чотирьох.

Вимірювані відстані повинні бути менше довжини сталевієї рулетки (менше 50 м). Для збільшення точності виконують триразовий вимір відстаней стрічкою за допомогою далекоміра; в результаті вимірювання вносять поправку за нахил лінії та температуру. Схема вимірювання показана на рис. 3.5, а.



Рис. 3.5. Методи зарубок:

- а – лінійні зарубки; б – прямі кутові зарубки; в – зворотні кутові зарубки;
- г – комбіновані засічки; 1 – вимірювання відстані; 2 – вимірювання напрямку;
- 3 – вимір кута; 4 – опорний репер; 5 – зсувна точка; 6 – орієнтирний пункт

Перевага методу лінійних зарубок в порівняльній простоті й достатній точності визначення зміщення зсувних точок. Недолік цього

методу в необхідності мати цілком нерухомі опорні точки в безпосередній близькості до зсувних точок. Метод лінійних зарубок рекомендується застосовувати в тих випадках, коли поблизу зсуву можна встановити опорні пункти і вимірювати відстані, що не перевищують довжини наявної сталеві рулетки [47].

В останні роки в практику геодезичних робіт входять світлодальноміри різних типів, що дають можливість точного вимірювання відстаней. Ці прилади складні і вимагають спеціального обслуговування. Світлодальномірні вимірювання можуть застосовуватися самостійно в методі лінійних зарубок; проте доцільніше їх комбінування з кутовими вимірюваннями, так як при цьому з кожної опорної точки може бути отримано два взаємно перпендикулярних вимірювання (уздовж і поперек променю).

### **3.3.5. Метод прямих кутових зарубок**

Метод прямих зарубок полягає у вимірюванні кутових зміщень променів при візуванні з декількох нерухомих опорних реперів на дану зсувну точку. При цьому інструмент кожного разу встановлюють на опорні реperi, розташовані поза зсуву. На кожній опорній точці вибирають вихідний орієнтирний напрямок, від якого вимірюють напрулення на всі зсувні точки, за якими ведеться спостереження; при великому числі візирних променів із даної опорної точки їх розбивають на групи по 4-5 напрямків.

Схема вимірювань показана на рис. 3.5, б. Так як на зсуві спостерігається досить багато зсувних точок, то практично з кожного опорного репера вимірюють багато напрямків, що призводить до зменшення кількості опорних станцій.

Переваги методу прямих зарубок:

- 1) можна доцільно розмішувати зсувні знаки і, отже, вибирати для них найбільш цікаві для розуміння механізму зсуву пункти;
- 2) вимірювання виконує один виконавець без помічника;
- 3) користуються звичайними оптичними теодолітами без накладного рівня;
- 4) потрібно значно менше опорних станцій;
- 5) використовують велику кількість напрямків при візуванні на зсувні точки;



б) використовують на місцевості гребні біля бортів зсуву і алювіальні тераси для закріплення опорних точок;

7) більша ефективність робіт, так як кожні два напрямки дають одну зарубку;

8) порівняльна нескладність камеральної обробки матеріалу, особливо при користуванні оптичними теодолітами з градовими діленнями і застосування номограм;

9) полегшується робота і підвищується точність спостережень, чому сприяють стійкість ґрунту, доступність у будь-який період року, менша засніженість взимку і сухість навесні.

Недоліки методу прямих зарубок:

1) неможливо вести роботи в лісистих чи забудованих районах у зв'язку з відсутністю видимості на великі відстані;

2) неможливий польовий контроль зсувів;

3) дещо ускладнюється камеральна обробка матеріалу, особливо при користуванні аналітичними методами;

4) порівняно великий інтервал часу між виміром напрямків на одні й ті ж зсувні точки, з різних опорних точок; цей недолік позначається при застосуванні методу на зсувах, які швидко зміщуються. Протягом зазначеного інтервалу часу зсувна точка може зміститися; виникає при цьому похибка можна зменшити застосування спеціальних методів камеральної обробки.

Метод прямих зарубок рекомендується застосовувати на середніх і великих незабудованих і безлісних зсувах, розташованих в пониженнях рельєфу і оточених міжзсувними гребнями. На останніх зручно розташовувати опорні репери.

### **3.3.6. Методи зворотних кутових зарубок**

Метод зворотних зарубок полягає в періодичному вимірі кутових зміщень візирних променів із даної зсувної точки на кілька віялом розташованих опорних реперів. Інструмент при цьому завжди встановлюють на зсувних знаках.

Положення зсувної точки найпростіше визначають в результаті рішення задачі Потенота, що вимагає, щоб зсувна точка не розташовувалася на колі, що проходить через три опорні точки, і щоб візирні промені утворювали кути тупі або близькі до прямих.

На кожній зсувній точці вимірюють кілька кутів, утворених променями з цієї точки на нерухомі репери. Схема вимірювань показана на рис. 3.5, в.

До переваг методу зворотних зарубок відносяться:

- 1) доцільне розміщення зсувних точок;
- 2) потреба в одному геодезисті;
- 3) можливість застосування звичайних оптичних теодолітів і використання недоступних, раніше визначених опорних точок в якості знаків;
- 4) одночасно вимірюють кути, утворені візирними променями на нерухомі знаки, внаслідок чого зміщення зсувної точки під час спостереження не має практичного значення.

Недоліки методу зворотних зарубок:

- 1) неможливість застосування в забудованих районах;
- 2) неможливість польового контролю зсувів;
- 3) потрібна велика кількість станцій на всіх зсувних точках для спостереження невеликого числа опорних точок;
- 4) менша ефективність робіт, так як для кожної зарубки потрібно три променя;
- 5) деяка складність камеральної обробки матеріалу, особливо при використанні аналітичних методів;
- 6) зменшується точність спостережень внаслідок установки інструменту на нестійкому зсувному ґрунті, засніженому взимку, розріженому навесні та розм'якшеному після дощу.

Метод зворотних зарубок рекомендується застосовувати в пересіченій місцевості на середніх і великих незабудованих і безлісних зсувах, позбавлених оточуючих виступів і відкритих в бік широкої долини, на протилежному схилі якої можуть бути недоступні або далеко розташовані опорні знаки; вони дозволяють зручно проводити зворотні зарубки зсувних точок.

### **3.3.7. Метод комбінованих зарубок**

Цей метод дає можливість використання різних елементів описаних раніше методів відповідно до місцевих умов.

Метод комбінованих зарубок дозволяє вести спостереження за зміщенням зсувних точок за результатами будь-якої комбінації вимірювань всіх чотирьох елементів – відстаней, відхилень, напрямків і

кутів. Так як число можливих комбінацій велике, то обмежимося лише кількома схемами спостережень. Вибір схеми, яка дозволила б найбільш ефективно розмістити зсувні точки і вибрати найкращі методи спостережень, залежить від мистецтва дослідників.

Дуже зручна комбінація прямих і зворотних зарубок. На рис. 3.5, г показаний випадок, коли на зсувну точку визначають напрямки з трьох нерухомих реперів, а з неї три незалежних кута, отриманих візирними променями на три нерухомих репера. Значення цього комбінованого способу буде зростати у зв'язку з розробленим останнім часом методом вивчення деформованого стану зсувних тіл по годографу повзучості, оскільки застосування цього методу пов'язане з установкою теодоліта на зсувних реперах і тому попутно може робитися додатковий вимір кількох кутів на опорні точки.

Можлива така схема спостережень, при якій методом геодезичних зарубок (прямих і зворотних) визначають зміщення невеликого числа зсувних точок, а між ними прокладають створи. Тоді абсолютне зміщення зсувних точок, що знаходяться в середній частині створів, буде дорівнювати геометричній сумі зміщень цих точок щодо кінців створу і абсолютних зміщень кінців самого створу.

Комбінованим є двохстворний метод, що полягає в розбивці двох серій створів, одна з яких спрямована нормально напрямку руху зсуву (поперечні створи), а друга – вздовж нього (поздовжні створи). Двохстворний метод можна застосовувати в тих випадках, коли розміри зсуву невеликі й він добре оглядається з усіх боків. До зсувів, що підминаються, широкими річками або морем, двохстворний метод непридатний внаслідок неможливості отримання відповідних; орієнтирних пунктів по створах, спрямованим вниз по схилу. Польові та камеральні роботи при двохстворному методі значно спрощуються, особливо при застосуванні диференціального графічного методу.

Великою гнучкістю володіє створно кутомірний метод, що полягає в розбивці основних створів поперек руху зсуву (див. рис. 3.1, б) і в виконанні двох видів спостережень: а) вимір відхилень зсувних точок (наприклад, № 19) щодо створу 1-5 і б) вимір напрямків із сусідніх опорних реперів (наприклад, № 2) на зсувні точки даного створу.

Широко поширена комбінація методів створів і відстаней (див. рис. 3.4); при цьому ординати визначають методом створів, як описано вище, а абсциси  $AC'$ ,  $C'D'$ ,  $D'E'$  і  $E'B'$  – методом відстаней, що дозволяє знайти обидві компоненти зміщення.

Дуже перспективна комбінація зарубок і описаного нижче полігонометричного методу. Методом зарубок визначається положення кількох зсувних точок, а між ними прокладаються полігонометричні ходи. Цей метод рекомендується на забудованих і лісистих зсувних схилах [48].

### 3.3.8. Полігонометричний метод

Цей класичний метод полягає в прокладанні теодолітних ходів між нерухомими реперами  $A$  і  $B$  з відомими координатами, з включенням у них в якості проміжних пунктів зсувних знаків  $2, 3, \dots, n$  і у вимірі між ними довжини  $S_i$  прямих ліній і горизонтальних кутів  $\beta_i$  (рис. 3.6). При цьому кути вимірюють оптичним теодолітом, а відстані – штриховою стрічкою з постійним натягом. Кути і сторони вимірюють повторно через певні проміжки часу. Обробку результатів визначень здійснюють відомими в геодезії методами. Величину зміщення зсувних точок обчислюють за різницею координат.

Перевага полігонометричного методу в порівнянні зі створним методом у можливості прокладання ламаних ходів у тих випадках, коли місцеві умови не дозволяють розбивати звичайні створи. Перевага цього методу в порівнянні з методом зарубок у відносній простоті камеральної обробки результатів спостережень.

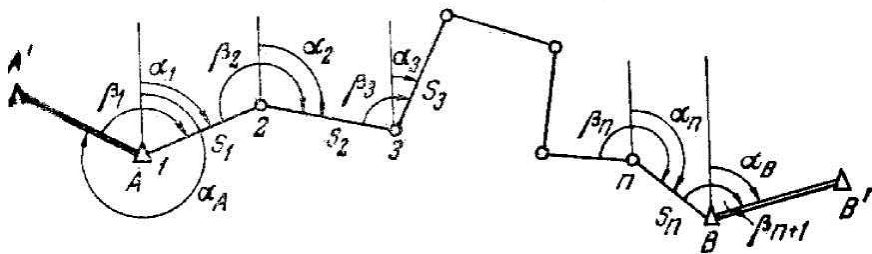


Рис. 3.6. Полігонометричний хід

Недоліки полігонометричного способу:

1) трудомісткість його в польових умовах і послідовне накопичення похибок від вимірювання кутів і горизонтальних відстаней при довгих схилах, особливо, коли є складний зсувний рельєф місцевості (горби, тріщини, стінки відриву, вали тощо);

2) ускладнення польових робіт, що викликається безпосереднім виміром лінії.

До полігонометричного методу доводиться вдаватися головним чином на довгих і широких зсувних схилах, сильно забудованих або лісистих і звернених до моря, на яких на значних відстанях відсутні нерухомі ділянки і немає видимості на віддалені тверді точки.

### **3.3.9. Метод геометричного нівелювання**

Метод геометричного нівелювання для робіт на зсувах полягає у визначенні перевищень зсувних точок по відношенню до опорних реперів. Відповідно до наявності геодезичних інструментів і поставлених завдань можуть застосовуватися методи нівелювання II, III або IV класів. Нівелювання II класу застосовується головним чином для визначення відміток опорних реперів або при прокладанні контрольних ходів. Висотне положення зсувних точок визначають за робочими ходами, які прокладаються методом нівелювання III класу. Нівелювання IV класу для робіт на зсувах застосовується рідко, при відсутності інструменту для нівелювання III класу. Всі перераховані види нівелювання виконують відповідно до інструкції [49].

Перевага методу геометричного нівелювання в достатній точності, яка може бути використана для коригування результатів спостережень за горизонтальним зміщеннями, а також для швидкого встановлення факту усунення.

Недоліки методу геометричного нівелювання:

1) трудомісткість при значних перевищеннях і швидке накопичення похибок при нівелюванні великої кількості зсувних точок, розташованих на косогорах; однак при введенні робочих і контрольних ходів вплив цього фактора значно знижується;

2) необхідність влаштування станцій на зсувному ґрунті і внаслідок цього ускладнення застосування у вологі періоди року.

### **3.3.10. Метод тригонометричного нівелювання**

Метод тригонометричного нівелювання полягає в періодичному визначенні перевищення зсувних точок по відношенню до опорних пунктів шляхом вимірювання вертикальних кутів і відстаней.

Переваги методу тригонометричного нівелювання:

1) значне скорочення і спрощення польових робіт, особливо якщо горизонтальні зміщення визначають методом прямих і зворотних зарубок оптичним теодолітом; тоді спостереження за вертикальними зміщеннями можна робити одночасно, що дуже важливо в активні періоди;

2) можливість широкого застосування його в будь-який час року і, зокрема, у вологі періоди, коли зсув мало доступний для геометричного нівелювання.

Дослідження цього методу зарубіжними вченими (П. Марчак, Чехословаччина; Т. Лазаріні, Польща; Г. Мільов, Болгарія) підтвердили його достатню точність, яка не поступається геометричному нівелювання, якщо спостереження виконувати двома горизонтами в прямому і зворотному напрямках в періоди, коли рефракція невелика. Метод багаторазових вертикальних зарубок дозволяє істотно зменшити похибку визначення вертикальних зміщень і тим самим зробити цей метод еквівалентним методом геометричного нівелювання.

### **3.3.11. Метод наземної стереофотограмметрії**

Цей метод полягає в періодичному фотографуванні зсуву фото-теодоліта. Обробку отриманих фотознімків виконують за допомогою стереокомпаратора (по контрольних точках) або стереоавтографа (шляхом графічної трансформації).

Переваги методу наземної стереофотограмметрії:

1) можливість отримання загальної картини зміщення частини або всього зсуву по значно більшій кількості зсувних пунктів, ніж при інших методах;

2) велике полегшення при проведенні польових робіт;

3) точна об'єктивна документації польових спостережень і широке поле для механізації спостережень та їх почастишення, аж до кінематографування (методом лупи часу).

В методологічно близькій області соціологічних досліджень вказується, крім того, можливість вивчення швидкостей зсуву й їх незалежність від заздалегідь обраних точок або створів. Мабуть, головний недолік цього методу в тому, що він застосовується тільки у відкритій місцевості, у високій вартості та труднощі отримання апаратури для польових робіт (фототеодоліт) і для камеральної обробки фотознімків

(стереокомпаратор або стереоавтографа) і в порівняно невисокій точності цих робіт.

Стереофотограмметричний метод досить перспективний, але ще практично недостатньо розроблений для вивчення динаміки схилів; внаслідок його відносно невисокій точності він поки ще мало застосовується для визначення зміщення точок на зсув. Можна вважати, що в майбутньому цей метод стане основним при дослідженні зсувів, коли буде досягнута необхідна точність результатів.

### **3.4. Польові роботи з визначення горизонтальних зміщень зсувних точок**

Польові роботи по визначенню горизонтальних і вертикальних зміщень зсувних знаків складаються з кутових (визначення напрямків, кутів і нахилів) та лінійних вимірювань (визначення відстаней, відхилень і перевищень) [46]. Особливе значення має ретельність виконання польових робіт, так як на відміну від камеральних робіт, в разі допущеної похибки, результати вимірювання величин, що змінюються з часом, відновити неможливо.

#### **3.4.1. Вимірювання напрямків**

Для кожного опорного репера заздалегідь складають список зсувних і опорних пунктів, які будуть з нього спостерігатися. Якщо число таких пунктів не перевищує 6-8, то їх можна спостерігати в одній групі спостережень. Якщо ж число пунктів більше, то їх розбивають на декілька груп із таким розрахунком, щоб у кожній з них спостерігалось по 6-8 знаків. В цьому випадку потрібно прагнути до того, щоб в кожній групі, крім направлення на вихідний орієнтирний пункт, було мінімум по одному контрольному напрямку на інший опорний пункт. Тоді при складанні контрольних трикутників, потрібних для визначення кутових похибок спостережень, можна врахувати дійсну точність робіт по всіх групах напрямків.

Кожен пучок променів починається з вимірювання напрямку на вихідний орієнтирний пункт; потім з нього послідовно візують на всі опорні та зсувні точки, за якими ведеться спостереження, в порядку зростання напрямків і, нарешті, пучок закінчується повторним спосте-

реженням орієнтирного пункту. Контролем правильності спостережень при цьому служить збіг або близькість відліків на цей орієнтирний пункт.

При вимірах за способом кругових прийомів потрібно застосовувати установку рівня, яка відрізняється від застосовуваної в звичайних геодезичних інструментах. Застосовуючи цей спосіб установки, мають на меті – зменшити по можливості дії з установочними гвинтами рівня, що знаходиться на алідаді теодоліта. Для цього закріпний гвинт алідади відпускають і зорову трубу теодоліта встановлюють за направленням двох підйомних гвинтів, за допомогою яких пухирець рівня приводять на середину. Потім алідаду повертають на  $90^\circ$  і за допомогою третього піднімального гвинта бульбашка знову приводять на середину. Далі, продовжуючи обертати прилад в тому ж напрямку, повертають його ще на  $90^\circ$  і знову перевіряють положення бульбашки. Якщо при цьому пухирець не встановлюється на середині рівня, то це свідчить про непаралельність горизонтальної вісі рівня і площини лімба. Тоді виправляють половину значення похибки за допомогою підйомних гвинтів і помічають положення бульбашки. Потім інструмент ще раз повертають на  $90^\circ$  і, діючи третім підйомним гвинтом, досягають такого ж зміщеного положення бульбашки, як і раніше. Після цього необхідно повернутися до оптичного схилу і перевірити центрування теодоліта, так як в результаті перерахованих дій з підйомними гвинтами вертикальна вісь теодоліта могла змінити своє становище.

Потім остаточно встановлюють рівень, домагаючись шляхом багаторазового встановлення його у напрямку двох підйомних гвинтів і поперек цього напрямку такого стану, при якому бульбашка займала б незмінне, хоча і неправильне положення по відношенню до середини рівня. Тоді після цього можна привести пляшечку на середину рівня, користуючись спеціальною шпилькою, яка додається до теодоліта. При такому методі перевірки рівня значно зменшуються операції з виправними гвинтами. Потім перевіряють рівень при вертикальному колі.

На кожній станції спочатку вимірюють всі напрямки і кути, а потім нахилення. Це розділення необхідне для того, щоб по можливості не порушувати установку теодоліта.

Кутові вимірювання необхідно виконувати з великою ретельністю. Важливим джерелом похибок при цьому може бути вплив зазору



між сполученими деталями, які беруть участь при обертанні теодоліта навколо вертикальної осі, що дає деяку свободу ходу. Для усунення цього необхідно до вимірювань по горизонтальному колу не менш десяти разів повернути алідаду в напрямку передбачуваного ходу кутівих вимірів і тільки після цього робити самі вимірювання. Якщо алідада при візуванні випадково переходить призначене їй становище, то ні в якому разі не можна її повертати назад, а слід продовжити обертання, пройшовши повне коло, і тільки таким чином знову підійти до потрібного напрямку. Недотримання цього правила навіть в кращих оптичних теодолітах може привести до похибки до 2". При вимірюванні напрямків і кутів труба теодоліта може довільно обертатися навколо своєї горизонтальної осі.

Напрямки і кути вимірюють двома повними круговими прийомами; в кожному з них алідаду обертають тільки в одному напрямку. Прийом складається з двох напівприймів у залежності від положення труби.

Прийом I. Алідада обертається за годинниковою стрілкою; труба теодоліта знаходиться в положенні I. Потім трубу переводять через зеніт (положення II), знову візують на вихідний орієнтирний пункт і послідовно спостерігають всі знаки, обертаючи алідаду в тому ж напрямку,

Прийом II. Алідада обертається проти годинникової стрілки, зорова труба знаходиться в положенні I, потім в положенні II.

### 3.4.2. Вимірювання кутів

Величини кутів на зсувних точках можна обчислювати як різниці напрямків за результатами однієї серії спостережень, виконаної способом кругових прийомів. Це не кращий спосіб.

Розглянемо схему, показану на аркуші альбому (рис. 3.7), і запропонуємо, що зі зсувної точки № 72 видимі всі опорні репери № 1, 2, 3 і 4.

За способом кругових прийомів інструмент встановлюють на точці № 72; напрямком на одну з опорних точок (наприклад, № 1) приймають за вихідне ( $\beta_i=0$ ) і вимірюють напрямки на інші три опорні точки (№ 2, 3 і 4). Потім обчислюють кути при зсувній точці:  $\gamma_{1-2}=\beta_2 - \beta_1=\beta_2$ ;  $\gamma_{1-3}=\beta_3 - \beta_1=\beta_3$ ;  $\gamma_{1-4}=\beta_4 - \beta_1=\beta_4$ ;  $\gamma_{2-3}=\beta_3 - \beta_2$ ;  $\gamma_{2-4}=\beta_4 - \beta_2$ ;  $\gamma_{3-4}=\beta_4 - \beta_3$ .

Висока ефективність такої методики тільки здається. З отриманих шести кутів насправді незалежні тільки три (наприклад,  $\gamma_{1-2}$ ,  $\gamma_{1-3}$  і  $\gamma_{2-4}$ ), інші три кути залежні. При обробці даних ці залежні значення кутів призводять до ліній положень, які проходять через точки перетину лінії положення незалежних кутів, отримують потрібні точки перетину.

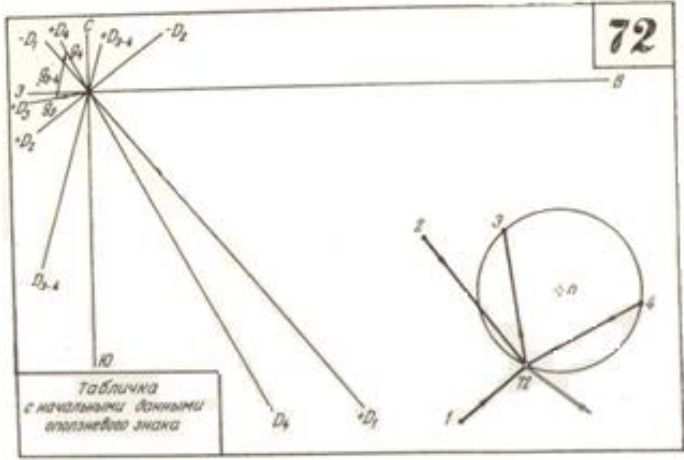


Рис. 3.7. Лицева сторона аркуша альбому спостережень [46]: (зправа знизу – схема візирних променів; подвійна стрілка по ньому – загальний напрям руху зсуву)

Спосіб вимірювання окремих кутів у всіх комбінаціях хоча і пов'язаний з деяким збільшенням польових робіт, проте він сприяє суттєвому підвищенню ефективності. Він полягає в безпосередньому вимірюванні всіх кутів при точці.

При цьому спочатку роблять такі ж вимірювання, як і при способі кругових прийомів, вимірюють напрямки  $\beta_1 = 0, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ ; результати цих вимірювань розглядають як кути:  $\gamma_{1-2} = \beta_2 - \beta_1 = \beta_2$ ;  $\gamma_{1-3} = \beta_3 - \beta_1 = \beta_3$ ;  $\gamma_{1-4} = \beta_4 - \beta_1 = \beta_4$ .

Потім інструмент направляють на наступну опорну точку (наприклад, №2) і, приймаючи напрямок на неї за вихідне ( $\beta_2' = 0$ ), вимірюють напрямки  $\beta_i'$  на інші дві опорні точки (№3 і №4). Величини ку-

тів у другій серії складають  $\gamma_{2-3} = \beta_3' - \beta_2' = \beta_3''$ ;  $\gamma_{2-4} = \beta_4' - \beta_2' = \beta_4''$ . Нарешті, в третій серії інструмент направляють на точку № 3 ( $\beta_2'' = 0$ ), тим же шляхом вимірюють кут  $\gamma_{3-4} = \beta_4'' - \beta_3'' = \beta_4''$ .

В результаті виходить шість незалежних кутів.

### 3.4.3. Вимірювання нахилів

Закінчивши горизонтальні кутові вимірювання на опорній точці, переходять до вертикальних кутових вимірюваннях. Тут також необхідно усунути зазор між сполученими деталями, які беруть участь в обертанні труби теодоліта навколо її горизонтальної осі і дають трубі деяку свободу ходу. Тому перед виміром труба повинна бути повернута навколо горизонтальної осі не менше десяти разів в напрямку передбачуваного ходу кутових вимірів, і при випадковому переході через призначене положення її слід продовжувати обертати в тому ж напрямку.

В якості вихідного орієнтирного пункту для вимірювання нахилів доцільно приймати той опорний пункт, який за умовами рефракції ближче до спостережуваних зсувних пунктів.

Вертикальні кутові вимірювання також виконують двома повними круговими прийомами, кожен з яких складається з двох напівприймів.

Приєм I. Труба обертається за годинниковою стрілкою, якщо дивитися на неї з боку нахиляється дзеркала для освітлення кіл. Спочатку вимірюється найбільш високо розташована точка, і в подальшому труба поступово опускається і послідовно вимірюються все більш низько розташовані точки; при цьому аліада може довільно обертатися в будь-якому напрямку. Після закінчення цього напівприйому труба продовжує обертатися в тому ж напрямку, переходить через зеніт знизу, і в другому напівприйомі вимірювання проводять в зворотному порядку, поступово піднімаючи трубу.

Приєм II. Проводиться десятикратне повертання труби в напрямку, протилежному годинниковій стрілці, якщо дивитися на неї з боку дзеркала для освітлення кіл. Як і раніше вимірювання починають з найбільш високо розташованої точки, і в першому напівприйомі труба поступово опускається, переходить через зеніт знизу; в другому напівприйомі труба поступово піднімається догори і вимір точок проводиться в зворотному порядку.

### 3.4.4. Лінійні вимірювання

Відстані вимірюють сталеву стрічкою, що натягують динамометром; необхідно до і після роботи виконувати компарування стрічки. У виміряні відстані обов'язково вносять поправку за нахил ліній і за температуру.

Величину відхилень зсувних точок визначають з тією ж станцією інструменту на опорній точці, що і визначення напрямку. Так як і орієнтирний пункт для таких опорних реперів буває загальним для обох видів робіт, то по суті визначення відхилень слід розглядати як окрему групу вимірювань.

За методом створів вимірюють відхилення зсувної точки  $C$  від деякої створної площини (див. рис 3.4); необхідно, щоб була можливість кожен раз відновлювати створний напрямок  $AB$  і проходить через неї вертикальну площину і точно вимірювати горизонтальну відстань між цією площиною і зсувним знаком  $C$ .

При фіксуванні прямої  $AB$  виникають похибки центрування теодоліта в опорній точці  $A$ , за редукцію від центрування візирної цілі на орієнтирними пункті  $B$  і при візуванні трубою теодоліта на візирну ціль.

Всі ці три похибки практично малі, особливо при застосуванні сучасних інструментів: оптичний схил теодоліта дозволяє центрувати з точністю до 1 мм; візирна вісь встановлюється на орієнтирному пункті приблизно з такою ж точністю, а похибка візування, що визначається збільшенням труби, не виходить за межі 2".

При переході від прямої  $AB$  до вертикальної створної площини виникає колімаційна похибка  $c$ , вплив неперпендикулярності візирної лінії до горизонтальної вісі обертання труби, і похибка за нахил горизонтальної вісі обертання труби при вертикальності головної вісі обертання теодоліта. При подвійному візуванні з переводом труби через зеніт ці дві похибки повністю виключаються.

Таким чином, всі зазначені похибки або незначні за величиною, або виключаються при подвійному візуванні. Залишається остання і найзначніша – похибка за вплив невертикальною головною (вертикальною) вісі теодоліта. Ця похибка є наслідком негоризонтального лімба теодоліта, викликаного недостатньою точністю рівня, що знаходиться на ньому. При переході труби через зеніт положення вертикальної вісі

теодоліта не змінюється і внаслідок цього похибка залишається. Єдиний спосіб радикального усунення цієї помилки – застосування чутливого рівня, який може накладатися на горизонтальну вісь обертання труби теодоліта. Цим шляхом можна вивірити положення зазначеної вісі і зменшити похибки до величини, яка визначається точністю відліку накладного рівня. Для застосування методу створів необхідні сильне збільшення труби теодоліта, оптичний центрир і чутливий накладний рівень.

### 3.4.5. Створна рейка

Для вимірювань методом створів зазвичай застосовують рулетки, стрічки, рейки тощо, за допомогою яких визначають відстань між зсувним знаком і створною площиною.

Ці вимірювальні пристрої повинні забезпечити: а) належний контакт з головкою знаку; б) горизонтальність під час вимірювань; в) прямолінійність; г) перпендикулярність до створної площині; д) можливість вимірювання зсувів, що досягають 3–4 м; е) точність вимірювання до 1 мм; ж) зручність виконання відліків; з) портативність.

Жодне з названих готових пристроїв задовольняють всім перерахованим вимогам, особливо щодо контакту з головкою знаку і точності відліків.

Для ведення точних вимірювань відхилень існує спеціальний прилад – створна рейка (рис. 3.8). Прилад складається з рознімною градуйованою рейки 10, що представляє собою сталеву трубку довжиною 2 м; опори 5, що складається з полого усіченого конуса 6 з шарнірним з'єднанням 4 на одному кінці рейки і двох ніг 1, закріплених на протилежному кінці рейки за допомогою одного регульовального гвинта 2.

Порожній усічений конус втулки 6 приладу має нижній діаметр 22 мм, верхній діаметр 12 мм і висоту 20 мм. Таким чином, його конічність становить 1:4. Таку ж конічність мають головки 7 знаків (див. рис. 3.8, г). Тому втулка 6 приладу щільно сідає на головку 7 спостережуваного знака, причому з огляду на конічність бічних поверхонь відбувається автоматичне центрування обох деталей.

З опорою приладу з'єднана горизонтальна вісь шарнірного з'єднання 4, яка дозволяє кронштейну 3 з прикріпленою до нього градуйованою рейкою 10 обертатися у вертикальній площині, що проходить уздовж вісі приладу, тобто поперек створної площини.

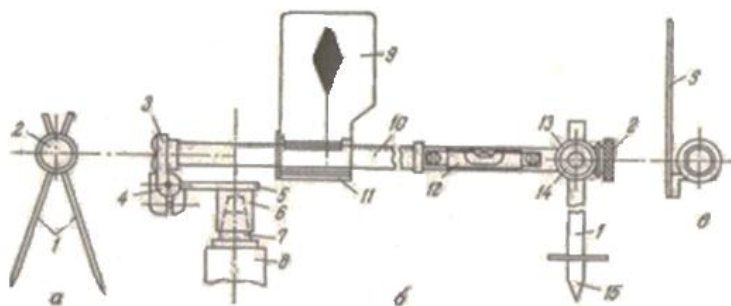


Рис. 3.8. Створна рейка:  
а – вид з торця; б – фасад; в – рухома ціль

На протилежному кінці рейки приладу встановлений циліндричний рівень 12 з ціною ділення 20-30', за допомогою якого прилад може встановлюватися горизонтально. Дві ноги 1 рейки зроблені з алюмінієвих трубок і забезпечені конічними вістрями 15 для утикання в ґрунт. Трубки проходять через латунні обойми 13, прикріплені до приладу за допомогою регулювального гвинта 2. Регулювальний гвинт 2 прилада і два регулюючих гвинта 14 дозволяють розставляти ноги і міцно зміцнювати кінець приладу на будь-якій поверхні ґрунту.

У поперечному перерізі створна рейка приладу являє собою кільце, усічене по хорді. Ця поверхня є направляючою для рухомої візирної цілі 9 для суміщення її зі створною площиною. Візирна ціль укріплена на повзунку 11, який вільно ковзає по рейці 10, але не може обертатися навколо своєї осі. Бічна поверхня рейки має градуйовану шкалу з ціною поділки 1 мм; початок градуювання розташований точно над віссю конічної поверхні втулки; для взяття відліків повзунком 11 має відповідний індекс.

Обертаючи створну рейку навколо осі головки 7 репера, встановлюють її перпендикулярно створу  $AB$  (див. рис. 3.4); обертаючи створну рейку навколо шарніра 4 і діючи за допомогою регулювального гвинта 2, встановлюють рейку горизонтально по рівню 12; обертаючи градуйовану трубку 10 навколо своєї вісі по шарнірному з'єднанню 3, домагаються вертикальності вісі візирної цілі 9. Цим шляхом можна точно виміряти відхилення навіть при нахилі репера в будь-яку сторону.

Візерна ціль представляє собою металевий щиток розміром 100x60 мм, на якому зображений ромб із діагоналями довжиною 90 і 40 мм. На одній стороні щитка є білий ромб на чорному тлі, на іншій стороні, навпаки, чорний ромб на білому тлі; це дозволяє застосовувати належну сторону щитка в залежності від умов освітлення і кольору фону.

У комплект створної рейки входять спеціальні нерухомі цілі для установки їх на орієнтирні пункти. Ці цілі мають таку ж порожню втулку, як і на створній рейці. За допомогою цієї втулки нерухомі цілі щільно закріплюються і автоматично центруються на орієнтирних пунктах.

При вимірюванні відхилень методом створів необхідно виконати наступні операції: 1) встановити теодоліт на опорній точці та процентрувати його; при наявності накладного рівня вивірити положення горизонтальної вісі обертання труби теодоліта; при відсутності такого рівня вивірку теодоліта виконують за допомогою рівня при лімбі; 2) візувати трубою теодоліта на орієнтирний пункт; 3) послідовно встановлювати на зсувних точках, починаючи з найближчого, створну рейку, а при її відсутності – сталеву рулетку. В останньому випадку треба, щоб початковий штрих рулетки знаходився точно над центром зсувного знака, а рулетка була розташована горизонтально і спрямована перпендикулярно до створу, вгору або вниз по схилу.

Геодезист наводить трубу, не змінюючи орієнтування теодоліта. Другий спостерігач встановлює створну рейку на найближчому зсувному знаку і направляє її перпендикулярно до створеної площини. Для зручності установки необхідно заздалегідь вбити в землю в цьому напрямку дерев'яний кілок, на який кожен раз і орієнтується створна рейка. Після вивірки створної рейки у напрямку кілочка і вивірки рівня приладу спостерігач пересуває рухому візерну ціль за вказівками геодезиста, що стоїть у теодоліта, до суміщення вертикальної вісі ромба зі створною площиною. Ці вказівки передаються шляхом сигналізації прапорами: геодезист тримає в кожній руці по прапору (червоному і білому) і, не відриваючи очей від інструменту, піднімає горизонтально ту руку, в сторону якої необхідно пересувати ціль. При поєднанні цілі зі створною площиною геодезист піднімає і іншу руку. Для кращої продуктивності робіт необхідно забезпечувати біноклем спостерігача, що стоїть у створної рейки. Після того як зроблено відлік по створній рейці, візерна ціль зміщується з знайденого положення і

аналогічно встановлюється знову. Якщо відліки відрізняються менш ніж на 4 мм, то в журнал записують середній відлік. Якщо ж відліки відрізняються більш ніж на 4 мм, то вимір має бути повторено. Потім спостерігач переходить до наступного зсувного знаку і так до кінця створу. Далі геодезист, що стоїть у теодоліта, переводить трубу через zenit і вимірювання відхилень виконують у зворотній послідовності.

Середні арифметичні з результатів вимірювань в прямому і зворотному напрямках є кінцевими величинами відхилень зсувних точок.

### **3.4.6. Нахил зсувних знаків**

У процесі зсуву іноді відбувається нахил зсувних знаків як в результаті загальної зміни положення поверхні зсуву, так і при виникненні зсувних тріщин і локальних переміщень ґрунту у знака. Другий випадок більш небезпечний, так як при цьому знак може взагалі вийти з ладу.

Визначення нахилу зсувних знаків слід проводити тільки тоді, коли їх нахил помічається на око. Більш змінюється елемент місцевої деформації ґрунту – величина нахилу, менше змінюється – азимут нахилу.

### **3.4.7. Вимірювання нахилу зсувних знаків**

Зсувні знаки при закладенні в ґрунт слід встановлювати строго вертикально. Іноді в процесі зсувних зміщень відбувається поступовий їх нахил, що виникає внаслідок нерівномірності руху ґрунту в верхніх шарах, зазвичай внаслідок процесу соліфлюкації, що відбувається на схилах. Цей процес носить сезонний характер; він викликається зміною вологості, температури і фазового стану води в ґрунті та стимулюється діяльністю рослин і тварин.

Ґрунтова соліфлюкація проявляється головним чином на глибині близько 2 м від поверхні, таким чином приблизно в тій зоні, в якій розташована база репера.

Викривлення, що вносяться до картини зсуву внаслідок розвитку нахилу зсувних знаків, можуть бути джерелом похибок при аналізі зсуву. Унаслідок значної жорсткості тіла зсувного знака репера в порівнянні з навколишнім його розпушеним зсувним ґрунтом можна знехтувати деформацією самого знака і вважати, що він зберігає свою



прямолінійність. При цьому на деякій глибині утворюється точка, навколо якої відбувається обертання зсувного знаку. Як відомо, в разі палі точка розташована на глибині близько двох третин від глибини забивання палі. Так як зсувні знаки мають внизу розширення у вигляді бетонного черевика або металеві хрестовини, то положення точки обертання розташовується значно нижче. Можна прийняти, що обертання зсувного знаку відбувається навколо нижнього його кінця  $A$  (рис. 3.9, а). Для запобігання впливу місцевих збурень доцільно вважати основною точкою зсувного знаку не головку  $B$ , а точку  $A$ , розташовану на підшві, на глибині близько 2 м.

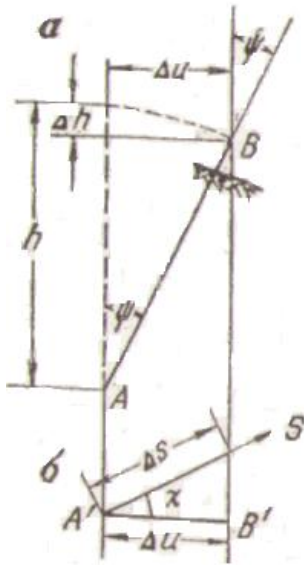


Рис. 3.9. Поправка за нахил репера:  
а – вертикальна площина; б – план

З цією метою в результати спостережень повинна вноситися поправка за нахил зсувного знаку. Якщо позначити через  $\psi$  кут нахилу зсувного знаку і  $h$  – його повну довжину, то поправка за нахил складе  $\Delta i = h \cdot \sin \psi$ , а проекція цієї поправки на напрямок  $S$  зміщення, яку вносять в кінцевий результат спостережень за горизонтальним зміщенням, буде (див. рис. 3.9, а)

$$\Delta S = \frac{h \cdot \sin \psi}{\cos \chi} \quad (3.2)$$

де  $\chi$  – кут, утворений площиною нахилу  $A'B'$  з напрямком зміщення  $S$  зсувної точки.

Поправка до результатів спостережень за вертикальним зміщенням складе (див. рис. 3.9, а)

$$\Delta h = h(1 - \cos \psi) \quad (3.3)$$

Визначення кутів  $\psi$  і  $\chi$  проводиться за допомогою клінометра.

### 3.4.8. Клінометр

Для визначення кута і напрямку нахилу зсувного знаку автор сконструював клінометр, що складається з втулки В, зробленої за типом втулки створної рейки; обойми Л з двох смуг і пластинки і циліндричного рівня У, який вільно обертається в оправі (рис. 3.10). Для вимірювань застосовується гірський компас К.

Вимірювання виконуються наступним чином.

На головку знаку насаджують втулку клінометра (див. рис. 3.10), останній потім обертається навколо вісі кінцевих дотичних поверхонь до тих пір, поки бульбашка рівня не займе середнє положення. При вимірі необхідно стежити за тим, щоб ампула циліндричного вирівнювача була звернена опуклістю догори. Для регулювання цього служить баранчик при рівні, за допомогою якого рівень може повертатися в оправці навколо поздовжньої осі.

Після того як бульбашка рівня займе середнє положення, в куточок обойми Л вставляють гірський компас К, який повинен бути щільно приставлений до обох сторін обойми. Кут нахилу  $\psi$  вимірюють по відліковому пристосуванню (схилу) компаса. Потім клінометр повертають навколо вертикальної вісі на  $180^\circ$  і вимір повторюють. Середнє з отриманих значень кутів нахилу є остаточним результатом вимірювання.

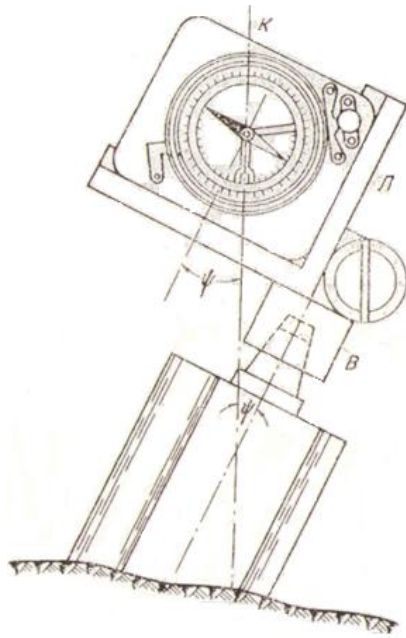


Рис. 3.10. Клінометр

Для визначення азимута напрямку нахилу знаку до площини, утвореної сторонами кута, приставляють одним кінцем дерев'яну лінійку (метр), інший кінець її впирається в землю. Потім, не змінюючи положення лінійки, до неї прикладають компас і вимірюють азимут. Відстань між компасом і репером має бути не менше метра, щоб уникнути девіації компаса (відхилення магнітної вісі стрілки компаса від магнітного меридіана, викликаного присутністю заліза або іншого феромагнітного матеріалу поблизу компаса).

### 3.5. Тривалість спостереження за зсувними процесами

#### 3.5.1. Частота спостережень

Аналізу частоти спостережень було приділено недостатньо уваги. У практиці іноді призначають якусь більш-менш довільну періодичність спостережень, більш пов'язану з виробничими можливостями, ніж із характером зсуву [26, 50].

Природно, що частота спостережень повинна перш за все залежати від швидкості руху зсуву і від точності виконання робіт. Якщо зсув рухається повільно, а спостереження виконують порівняно грубо, то немає великого сенсу в частих спостереженнях. Навпаки, якщо зсув рухається швидко, то навіть при грубих спостереженнях може бути отримана більш-менш вірна картина руху. Те ж саме може статися при повільних зсувах, якщо методи спостережень дозволяють отримувати більш точні дані.

Якщо позначимо середню швидкість руху зсуву через  $v$ , то його зміщення  $s$  протягом інтервалу  $t$ , що відокремлює цикли спостережень, складе  $s=vt$ . Якщо позначимо абсолютну величину похибки спостережень через  $e$  і поставимо умову, щоб відносна похибка спостереження склала  $i$ , %, то, очевидно, вимірювана величина зміщення  $s$  повинна виходити з виразу  $e=si/100$ . З цих двох виразів можна знайти частоту  $\nu$  спостереження:

$$\nu = \frac{1}{t} = \frac{v}{s} = \frac{iv}{100e} \quad (3.4)$$

таким чином частота спостережень прямо пропорційна швидкості  $v$  руху зсуву і обернено пропорційна абсолютній похибці  $e$  визначення зміщення.

Період спостережень, інтервал часу між двома циклами спостережень, становить зворотне величину  $t=100e/iv$ . Так, якщо  $e=7$  мм,  $i=10$  % і  $v = 50$  мм/міс, то  $t = 1,4$  міс = 40 днів.

Частота спостережень повинна змінюватися відповідно до коливань швидкостей зсуву; вона повинна збільшуватися в періоди активізації та зменшуватися в періоди згасання. В особливо активні періоди спостереження повинні значно частішати та іноді повторюватися через кожні кілька днів.

Навіть при самій раціональній та розробленій методиці польових робіт час повного циклу спостережень за горизонтальними і вертикальними зміщеннями на великих зсувах може досягати двох тижнів, враховуючи і неминучі перерви в роботі внаслідок несприятливої погоди.

В умовах, коли тривалість спостережень порівнянна з інтервалом між ними в активні періоди, поняття циклу робіт втрачає сенс і по суті

виконують безперервні спостереження. Внаслідок цього в диференціальному методі поняття «цикл спостережень за рухом зсуву» в деяких випадках має бути замінено поняттям «частота спостережень променів на зсувні точки».

В активні періоди виконують безперервні послідовні спостереження за зміщенням зсувних знаків із усіх опорних точок у горизонтальному і вертикальному напрямках і повторюють такі ж цикли без перерви. У журналах спостережень, крім дати спостережень, відзначають також час переводу труби через зеніт в годинах і хвилинах.

У періоди згасання зсувної тривалості та на зсувах, які повільно рухаються, виконують щомісячні або більш рідкісні цикли спостережень за горизонтальним і вертикальним зміщеннями зсувних точок. У ці періоди записують тільки дату спостережень.

### **3.5.2. Терміни спостереження**

Велике значення має правильний вибір термінів спостережень, дати виконання польових робіт. Ці терміни повинні призначатися відповідно до ходу розвитку зсуву, природного або пов'язаного з виробничою обстановкою.

У багатьох випадках зсуви природних схилів активізуються навесні в результаті сніготанення або дощів. У тропічних і субтропічних районах активізація зсувів зазвичай пов'язана з літніми мусонами. У таких випадках доцільно один цикл спостережень закінчувати до настання вологого періоду, а наступний проводити по закінченні його. Тоді можна легко судити про безпосередній ефект цього явища. Якщо зсуви пов'язані з розмиваючим впливом річки на стійкість берегів або морською абразією, то природно призначати терміни спостережень до і після проходження паводку або штормового періоду. Якщо помічається виконувати порівняно рідкісні спостереження, наприклад один раз на рік, то доцільно призначати їх можливо точно в один і той же час року, наприклад в кінці липня або початку серпня, після закінчення активного періоду. Тоді величина вимірюваного зміщення може розглядатися, як середня річна швидкість зсуву.

Зсуви, пов'язані з технічною діяльністю, зазвичай мають періодичність, що витікає із ходу виконаних змін. Так, наприклад, терміни спостережень за зсувами бортів кар'єрів повинні бути ув'язані з періо-

дами вибухових робіт, так як після проведення серії вибухів часто спостерігається різке збільшення швидкості зсуву земляних мас; в подальшому швидкості зсуву знижуються і рух зсувних мас може стати більш рівномірним. У таких випадках доцільно закінчувати один цикл спостережень до початку вибухових робіт, а наступний – після закінчення часу активних зрушень. На схилах водосховищ, які швидко спрацьовують, зсуви зазвичай відбуваються вчасно, і особливо в кінці швидкого спрацювання; відповідно повинні призначатися терміни спостережень.

Особливе значення мають терміни спостережень при здійсненні обсерваційного методу боротьби зі зсувами [51]. При застосуванні цього методу необхідно паралельно вести спостереження за динамікою схилу для судження про ефективність здійснюваних заходів і для внесення змін до змісту проекту, якщо виявляється їх недостатня ефективність. В цьому випадку необхідно задовго до початку робіт, принаймні за рік, почати систематичні спостереження для встановлення динаміки схилу «до початку боротьби з обвалом», а потім продовжувати їх в процесі робіт для визначення ефективності заходів, що застосовуються. У таких випадках доцільно погоджувати терміни спостережень зі здійснюваними протизсувними заходами з урахуванням неминучого «зсування фаз» між закінченням будівництва будь-якого із запроєктованих споруд і його впливом на стійкість схилу.

### **3.5.3. Момент спостереження в активні періоди**

В активні періоди зсуву необхідно відзначати також час спостережень у годинах і хвилинах. Справа в тому, що в ці періоди швидкість зсувного руху може досягати десятків сантиметрів або навіть метрів на добу. Якщо навіть прийняти для активних періодів значно менші швидкості, то вони все ж будуть вимірюватися кількома сантиметрами на годину.

Крім того, час спостережень на одній опорній точці може скласти 2-3 години. Шлях, який зсувний знак може пройти протягом цього проміжку часу, може виявитися значним. У цих випадках помилка, що відбулась внаслідок неправильного обліку моменту спостережень, у багато разів більше абсолютної похибки спостереження зміщення. Тому точне встановлення моменту спостереження променю на дану зсувну точку має істотне значення.

Позначимо:

$T_1$  – момент початку спостережень на опорній точці (при положенні I);

$T_0$  – момент переведення труби через зеніт;

$T_2$  – момент кінця спостережень на опорній точці (при положенні II);

$T'_i$  – момент спостереження напрямку на зсувній знак  $R_i$  (при положенні I);

$T''_i$  – момент спостереження напрямку на той же знак  $R_i$  (при положенні II);

$n$  – число зсувних знаків, які спостерігаються з даної опорної точки;

$i$  – місце зсувного репера в порядку послідовності схеми спостережень;

$t$  – час, що йде на одне спостереження;

$S$  – з індексом, що вказує момент часу, згідно з наведеним вище позначенням, – горизонтальне положення зсувного знака  $R_i$  в різні моменти часу;

$H$  – з таким же індексом – вертикальне положення зсувного знаку в ті ж моменти часу;

$v_s$  – середня швидкість горизонтального зміщення зсувного знаку;

$v_h$  – середня швидкість вертикального зміщення зсувного знаку.

Результати розрахунку положень зсувного репера містяться в табл. 3.1.

При первинній обробці даних польових робіт обчислюють середнє зі спостережень при обох положеннях труби:

для горизонтальних кутів

$$\frac{S'_i + S''_i}{2} = \frac{S_1 + iv_s t + S_0 + (n-i)v_s t}{2} = S_1 + nv_s t = S_0$$

для вертикальних кутів

$$\frac{H'_i + H''_i}{2} = \frac{H_1 + iv_h t - [H_0 - (n-i)v_h t]}{2} = H_1 + nv_h t = H_0$$

**Співвідношення між моментами часу спостережень і  
положенням зсувних знаків в активні періоди**

Моменти часу спостережень	Положення зсувного знаку		Об'єкт спостережень
	горизонтальне	вертикальне	
$T_1$	$S_1$	$H_1$	Орієнтирний пункт при положенні I
$T'_i = T_1 + it$	$S'_i = S_1 + iv_s t$	$H'_i = H_1 + iv_h t$	Зсувний знак $R_i$ при положенні I
$T_0 = T_1 + nt$	$S'_0 = S_1 + nv_s t$	$H_0 = H_1 + nv_h t$	Орієнтирний пункт при переведенні труби через zenit
$T''_i = T_0 + (n-i)t$	$S''_i = S_0 + (n-i)v_s t$	$H''_i = H_0 - (n-i)v_h t$	Зсувний знак $R_i$ при положенні II
$T_2 = T_0 + nt$	$S_2 = S_0 + nv_s t$	$H_2 = H_1 - nv_h t$	Орієнтирний пункт при положенні II

Положення зсувного знаку в горизонтальному і вертикальному напрямках відповідає моменту часу  $T_0$  переведення труби через zenit незалежно від того, яке місце в схемі спостережень займає зсувний знак  $R_i$ . При цьому приймається, що спостереження вертикальних кутів завжди робляться після (або до) спостережень горизонтальних кутів, що час  $t$ , що йде на одне спостереження, залишається постійним і швидкість руху зсуву протягом спостережень не змінюється. У нормальній обстановці ці умови дотримуються.

Звідси випливає, що в активні періоди зсуву в журналі спостережень необхідно вказувати саме час переведення труби через zenit.



## 4. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОТИЗСУВНИХ ЗАХОДІВ

Комплекс протизсувних заходів повинен забезпечувати заданий коефіцієнт запасу стійкості схилу. Вплив різних чинників на стійкість схилу оцінюють розрахунковими методами. Для розрахунків стійкості укосу насипу разом із утримуючою спорудою можна прийняти модель Г.М. Шахунянца [52], що дозволяє визначати коефіцієнт стійкості як при круглоциліндричній поверхні, так і при будь-якій іншій формі поверхні можливого зсуву.

Комплекс заходів повинен включати влаштування споруд і виконання заходів, найбільш ефективних і економічних при боротьбі з явищами та причинами, що викликають обвал або знижують коефіцієнт запасу стійкості зсувонебезпечних ділянок.

Залежно від причин, що викликають зсувні процеси, передбачають наступні заходи:

- регулювання поверхневого стоку атмосферних опадів;
- дренавання підземних вод;
- захист берегів водотоків (річок) від бічної ерозії;
- захист ґрунтів поверхні схилу від вивітрювання;
- зменшення крутизни схилів і укосів для зміни напруженого стану;
- влаштування утримуючих споруд;
- зміна фізико-механічних властивостей ґрунтів;
- встановлення спеціального режиму в обвальній зоні.

Заходи щодо регулювання поверхневого стоку слід призначати на всіх укосах і зсувонебезпечних ділянках та здійснювати в загальному комплексі заходів щодо забезпечення стійкості земляного полотна.

Поверхневий стік із площі басейну, прилеглого до зсувонебезпечної ділянки, слід перехоплювати вище за зсув влаштуванням нагірних каналів для відведення води, відкритих і закритих лотків. У водопроникних ґрунтах дно і стінки каналів влаштовують з водонепроникного матеріалу.

Пропуск поверхневих вод через зсувонебезпечну ділянку і скидання води безпосередньо на схили не допускаються.

Для перехоплення поверхневого стоку з зсувонебезпечної ділянки і осушення тіла обвалу слід застосовувати лотки з окремих ланок

телескопічної форми із збірного залізобетону, а на нестійких, водонасичених ділянках – осушні канали з ґрунтовими і укріпленими укосами.

Для поліпшення умов стоку води з поверхні зсувонебезпечного схилу здійснюють мікропланування його поверхні.

Заходи щодо дренажу підземних вод призначають для зниження рівня ґрунтових вод і зменшення тиску фільтрації, зменшення дебіту підземних вод, видалення гравітаційної води з зсувонебезпечної ділянки, збору і видалення підземних вод.

За допомогою дренажних заходів неможливо повністю осушити ґрунти на поверхні ковзання, особливо при глибокому її розташуванні, малій потужності підземних потоків, тріщинуватості товщі та жилистому характері ґрунтових вод. Для зсувів зрізу і контактних зсувів загальною стійкістю обвального тіла слід підвищувати зниженням рівня ґрунтових вод і тиску фільтрації. Для поверхневих впливів і обвалів потоків, зміщення яких відбувається у вигляді в'язкої маси, слід прагнути до повного перехоплення ґрунтових вод і осушення тіла зсуву.

На зсувонебезпечних ділянках і схилах підземні води перехоплюють, влаштовуючи дренажі:

– горизонтальні – труби, дренажні прорізи, галереї, свердловини-дрени;

– вертикальні – колодязі і забивні фільтри;

– комбіновані дренажі;

– дренажі пластів і каптаж джерел.

Стійкість укосу насипу разом із утримуючою спорудою визначають згідно з ГБН В.2.3-37641918-558 [53] (додаток 3).

Конструкції протизсувних дренажів слід призначати на основі гідрологічних розрахунків, що визначають положення кривої дисперсії, по якій визначають глибину закладання дренажу, приток води до дренажної системи, здатність дрени до перехоплення води, витрату дренажних вод. Розрахунки проводяться відповідно до додатку 3.

Підземні води доцільно перехоплювати вище за зсувонебезпечну ділянку в незміщеній частині схилу або в голові зсуву на межі між незміщеними породами. При неглибокому заляганні (до 5 м) водотривкого шару застосовують горизонтальні трубчасті дренажі з діаметром труб не менше ніж 15 см.

Для зняття гідростатичного і фільтраційного тиску ґрунтових вод, а також для відведення їх з місць скупчення в тілі зсувонебезпечних ділянок або в укосах глибоких виїмок слід використовувати горизонтальні свердловини-дрени з перфорованих обсадних труб діаметром 5-10 см, що вдавлюються в пробурені горизонтальні або похилі свердловини діаметром 10-15 см в місцях пониження поверхні водотривкого шару. Свердловини-дрени можна поєднувати з вертикальними дренажними колодязями, що дозволить забезпечити відведення води з піщано-глинистих відкладень значної потужності, що містять велику кількість окремих лінзових скупчень підземних вод.

Вертикальний дренаж (дренажні колодязі) застосовують для зняття гідростатичного і фільтраційного тиску декількох водоносних горизонтів, що залягають на глибині 6-8 м і перекритих товщею слабководонепроникних порід. Колодязі з фільтруючою засипкою доцільно застосовувати в ґрунтах з коефіцієнтом фільтрації 0,5-1,0 м/добу і закладати на знижених відмітках підшови водоносних горизонтів, де відбувається скупчення ґрунтових вод.

Для осушення тіла зсуву дренажні прорізи виконують у вигляді траншей, заповнених на всю потужність водовміщуючих порід фільтром з піщано-гравійних матеріалів. Дренажні прорізи застосовують як тимчасовий захід і після зміцнення зсуву замінюють горизонтальним трубчастим дренажем.

На закріплених зсувонебезпечних ділянках і зсувних терасах рекомендується влаштовувати дренажі пластів, що складаються з одношарового або багатшарового водонепроникного дренажного фільтру завтовшки 15-20 см.

Неорганізоване скидання дренажних вод безпосередньо на схили або тераси не допускається.

Для осушення водонасичених поверхневих відкладень невеликої потужності, що залягають в основі насипу, який проектується, необхідно передбачити зрізання нестійкого шару ґрунту, нарізку уступів на поверхні корінних порід і відсипання насипу з дреноуючого матеріалу.

Для осушення водонасичених ґрунтових відкладень значної потужності, що залягають в основі проектованого насипу, слід використовувати кам'яні дренажні контрфорси, заглиблені в корінні породи. При цьому дренажні контрфорси не тільки знижують гідростатичний і фільтраційний тиск, але і підвищують опір зрушенню насипу по корінних породах. Дренажні траншеї влаштовують перпендикулярно осі

насипу шириною від 1,2 м до 1,5 м. Відстань між ними призначають за розрахунком з умови забезпечення стійкості насипу.

Заходи щодо захисту берегів гірських річок від бічної ерозії призначають на зсувонебезпечних ділянках і схилах при розташуванні земляного полотна в нижній частині схилу у разі порушення стійкості через підмив зсувонебезпечної ділянки або завищеної крутизни схилу. Для цього виконують берегозміцнюючі роботи і зводять струмонаправляючі споруди, а на невеликих річках влаштовують донні запруд. Прибережну частину укріплюють збірними бетонними плитами, підпірними стінками. Водяний потік відхиляють влаштуванням бетонних траверс і поперечних напівзапруд.

Берегозміцнюючі роботи слід виконувати до влаштування земляного полотна.

Найбільш поширеними заходами захисту є: посів трав, зелені насадження, заміна ґрунту, захисні покриття, гратчасті конструкції, а для напівскельних ґрунтів – влаштування підпірних стінок.

Баланс ґрунтових мас можна змінювати:

- зрізанням ґрунтових мас в активній частині зсуву і укладанням їх біля підніжжя зсуву або видаленням у відвали;
- розробкою ґрунтів в кар'єрах і укладанням біля підніжжя зсуву в місці очікуваного випирання;
- зменшенням крутизни і терасуванням схилів і укосів;
- видаленням всього нестійкого масиву ґрунту.

Необхідний об'єм зрізаних земляних мас в активній частині зсуву або величину додаткового навантаження зони випору контрфорсом визначають за розрахунком оцінки стійкості згідно з додатком 1.

Ширина терас повинна задовольняти вимогам загальної стійкості зсувонебезпечної ділянки за умов виконання робіт і складати не менше ніж 4-6 м. На бермах влаштовують укріплені канали водовідведення, а в місцях виходу підземних вод - дренажі і каптажі.

Повне видалення зсувної маси доцільне при невеликих об'ємах мас, що зміщуються, і плоскої поверхні ковзання.

Порядок робіт, довжину і глибину підрізування, довжину захваток при траншейних роботах слід призначати з таким розрахунком згідно з ГБН В.2.3-218-548 [54], щоб локальна підсічка не викликала порушення стійкості схилу.

Утримуючі протизсувні споруди найбільш доцільні для зміцнення зсувних ділянок, коли інші заходи не дозволяють досягти необхідного коефіцієнта запасу стійкості. У всіх випадках влаштування утримуючих споруд необхідно суміщати із заходами щодо дренажу підземних вод і осушення тіла зсуву.

До утримуючих протизсувних споруд відносяться споруди і конструкції, що сприймають обвальний тиск ґрунтових мас, що зміщуються, і призначені для підвищення коефіцієнта стійкості зсувонебезпечної ділянки, розташованої вище проекрованої утримуючої споруди.

Конструкцію, розміщення і кількість утримуючих споруд на зсувонебезпечному схилі слід призначати згідно з додатком 2 із врахуванням інженерно-геологічних умов зсувонебезпечної ділянки, результатів розрахунків стійкості схилу і за умов забезпечення необхідного коефіцієнта запасу стійкості схилу.

Протизсувні утримуючі споруди необхідно розраховувати по міцності та деформованості (за першою та другою групою граничних станів) [54].

Розрахункова схема і схема навантаження для утримуючих споруд повинні враховувати [54]:

- умови роботи конструкції в межах товщі обвальних накопичень;
- жорсткість конструктивних елементів і величини зсувів частин конструкції;
- силову дію з верхового боку зсувонебезпечного схилу на ділянці від поверхні схилу до поверхні ковзання у вигляді епюри зсувного тиску;
- умови закладення нижньої частини утримуючої споруди в стійкі породи;
- зусилля від вертикального навантаження, що може сприймати утримуюча споруда.

Підпірні стіни застосовують для утримання невеликих зсувів, коли зсувний тиск перевищує розмір призми зсуву.

Розрахунки стійкості та міцності підпірних стін слід виконувати згідно ДБН В.1.1-24 [55] з урахуванням:

- падіння у бік схилу по площі контакту фундаменту з основою;
- зрушення по розрахунковій лінії ковзання;
- глибинного зрушення нижче за підшову фундаменту.

Протизсувні контрбанкети (контрфорси) застосовують для посилення контрфорсних частин та підвищення загальної стійкості зсувнонебезпечних схилів. Протяжність контрбанкету, розміри і контури його профілю призначають за умов стійкості всього зсувнонебезпечного схилу і самого контрбанкету.

Розрахунками перевіряють:

– загальну стійкість протизсувного контрбанкету разом з схилом згідно з ГБН В.2.3-37641918-558 [53] (додаток 3);

– стійкість тіла і укосів контрбанкету на зрушення по ґрунту основи, по тілу контрбанкету згідно з ГБН В.2.3-37641918-558 [53] (додаток 4, 5).

Протизсувні анкерні конструкції дозволяють:

– підвищувати стійкість підпірних стінок і конструкцій палей шляхом часткового їх розвантаження від зсувного тиску;

– сприймати зсувний тиск самостійно.

Анкерні конструкції доцільні за наявності міцних і стійких корінних порід, розрахунки конструкцій виконуються згідно з додатком 2. Особливо ефективні анкерні конструкції для зміцнення покровних делювіальних або пролювіальних відкладень, що містять понад 30-40 % грубозернистого матеріалу.

Ефективність застосування того або іншого протизсувного заходу залежить від точності врахування геологічних та гідрологічних умов, можливої форми порушення стійкості, природи зсувного процесу і умов роботи схилу.

## **5. ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ ВІД СТИХІЙНИХ ЛИХ ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ У ГІРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ**

### **5.1. Систематизація та аналіз інженерно-технічних заходів захисту від зсувів**

Проблемами прогнозування розвитку зсувних процесів, розрахунку стійкості схилів та вирішенням проблем стабілізації зсувонебезпечних територій займалися багато вчених, серед яких: Л. К. Гінзбург, М. М. Гольдштейн, Є. П. Ємельянова, Г. І. Чорний, І. П. Бойко, Ю. І. Калюх, М. М. Маслов, З. Г. Тер-Мартirosян, В. Г. Шаповал, В. Б. Швець, М. Д. Круцик, К. Д. Джоунс, К. О. Гулакян, Є. Б. Угненко та інші [5, 11, 20, 26].

Проаналізувавши проблему стабілізації зсувонебезпечних територій було розроблено структурну схему існуючих заходів захисту від зсуву, яка наведена на рис. 5.1 [24].

Щоб попередити виникнення зсувних процесів на шляхах сполучення у гірській місцевості, вживають заходи для усунення причин, що їх викликають. Насамперед потрібно усунути шкідливий вплив води на нестійкі маси ґрунту, це потребує відведення поверхневих і підземних вод. Інша група заходів спрямована на утримання зсуву в стані рівноваги, це потребує спорудження підпірних стінок, контрфорсів тощо.

Для організації раціонального відведення поверхневих вод передбачають нагірну каналу над цирком зсуву та систему каналів на поверхні зсуву (рис. 5.2); воду відводять у найближчі водотоки. Поверхню зсуву планують так, щоб уникнути застою води в нерівностях поверхні, в окремих западинах. Дно та стінки каналів мають бути укріпленими, водонепроникними, щоб запобігти проникненню води в ґрунт. Крім цього, до заходів щодо попередження зсувних процесів належать насадження й охорона рослинності, дотримання агротехнічних правил, заборона будівельних робіт, що порушують стійкість схилів.

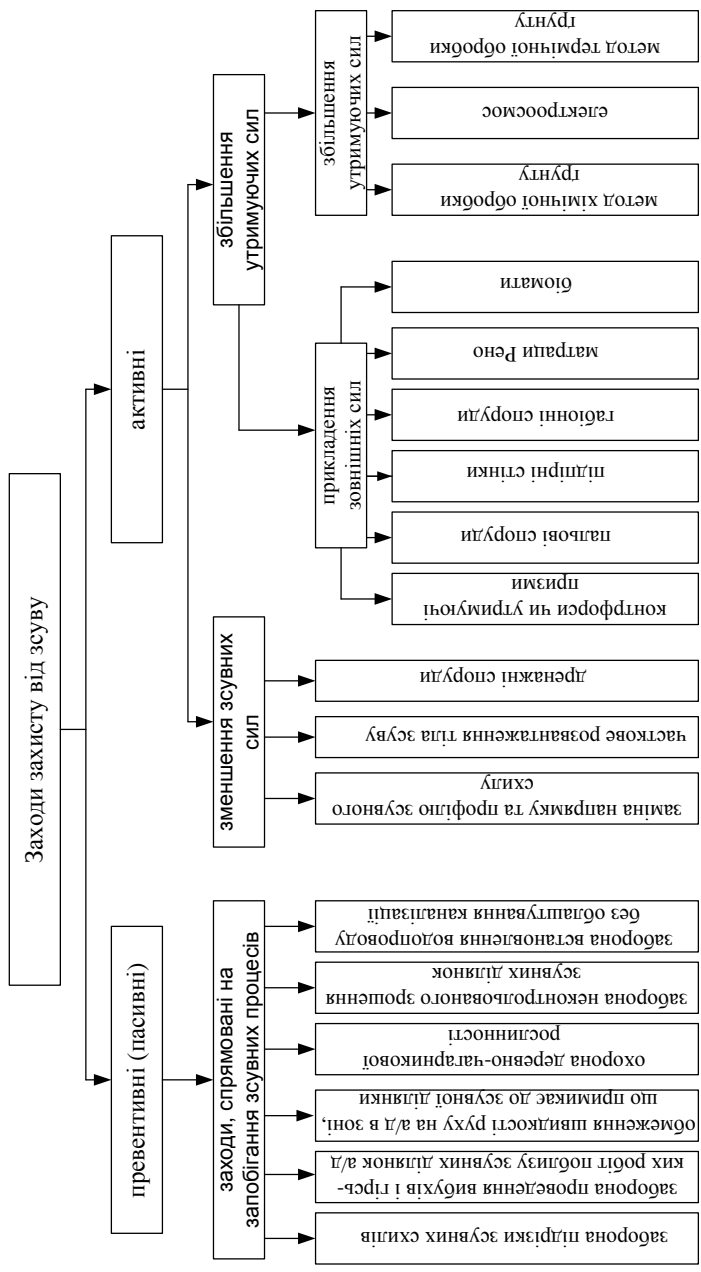


Рис. 5.1. Структурна схема існуючих заходів захисту від зсуву



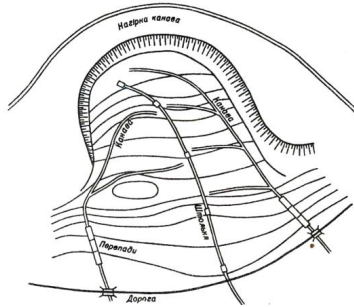


Рис. 5.2. Поверхнєве та підземне відведення води на зсувному схилі

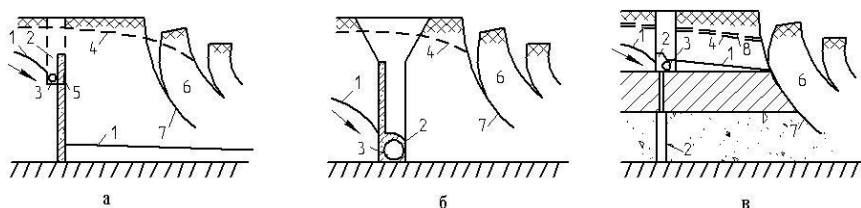
Для відведення ґрунтових вод використовують дренажні споруди. Дренажні протизсувні споруди застосовують із метою зменшення або повного зняття гідростатичного та гідродинамічного тиску на ґрунти зсувних або зсувонебезпечних схилів. Їх використовують і для попередження механічної суфозії на ділянках виходу підземних горизонтів на схил, стабілізації або пониження рівнів ґрунтових вод на контакті з утримуючими спорудами, а також для осушення водонасичених зсувних мас.

За впливом дренажів на ступінь зміни значення коефіцієнта стійкості схилу їх поділяють на основні та допоміжні.

Основні протизсувні дренажі на зсувних і зсувонебезпечних схилах виконують різні функції. На зсувних схилах такі дренажі можуть підвищити ступінь стійкості схилу за рахунок зменшення силової дії фільтраційного потоку на зсувні ґрунти. На зсувонебезпечних схилах основні дренажі стабілізують рівні ґрунтових або міжпластових вод на заданих відмітках, що дає можливість зберегти високу міцність ґрунтів природної вологості, розташованих вище за поверхню депресії, а також забезпечує захист від механічної суфозії, від утворення гідродинамічного прошарку. При правильному виборі, своєчасному влаштуванні та надійній експлуатації дренажів вони можуть попередити виникнення та розвиток суфозійних зсувів, зсувів по гідродинамічному прошарку.

Із всіх видів протизсувних дренажів знайшли широке застосування траншейні горизонтальні трубчасті дренажі. Вони знижують рівні ґрунтових вод, перехоплюють їх і відводять за межі зсувного

схилу. Траншейні горизонтальні трубчасті дренажі (рис. 5.3) застосовують для перехоплення ґрунтових вод, якщо останні залягають не глибше ніж 8 м.



**Рис. 5.3. Горизонтальний трубчастий дренаж для основних споруд:**  
 а – недосконалий із завісою; б – досконалий; в – комбінований; (1 – рівень ґрунтових вод (ГВ), знижений дренажем; 2 – зворотний фільтр; 3 – перфорована труба; 4 – рівень ГВ до влаштування дренажу; 5 – водонепроникна завіса; 6 – зсувні блоки порід; 7 – поверхня ковзання; 8 – п'єзометричний рівень міжпластового водоносного горизонту до влаштування дренажу)

За ознаками гідродинамічної досконалості горизонтальні трубчасті дренажі ділять на досконали та недосконали [39]. Глибина закладання досконалиго дренажу визначається глибиною залягання водоупору. При великих глибинах залягання водоупору застосовують недосконали дренажі. Для зменшення притоку ґрунтових вод до зсувного схилу спільно з таким дренажем використовують слабопроникні завіси. Їх глибину розраховують. Ширину дна траншейних дренажів вибирають залежно від їх глибини, типу фільтру та землерийних механізмів, що застосовують. Для обсіпання дренажних труб використовують не більше двох шарів фільтруючого обсіпання з природних пісків і дрібного щебеню. У даний час частіше, в якості захисних фільтрів, застосовують волокнисті матеріали з мінеральних і полімерних волокон або з волокнисто-пористого поліетилену.

Для трубчастих дрен використовують керамічні, азбоцементні, пластмасові, бетонні або залізобетонні труби. Матеріал труб вибирають залежно від глибини закладання дренажу та агресивності середовища на ділянці його влаштування. Для прийому дренажних вод у трубах влаштовують спеціальні отвори: круглі або щілинні. Розміри отворів приймають залежно від матеріалів фільтру.

Швидкості руху води в дренажних трубах за умов замулювання приймають відповідно не менше ніж 0,35 м/с. Максимальне значення швидкості може досягати 2,5 м/с і в загальному випадку залежить від матеріалу дренажних труб. У місцях зміни напрямку траси, діаметрів труб або їх ухилів приєднують бічні дренажні конструкції, а на прямих ділянках кожні 50 м встановлюють оглядові колодязі. На ділянках із великим перепадом відміток рельєфу для скорочення допустимого ухилу труб влаштовують перепади в оглядових колодязях. Оглядові й перепадні колодязі виконують із збірного, монолітного залізобетону або пластмаси.

Глибина закладання трубчастих дрен визначається потрібним значенням пониження рівня води або ухилу кривої депресії. Початкові ділянки трас дренажу з урахуванням розриву рівня депресивної поверхні в фільтрі закладають нижче за глибину промерзання ґрунту не менше ніж 0,3 м.

Труби досконалого дренажу з фільтром укладають на втрамбований в ґрунт щебінь із товщиною шару від 10 до 15 см.

З метою підвищення ефективності роботи недосконалого горизонтального трубчастого дренажу, що влаштовується для перехоплення вод водоносного горизонту на підході до зсувного схилу, всю водоносну товщу ґрунту перекривають водонепроникною завісою, аж до водоупору.

Для перехоплення та пониження рівня ґрунтових вод, що залягають глибше ніж 8 м відносно поверхні, як основні протизсувні дренажі використовують: променеви́й дренаж, горизонтальні дренажні свердловини, вертикальний дренаж або дренажні штольні (рис. 5.4) [39]. Ці конструкції застосовують для захисту від зсувів у межах високих схилів або в укосах виїмок завглибшки більше ніж 12 м.

Променеви́й дренаж – це система гідротехнічних споруд, що складається з водозбірної колодязя, радіальних горизонтальних трубчастих дрен і наземної будівлі (рис 5.4). Вода з водоносного пласта через горизонтальні свердловини поступає у водозбірний колодязь. Із колодязя вона відкачується насосами або самопливом поступає у водозбірний колектор. Променеви́й дренаж доцільно застосовувати для зниження рівня ґрунтових вод на майданчиках із щільно забудованою територією, насиченою підземними комунікаціями, а також при дренаванні води міжпластових вод із шаруватих неоднорідних ґрунтів. У цих умовах горизонтальні дрени прокладають у більш водопроникних

шарах ґрунтів. Шахту виготовляють із залізобетону круглої форми діаметром від 3 до 6 м. Вона призначена для буріння горизонтальних свердловин і розміщення водопідіймального устаткування.

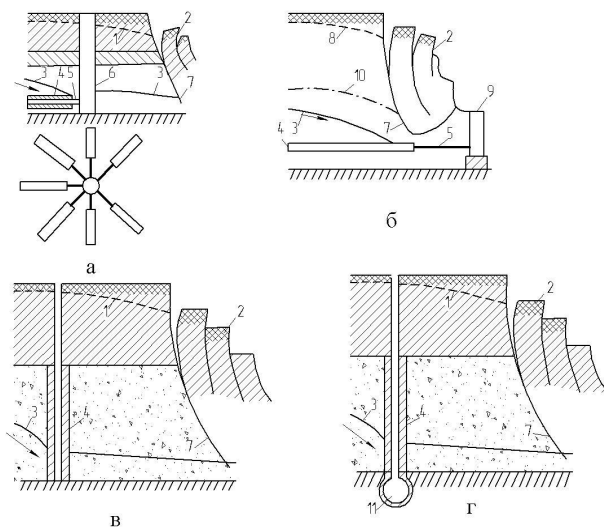


Рис. 5.4. Основні протизсувні дренажні споруди:

а – променевий дренаж; б – горизонтальні дренажні свердловини; в – вертикальний дренаж; г – штольневий дренаж; (1 – п’єзометричний рівень підземних вод до влаштування дренажу; 2 – зсувні блоки порід; 3 – рівень підземних вод, знижений дренажем; 4 – зворотний фільтр; 5 – неперфорована частина труб в горизонтальних дренажних свердловинах; 6 – залізобетонний колодязь; 7 – верхня ковзаня; 8 – рівень ґрунтових вод до влаштування дренажу; 9 – водоприймальний колодязь; 10 – рівень підземних вод між горизонтальними дренажними свердловинами; 11 – штольня)

Горизонтальні свердловини проектують із перфорованих сталевих, пластмасових труб із фільтрами або з трубофільтрів, що встановлюють у водоносному пласті. Горизонтальні свердловини можуть влаштовуватись у нижній частині схилу з виїмки, в яку встановлюють колодязь. У дрібнозернистих ґрунтах використовують гравійно-кожухані або термопластикові трубофільтри. Їх встановлюють в колону обсадних труб після закінчення буріння (продавлювання) свердловини після ретельної її промивки. Протяжність фільтрової колони

складає 80 % довжини променя. Друга частина променя, якщо рахувати від гирла дрени, виконується з суцільних неперфорованих труб. Колону з водоприймальним колодязем сполучають за допомогою опорного патрубка з сальником. Кількість горизонтальних променів, їх довжину та діаметр визначають на підставі гідрогеологічних і техніко-економічних розрахунків. При влаштуванні колодязя опорних патрубків повинно бути у 2-2,5 рази більше кількості запроєктованих горизонтальних променів для заміни під час експлуатації дренажу окремих променів новими.

Вертикальний дренаж проєктують при глибокому заляганні рівнів ґрунтових або міжпластових вод. Основний критерій, що визначає доцільність застосування свердловин вертикального дренажу, – це досягнення потрібного зниження рівня ґрунтових вод до розрахункової глибини або підтримка їх залягання при заданій водопроникності окремих інженерно-геологічних елементів на заданому рівні. При цьому конструкція свердловин, кількість, планове розміщення та відстань між ними повинні забезпечувати роботу дренажу при заданому положенні динамічного рівня ґрунтових вод впродовж розрахункового терміну його експлуатації.

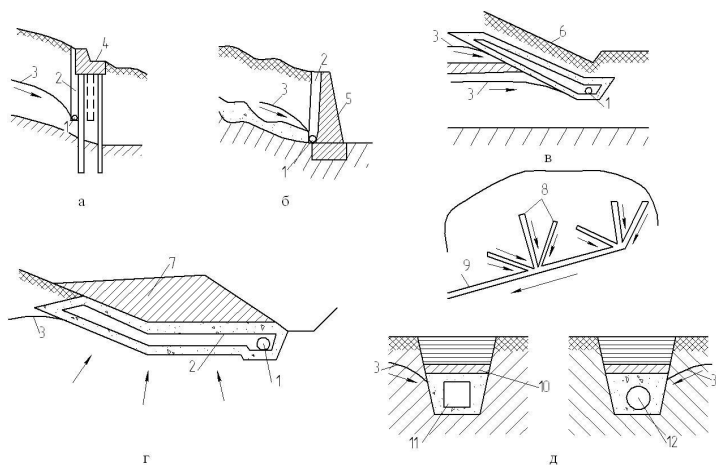
Конструкція свердловини вертикального дренажу залежить від інженерно-геологічних умов, коефіцієнтів фільтрації окремих інженерно-геологічних елементів, умов живлення водоносних горизонтів тощо. Величина зниження рівня ґрунтових вод вертикальним дренажем залежить від способу буріння, глибини, діаметру та довжини фільтру, товщини контуру дренажного гравійного обсіпання тощо.

Вертикальні дренажні свердловини застосовують як протизсувні споруди на ділянках схилів автомобільних доріг або поблизу них, якщо потрібно знизити рівень підземних вод глибоких горизонтів, що містяться в породах, при великій потужності водоносної товщі. Вони застосовуються в схемі комбінованих дренажів, вакуумних і сифонових системах вертикальних дренажів для зниження п'єзометричного натиску. Відстань між окремими свердловинами та кількість рядів свердловин визначають на підставі гідрогеологічних розрахунків [56].

Штольневий дренаж влаштовують при глибокому заляганні пластових вод, коли за умовами забудови на крутих схилах не вдається побудувати дренажі вказаних вище видів. Як основні протизсувні споруди допускається застосовувати дренажні галереї провідного та напі-

впрвідного перетинів (штольні) для зниження рівнів глибоко розташованих підземних горизонтів. Дренажні галереї та штольні влаштовують у тріщинуватих скельних, напівскельних і сипких грубозернистих ґрунтах, якщо при цьому досягається підвищення коефіцієнту стійкості схилу.

Допоміжні дренажні протизсувні споруди (рис. 5.5) застосовують для зняття гідростатичного тиску поблизу утримуючих протизсувних споруд, на ділянці виходу фільтраційного потоку на укїс для запобігання суфозії ґрунту, а також для осушення перезволожених ґрунтів, що зсуваються. Відчутного впливу на підвищення коефіцієнту стійкості зсувного схилу такі дренажі не роблять. Їх влаштовують разом із іншими протизсувними спорудами для забезпечення та підтримки розрахункових гідрогеологічних параметрів схилу. Їх вплив на підвищення значення коефіцієнту стійкості схилу при розрахунках не враховують.



**Рис. 5.5. Допоміжні протизсувні дренажі:**

- а – горизонтальний трубчастий дренаж, суміщений із палевою утримуючою спорудою; б – застінний трубчастий дренаж; в – укїсний дренаж; г – пластовий дренаж; д – дренажні прорізи для осушення зсувних накопичень; (1 – перфорована труба; 2 – зворотний фільтр; 3 – рівень ґрунтових вод, знижений дренажем; 4 – залізобетонний ростверк; 5 – підпірна стїна; 6 – поверхня укосу; 7 – контрбанкет; 8 – дренажний прорїз; 9 – колектор для водовідведення; 10 – дернина коренем вгору; 11 – камїнь; 12 – фашина)

До допоміжних дренажних протизсувних споруд відносять велику кількість укісних дренажів, що застосовують для осушення зсувних мас і захисту зсувонебезпечних схилів на автомобільних дорогах у гірській місцевості. Такі дренажі мають дрібне закладання, влаштовуються по схилу або укосу у вигляді суцільного дренажного шару по нетканих синтетичних фільтруючих матеріалах, пористість і характеристики яких призначаються залежно від особливостей і фізико-механічних характеристик ґрунтів, що пролягають нижче. Вони можуть влаштовуватись переривчасто, розташовуючи дренажні прорізи в більш проникних ґрунтах.

Траси перехоплюючих дренажних конструкцій на зсувонебезпечних ділянках розташовують приблизно паралельно гідроізогіпсам. Із збільшенням кута між напрямом траси та гідроізогіпсами ефективність дрен знижується.

Для підвищення стійкості схилів виконують уположення схилів, видаляють зсувні маси, замінюють їх стійкими та міцнішими ґрунтами. Такі роботи в комплексі з дренажними спорудами проводять для стабілізації більшості типів зсувів. Проте виконати зрізку з необхідним, заданим розрахунком, ухилом не завжди є можливим. Особливо такі роботи ускладнюються в міських умовах, в гірській місцевості тощо.

При неможливості провести уположення схилу здійснюють його пригрузку. Використовуючи різні за конструкцією контрбанкети, влаштовують пригрузку нижньої частини зсувних схилів (рис. 5.6).

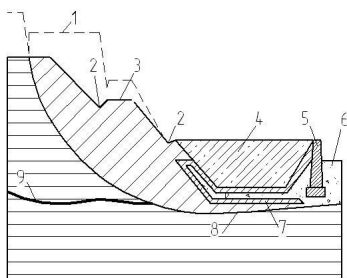


Рис. 5.6. Улаштування земляного контрбанкету в нижній частині зсувного схилу: 1 – положення профілю зсувного схилу до виконання робіт; 2 – зливостічний лоток; 3 – берма; 4 – контрбанкет; 5 – підпірна стінка; 6 – пляжне відсіпання; 7 – пластовий дренаж; 8 – поверхня ковзання; 9 – рівень підземних вод

Перераховані види робіт проводять для стабілізації зсувів більшості типів. При уположенні схилу, влаштуванні контрбанкету тощо змінюється профіль схилу та його напружений стан. Напряга зміщення зменшується до безпечних величин. Характер розподілу напруги та їх величину для кожного геолого-літологічного розрізу можна визначити розрахунком або моделюванням [57].

Часто в обмежених умовах (гірська місцевість, міська забудова тощо) не вдається влаштувати стійкі укоси земляних контрбанкетів із необхідним за розрахунком закладанням. Для збільшення крутизни зовнішнього укосу та забезпечення їх стійкості ґрунтові контрбанкети армують.

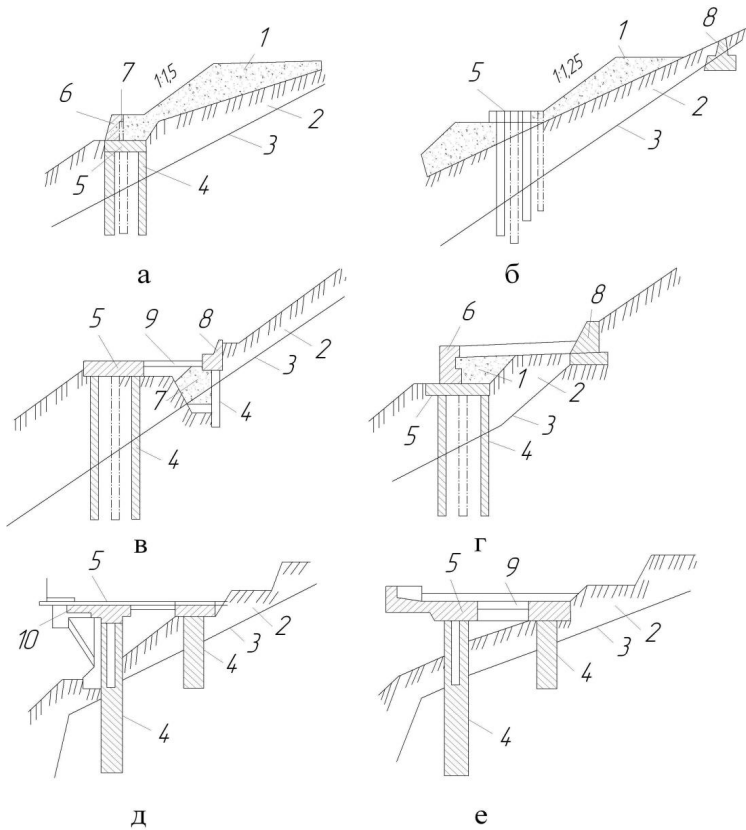
Контрфорси часто проектують і будують із каменю, цегли, габйонів, бетону. У цьому випадку їх влаштовують по фронту схилу або укосу переривчасто, на невеликих ділянках.

За наявності в схилі ґрунтових вод спільно з контрфорсом влаштовують дренажі.

При влаштуванні контрбанкету в середній частині схилу необхідно упевнитись, що зсувні деформації в подальшому не продовжуватимуться по нових поверхнях зсуву, розташованих вище або нижче за контрбанкет.

Радикальним засобом стабілізації зсувів є застосування паль. На південному узбережжі Криму, зокрема, широко застосовують буронабивні палі, що дають змогу закріпити зсуви до 18 м завтовшки [17]. Палі мають каркасну сталеву арматуру, їх діаметр становить від 0,5 до 1,0 м. Палі розміщують рядами впоперек зсуву. Залежно від тиснення ґрунту влаштовують два або більше рядів паль, розміщуючи їх в плані в шаховому порядку або за сіткою квадратів. Відстань між палями становить від 2 до 3 м. Для включення паль у сумісну роботу їх об'єднують зверху залізобетонним ростверком. Роботи щодо стабілізації зсуву буронабивними палями проводять за спеціально складеним проектом. Відстань між рядами та окремими палями визначають розрахунком. Припускають, що під час зсуву в ґрунті утворюються склепіння, що сприймають тиснення ґрунту. П'яти такого склепіння спираються на палі. У розрахунку слід перевірити опір паль прорізання ґрунту в просторі між палями. Окремі палі розраховують на згин і на зрізання, розглядаючи їх як консолі, закріплені в ґрунті. Деякі схеми застосування бетонних паль показано на рис. 5.7 [30].





**Рис. 5.7. Схеми закріплення земляного полотна бетонними палями на ділянках зсувів:**

а – насип із нижньою підпірною стінкою на пальовому ростверку; б – насип із опорним пальовим ростверком біля підшови; в, г – дорога на полиці з пальовим ростверком, з'єднаним горизонтальним анкерним тяжем із верхньою підпірною стінкою; д, е – протишсувні конструкції у вигляді балконів та естакад; (1 – насип; 2 – масив зсуву; 3 – поверхня ковзання; 4 – несучі буронабивні залізобетонні палі; 5 – залізобетонний ростверк; 6 – нижня підпірна стінка; 7 – дренаж; 8 – верхня підпірна стінка; 9 – анкерний тяж; 10 – залізобетонний балкон)

Для укріплення зсувів на шляхах сполучення у гірській місцевості використовують ін'єктування в'язучих матеріалів у зону ковзання, а також електрохімічний спосіб [30]. Ці заходи сприяють збільшенню зчеплення між тілом зсуву та його основою.

Стабілізація зсувів, що має забезпечити стійкість земляного полотна, пов'язана з великими обсягами робіт і потребує тривалого часу та великих коштів для їх виконання. Через це одним із альтернативних варіантів є прокладання траси дороги над зоною зсуву, якщо це можливо за умовами рельєфу. Проте такий варіант також не виключає певних протизсувних заходів, щоб запобігти поширенню з часом зсуву до земляного полотна. Особливу увагу потрібно приділити організації відведення поверхневих вод так, щоб вони не могли проникнути в товщу тіла зсуву.

У процесі експлуатації шляхів сполучення в гірській місцевості потрібно здійснювати постійний контроль за активністю зсуву.

Нормальний стан дорожніх споруд у зоні зсуву слід забезпечувати підтриманням у належному стані системи відведення води, забиттям тріщин, що виникають, спорудженням у разі потреби додаткових інженерних споруд.

Характерні для гірських шляхів сполучення умови рельєфу та висока інтенсивність опадів, наявність зсувів, осипів тощо під час спорудження на гірських шляхах сполучення потребують великої кількості різноманітних штучних споруд. Найпоширенішими з них є труби, однопрольотні мости, швидкоतोки, перепади з водобійними колодязями або без них.

Під час проектування водоперепускних споруд слід враховувати великі швидкості течії та раптовий підйом рівня води. Повені на гірських річках виникають переважно раптово та швидко минають.

В огляді літературних джерел подано основні відомості щодо проектування гірських тунелів і підпірних стінок [58].

Тунелі доцільно проектувати для пересічення високих вузьких гірських пасм. Тунель забезпечує цілорічний безперервний рух транспортних засобів, він дає змогу скоротити довжину траси, зменшити кількість земляних робіт; дає змогу також обминути ділянки з нестійкими гірськими породами та ділянки, яким загрожують зсуви.

Крім перевальних ділянок, тунелі споруджують на косогірних ділянках для пересічення різних виступів і коротких вигинів косогорів, для обходу зсувів і осипів.

Поширеними спорудами на гірських шляхах сполучення є підпірні стінки. Підпірна стінка – це інженерна укріплююча споруда капітального типу, призначена для утримування ґрунту, що розміщений за нею. Підпірні стінки забезпечують стійкість земляного полотна на гірських схилах,

а в деяких випадках і стійкість природних схилів. Підпірні стінки повністю або частково замінюють укоси насипу, їх споруджують на крутих схилах у напіввиїмці, на ділянках зсувів і осипів, у сейсмічних районах, на берегах річок, морів тощо.

Висоту та розміщення підпірних стінок визначають із урахуванням конкретних умов місцевості й техніко-економічної доцільності. Для спорудження їх використовують бетон, залізобетон, кам'яну кладку, габіони, зруби. Підпірні стінки бувають верхні, розташовані вище від поверхні дороги, і нижні, розташовані нижче від неї (рис. 5.8).

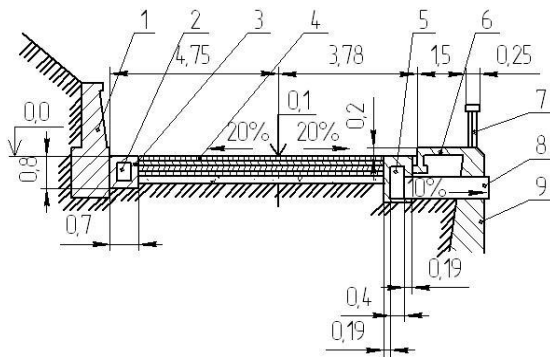


Рис. 5.8. Поперечний профіль дороги з підпірними стінками:

- 1 – верхня підпірна стінка; 2 – дощоприймальна каналізація; 3 – чавунна решітка;
- 4 – проїзна частина; 5 – дощоприймальні колодязі через 100 м; 6 – тротуар; 7 – оголодження; 8 – азбестоцементна труба; 9 – нижня підпірна стінка

Література з будівельної механіки та механіки ґрунтів містить точні методи розрахунку підпірних стінок проти перекидання та проти зсуву під дією бічного тиснення ґрунту [58]. З метою перевірки стійкості підпірних стінок, що утримують земляне полотно, з певним запасом міцності можна використати залежності для сипучих ґрунтів, нехтуючи зчепленням їх. За цих умов рівнодіюча тиснення ґрунту на стіну прикладена до центра ваги епюри тиснення (рис. 5.9) [58]:

$$Q = \frac{\gamma}{2} \cdot (H^2 + Hh) \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (5.1)$$

де  $\gamma$  – питома вага природного ґрунту, кг/м<sup>3</sup>;

$h$  – товщина еквівалентного шару ґрунту, який замінює тимчасове навантаження  $q$ , що його приймають рівномірно розподіленим по полотну дороги, м.

$$h = q / \gamma, \quad (5.2)$$

де  $\phi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту.

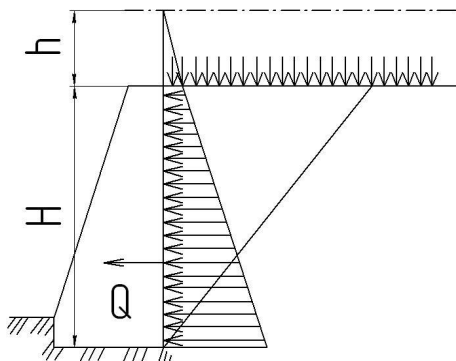


Рис. 5.9. Схема до розрахунку підпірної стінки:

$Q$  – рівнодіюча тиснення ґрунту на стіну;  $h$  – товщина еквівалентного шару ґрунту;  $H$  – висота підпірної стінки

Глибину закладання фундаментів підпірних стінок беруть не менше ніж 0,25 м у скельних породах, 0,5 м – в дренажних неводонасичених ґрунтах і не менше половини глибини промерзання – у водонасичених ґрунтах [57].

Широко застосовують на гірських шляхах сполучення зрубіві підпірні стінки, їх збирають із поздовжніх і поперечних прямокутних залізобетонних брусів (рис. 5.10).

Відоме застосування підпірних стінок із «армованого» ґрунту. У таких стінках від елементів вертикального зовнішнього огородження в тіло ґрунтової засипки закладають тонкі оцинковані сталеві або дюралюмінієві смуги від 3 до 5 мм завтовшки та від 60 до 120 мм завширшки. Довжину смуг визначають розрахунком.

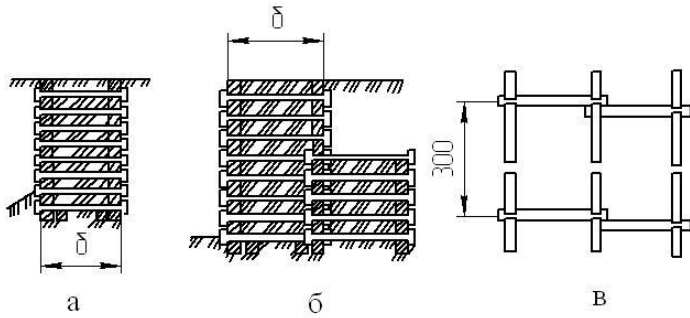


Рис. 5.10. Конструкція збірної зрубової підпірної стінки:  
 а – поперечний переріз стінки до 4,5 м заввишки; б – те саме, від 4,5 до 8,0 м;  
 в – розміщення брусів у плані

На рис. 5.11 показано деякі конструкції монолітних підпірних стінок.

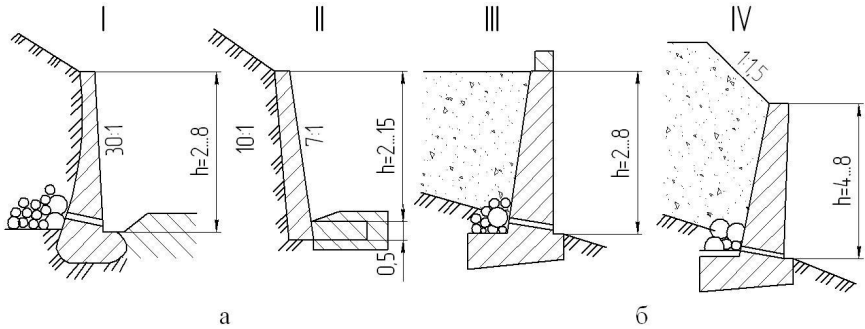


Рис. 5.11. Конструкції монолітних підпірних стінок:  
 а – верхніх; б – нижніх; (I...IV – типи конструкцій)

Для захисту укосів виїмок і природних гірських укосів споруджують захисні стінки. Такі стінки потрібні, якщо укоси складені з порід, що легко вивітрюються. На захисні стінки по суті не діє зовнішнє навантаження. Вони захищають укоси від дії природних факторів. Товщина захисних стінок є меншою, ніж підпірних, а конфігурація їх у поперечному розрізі залежить від конфігурації укосу. За стінкою передбачають дренажний прошарок із випусками для відведення води, що в разі замерзання здатна зруйнувати стінку. Варіанти захисних стінок показано на рис. 5.12.

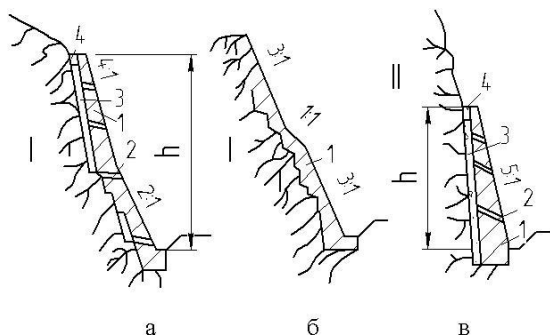


Рис. 5.12. Варіанти захисних підпірних стінок:

а, б – з дренажною засипкою; в – із замуруванням у скельну породу; І – слабка скеля; ІІ – міцна скеля; (1 – захисна стінка; 2 – отвори для випускання води; 3 – дренажна засипка; 4 – водонепроникне забиття)

До інженерно-технічних заходів захисту від зсувів у гірській місцевості відносяться заходи, запропоновані Maccerri Industrial Group (British Board of agreement) [59].

Геокompatит Паралінк ідеально підходить для армування основи насипів й інших споруд у тих випадках, коли є:

- споруди на слабких ґрунтах;
- споруди на пальної підставі;
- споруди на просадних ґрунтах і карстових породах.

Паралінк може бути використаний і у класичних схемах зміцнення ґрунтів і насипів автомобільної дороги за допомогою геосинтетичних ґрат.

Композитні ґрати Параґрід і Паралінк являють собою плоску структуру, що складається зі сукупності композитних стрічок, з'єднаних між собою поліетиленовими стрічками. Кожна поздовжня стрічка складається з невеликої кількості поліефірних жил, укладених в оболонку із чорного поліетилену високої щільності. Кожна жила складається з безлічі поліефірних монониток. На кінцевому етапі виробництва композитів поліетиленовій оболонці задають текстуру. Текстурована поверхня має великий коефіцієнт зчеплення матеріалу з ґрунтом.

Циліндричні габіони виготовляються заводським способом із сітки подвійного крутіння діаметром 0,65 або 0,95 м й довжиною від 2 до 4 м. Вони заповнюються каменем і використовуються для ава-

рійно-відбудовних робіт на ріках і водоймищах. Крім того, із циліндричних габйонів зводять штучні підстави під берегозакріплювальні споруди, влаштовують струмонаправляючі дамби, шпори та моли.

Коробчасті габйони являють собою об'ємні конструкції заводського виготовлення, виконані з металеві сітки подвійного крутіння й розділені на секції за допомогою діафрагм (рис. 5.13), що встановлюються в середині габйонів через кожен метр по довжині.

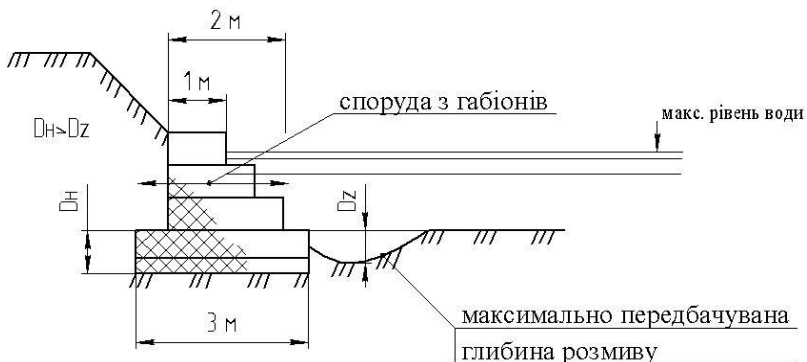


Рис. 5.13. Поперечний профіль гравітаційної підпірної стінки

Подвійне кручення дротяної сітки забезпечує цілісність, міцність і рівномірність розподілу навантажень, запобігає розкручуванню у випадку розриву сітки.

Габйонні конструкції заповнюються каменем на будівельному майданчику й формують гнучкі, проникні структури у вигляді підпірних стінок, облицювань водозливних гребель тощо в проектах контролю ерозії ґрунтів. Характеристики габйонів забезпечують конструктивну цілісність протягом тривалого строку експлуатації. Найбільш важливі з них – міцність, гнучкість, проникність, універсальність застосування й екологічність.

Згодом габйонні спорудження зливаються з навколишнім середовищем і стають частиною природного ландшафту. Вони здобувають максимальну міцність і стійкість за рахунок природних процесів, оскільки із часом відбувається акумуляція часток ґрунту між каменями, що сприяє утворенню рослинності на поверхні габйонів. Найбільш

швидкий ріст рослин спостерігається при наявності горизонтальних терас між ярусами габйонів.

Габйони з покриттям полівінілхлориду (ПВХ) використовуються для захисту морських берегів. В основному застосовуються для зведення підпірних стінок, зміцнення насипів автомобільних доріг і залізниць, річкового та морського берегозміцнення, ландшафтних робіт, стабілізації ґрунтової ерозії й консервації ґрунту. За рахунок відмінних гідравлічних характеристик вони застосовуються для берегозміцнення рік, конструкцій водозливних гребель і дамб. Габйони використовуються для захисту морських берегів.

Матраци Рено являють собою площинні конструкції заводського виготовлення малої висоти й великої площі поверхні, виконані з металевої сітки із шестикутними осередками, розділені на секції за допомогою діафрагм (рис. 5.14), що встановлені в середині баз матраців Рено через кожен метр по довжині.

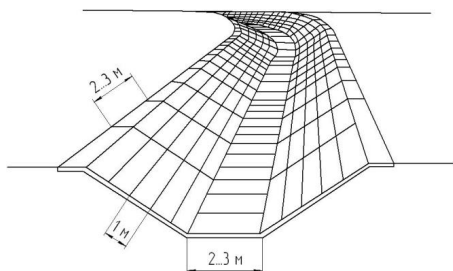


Рис. 5.14. Зображення матраців Рено

В основному матраци Рено застосовуються в основі підпірних стінок із габйонів, кріплення конусів мостів, захисту трубопроводів, ландшафтних робіт, річкового й морського берегозміцнення тощо. За рахунок хороших гідравлічних характеристик вони застосовуються для зміцнення берегів і дна рік, у конструкціях шпор, водоскидів, облицювань. Матраци Рено з покриттям із ПВХ використовуються для захисту морських берегів і дна від розмиву.

Система Террамеш являє собою конструкції заводського виготовлення, виконані з металевої сітки подвійного крутіння із шестикутними осередками й розділені на секції за допомогою діафрагм



(рис. 5.15), що встановлені в середині лицьової грані через кожен метр по ширині.

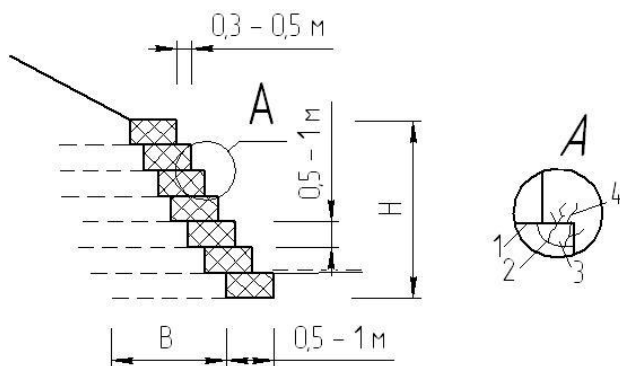


Рис. 5.15. Поперечний профіль армогрунтової стінки:  
1 – Террамеш; 2 – геотекстиль; 3 – ґрунт; 4 – рослинність

Система Террамеш – це екологічна модульна система армування ґрунту, що використовується для кріплення нестійких масивів ґрунту, замість гравітаційних стін, для кріплення схилів й укосів насипів.

Біомат – полотно з рослинних волокон (соломи, кокосового волокна або їхньої суміші), укріплених поліпропіленою або джутовою ниткою. Основною сферою застосування біоматів є захист поверхні від ерозії й відновлення рослинного покриву. Даний матеріал є гарним захистом від дощу й вітру, крім того, розкладання природних волокон біомату допомагає добриву ґрунту.

Розглянуті інженерно-технічні заходи та біоінженерні технології сприяють відновленню стійкості ґрунту й природних біологічних функцій на конкретній території.

Вищеназвані модулі та інженерні конструкції можуть бути природно вписані в навколишнє середовище за допомогою різних біоінженерних технологій, із часом ці конструкції стають частиною природного ландшафту.

Одним із незаперечних переваг використання інженерних заходів і біоінженерних технологій є швидке й ефективно озеленення ділянки. Практика показує, що при дотриманні правил укладання, озеленення території відбувається в середньому протягом 1 місяця.

## **5.2. Затримуючі протиобвальні споруди та протиобвальні заходи**

Затримуючі протиобвальні споруди та заходи слід передбачати з метою усунення можливого виникнення та розвитку гірськообвальних явищ, для захисту від вивітрювання укосів та укріплення гірських порід на косогорах.

Затримуючі протиобвальні споруди та протиобвальні заходи застосовуються таких видів [37]:

- облицювальні стіни, торкретні покриття, а також ін'єктування в'язучими речовинами обвальних мас для збереження ґрунтів від вивітрювання та руйнування,

- анкерні кріплення та пломби для з'єднання окремих скельних блоків з міцним масивом скельних порід;

- контрфорси для підпирання окремих скельних масивів;

- підтримуючі та підпірні стіни для укріплення навислих скельних карнизів;

- опояски - масивні споруди для підтримання нестійких укосів.

Проектувати затримуючі протиобвальні споруди (анкерні кріплення) рекомендується з урахуванням додатка 2.

## **5.3. Уловлюючі протиобвальні споруди та галереї**

Уловлюючі споруди та протиобвальні захисні споруди включають [37]:

- каменеуловлювачі глибинного типу (полиці, уловлюючі траншеї, рови);

- загороджувальні уловлюючі споруди;

- живі захисні перепони (штучні лісонасадження на схилах гір).

Каменеуловлювачі глибинного типу у вигляді траншей слід розмішувати на пологих схилах (укосах) заввишки до 30 м. З низової сторони уловлюючих траншей, що розміщені на схилі, слід улаштувати вали із місцевого ґрунту з упорами із кам'яної або бутобетонної кладки.

Сітчасті загородження-уловлювачі повинні бути обладнані скельно-обвальною сигналізацією та застосовуватись лише на осипних ділянках з можливим падінням невеликих каменів 15-25 мм з незначної висоти 2-3 м.

Проектування протиобвальних галерей повинно виконуватись в наступній послідовності:

- визначається розрахункова швидкість падаючих уламків в зоні розміщення споруди;
- устанавлюється розрахункова крупність падаючих уламків;
- проводяться розрахунки конструкцій з урахуванням динамічної дії уламків;
- розроблюються робочі креслення конструкцій і проект організації будівництва.

Розрахунки конструкцій протиобвальних галерей проводяться згідно з ДБН В.1.1-24 [55] та МР В.2.3-218-20533253-499 [39].

#### **5.4. Регулювання поверхневого стоку вод**

Заходи щодо організації поверхневого стоку повинні включати планування схилів і прилеглих до них ділянок, з яких вода може потрапляти на схили, улаштування системи відкритих водостоків і підземних колекторів [37].

Прокладання водонесучих комунікацій на зсувних та зсувонебезпечних територіях не допускається. У виняткових випадках та за відповідним техніко-економічним обґрунтуванням допустиме розміщення водонесучих комунікацій на поверхні землі в прохідних або напівпрохідних каналах, які повинні виходити за межі зсувних та зсувонебезпечних територій.

Днища та стінки відкритих водостоків слід улаштувати водонепроникними.

На ділянках, прилеглих до схилів, поверхневий стік слід регулювати за допомогою водовідвідних каналів, лотків, а також огорожувальних валів, які забезпечують перехват поверхневих вод.

#### **5.5. Захист гірських шляхів сполучення від селевих виносів**

Шкідливій дії селевих виносів на шляхи сполучення у гірській місцевості запобігають захисні дамби, габіонні конструкції, що затримують матеріал наносів і уповільнюють швидкість селевого потоку.

Дамби можуть бути суцільними і переривчастими. Суцільні дамби рекомендують, якщо ширина русла селевого потоку більша ніж

100 м. Отвори переривчастих дамб розраховують на перепуск витрати потоку згідно з МР В.2.3-218-20533253-499 [39].

Одним із можливих варіантів пересічення селевих потоків є спорудження селедуків (селеспусків). У цьому разі селевий потік зазнає регулювання в районі споруди, після чого він проходить по лотку, розміщеному над дорогою. Селедуки проектують на дорогах із інтенсивністю руху більше ніж 3000 авт./добу, але в разі порівняно невеликих витрат селевого потоку не вище ніж  $20 \text{ м}^3/\text{с}$  і якщо крупність каміння не перевищує  $0,4 \text{ м}^3$  (це камінь в середньому із сторонами довжиною по  $0,75 \text{ м}$ ).

Розрахунки конструкцій протиселевих захисних дамб виконуються згідно з МР В.2.3-218-20533253-305 [38].

Габіонні конструкції та споруди, що з ними сполучаються, підлягають індивідуальному проектуванню з відповідним обґрунтуванням умов їх функціонування й опрацюванням всіх конструктивно-технологічних рішень [53].

Проектування захисних, підсилюючих, підпірних й утримуючих габіонних конструкцій та споруд на зсувних і зсувонебезпечних ділянках, а також у районах поширення селів, осипання каміння, лавин, на ділянках річкової ерозії слід здійснювати згідно з ДБН В.1.1-46 [37], ГБН В.2.3-37641918-558 [53], ДБН В.1.1-24 [55], ДБН В.1.1-25 [60], ДБН В.2.3-22 [61], ДСТУ-Н Б В.2.1-28 [62], ДСТУ-Н Б В.2.1-31 [63].

При розташуванні шляхів сполучення на території, що зрошується, габіонні конструкції і споруди слід проектувати з урахуванням впливу зрошувальної системи на водно-тепловий режим земляного полотна та інші споруди згідно з ДБН В.2.3-4 [64].

При розробленні проектної документації на будівництво земляного полотна із застосуванням габіонних конструкцій і споруд на коσοгорах, у районах розповсюдження засолених ґрунтів і рухливих пісків, на болотах і слабких основах слід керуватись нормативними вимогами згідно з ДБН В.2.3-4 [64].

Габіонні конструкції та споруди повинні відповідати конструктивним особливостям та умовам роботи сполучених з ними споруд; враховувати властивості ґрунтів і можливість використання місцевих кам'яних матеріалів, особливості погодно-кліматичних і гідрологічних чинників; забезпечувати стійкість всього комплексу споруд, можливість механізації робіт тощо.

При обґрунтуванні застосування габійних конструкцій і споруд слід розробляти альтернативні їм варіанти із традиційних конструкцій (споруд).

При оцінці природоохоронної доцільності й ефективності застосування габійних конструкцій і споруд, а також альтернативних їм варіантів, слід керуватись нормативними вимогами згідно з ДБН В.2.3-4 [64].

Проектування габійних конструкцій і споруд повинно ґрунтуватися на матеріалах інженерних вишукувань та результатах гідравлічно-гідрологічних розрахунків, а також на використанні проектних матеріалів і рішень по тим конструктивним елементам земляного полотна, що підлягають укріпленню, посиленню, стабілізації, захисту і сполученню з габіоновими конструкціями і спорудами.

Для проектування габійних конструкцій потрібно використовувати матеріали і результати інженерних вишукувань, які виконували для всього об'єкта проектування. Якщо вони є недостатніми, необхідно передбачити виконання додаткових вишукувань.

## **5.6. Проектування габійних конструкцій**

Для влаштування підпірно-утримуючих і підпірно-захисних споруд габійні конструкції використовують як [53]:

- габійні підпірні стіни;
- систему «Армогрунтова стіна»;
- систему «Зелена стіна»;
- комбіновані системи із габійнів різних типів.

Розміри габійних підпірних стін визначають з умов забезпечення загальної і місцевої стійкості насипу та самої стіни. Для досягнення цих цілей верхня укїсна частина насипу, як правило, повинна мати похил від 1:1,75 до 1:2. Ширина берми (стіни) повинна бути не менше ніж 3,0 м.

Кінцеві частини стін присипають з обох сторїн дренажним ґрунтом у вигляді контрбанкету.

Основні параметри та розміри габійнів наведені у додатку 4 та у [65].

Проектування підпірних стін із габійних конструкцій складається із конструювання (призначення геометричних розмірів і кількості габійнів) та із розрахунків їх за двома групами граничних станів

[54]. Геометричні розміри, які визначають на етапі конструювання, уточнюють подальшими розрахунками.

Розрахунок за першою групою граничних станів, що передбачає втрату несучої здатності або значні пошкодження, передбачає виконання розрахунків на:

а) загальну стійкість (зовнішня стійкість):

– стійкість укосу насипу із підпірною стіною за круглоциліндричною поверхнею ковзання;

– стійкість стіни проти зсуву по основі;

– стійкість стіни проти перекидання;

– міцність ґрунтової основи;

б) внутрішню стійкість:

– зсув одних габіонів відносно інших;

– міцність габіона, як конструктивного елемента.

Розрахунок за другою групою граничних станів (непридатність до нормальної експлуатації) включає перевірку на допустимі деформації при експлуатації споруди. Розрахунок за другою групою граничних станів виконують на дію нормативних навантажень, тобто коефіцієнти запасу на навантаження та на матеріали приймають рівними одиниці.

При проектуванні об'єктів у сейсмонебезпечних районах слід виконувати додаткові розрахунки відповідно до ДБН В.1.1-12 [66].

Систему «Армоґрунтова стіна» розраховують за двома групами граничних станів [54]:

а) загальну стійкість (зовнішня стійкість):

– стійкість укосу насипу із системою за круглоциліндричною поверхнею ковзання;

– стійкість системи проти зсуву по основі;

– стійкість системи проти перекидання;

– міцність ґрунтової основи;

б) внутрішню стійкість:

– міцність сіток системи на розрив;

– анкерна здатність сіток.

Систему «Зелена стіна» розраховують за двома групами граничних станів:

а) загальну стійкість (зовнішня стійкість):

- стійкість укосу насипу із системою за круглоциліндричною поверхнею ковзання;
- стійкість системи проти зсуву по основі;
- стійкість системи проти перекидання;
- міцність ґрунтової основи;
- б) внутрішню стійкість:
  - міцність сіток (елементів армування) системи на розрив;
  - анкерна здатність сіток (елементів армування).

Проектування системи «Зелена стіна» виконують згідно з ГБН В.2.3-37641918-544 [67] та ГБН В.2.3-37641918-558 [53]. У розрахунках приймають, замість характеристик геосинтетичного матеріалу, характеристики сіток згідно з додатком 4.

## 5.7. Конструювання габійонних підпірних конструкцій

Для підсилення і стабілізації насипів шляхів сполучення, а також при спорудженні земляного полотна висотою більше ніж 8 м, застосовують габійонні конструкції у вигляді підпірно-утримуючих і підпірно-захисних стін, як альтернативу влаштуванню бетонних і залізобетонних підпірних стін [53].

Розрізняють такі типи габійонних підпірних стін (рис. 5.1) [53]:

- масивно-об'ємні (гравітаційні);
- напівмасивні (напівгравітаційні);
- тонкостінні.

Габійонні підпірні стіни цих типів поділяють на низькі (при  $H/vф < 1,5$ ) і високі (при  $H/vф > 1,5$ ), де  $H$  – видима висота стіни, м;  $vф$  – ефективна ширина стіни, м.

Лицьові грані габійонних підпірних стін можуть бути ступінчастими (вертикальними або похилими) і гладкими (вертикальними або похилими).

Габійонні підпірні стіни (тип, форма, конструктивні розміри тощо) потрібно проектувати із врахуванням місцевих умов, проектних навантажень і можливих деформацій.

Висота стін повинна забезпечувати стійкість верхньої частини укосу (схилу). Ширину габійонів і форму стін визначають із умов забезпечення зовнішньої й внутрішньої їх стійкості.

Схеми конструктивних рішень застосування габіонних конструкцій при розташуванні шляхів сполучення на косогірних ділянках наведені на рис. 5.2.

Схеми заміни укісних частин земляного полотна на підпірно-утримуючі габіонні конструкції у стиснених умовах розташування шляхів сполучення наведені на рис. 5.3 і рис. 5.4.

Схема застосування габіонних конструкцій для забезпечення дренажування й осушення ґрунтів нижньої частини земляного полотна наведена на рис. 5.5.

Укріплення невідтоплюваних укосів за допомогою габіонів наведені на рис. 5.6.

Для габіонів використовують сітки дротові звичочні із шестигранними вічками (рис. 4.4).

Основні вимоги до сіток наведені у додатку 4 та у [68].

При влаштуванні габіонних споруд у корозійному середовищі використовують габіони із комбінованим покриттям (цинк, алюмоцинк, мішметал, полімер).

Для заповнення габіонів застосовують кам'яний матеріал, що відповідає функціональним вимогам, які висувають до споруди з габіонів.

Слід використовувати матеріал із питомою масою не менше ніж  $1,7 \text{ г/см}^3$ , морозостійкий (з маркою за морозостійкістю вище 350), міцний (марка за міцністю 600 і більше), що не розмивається водою, стійкий до вивітрювання. Види порід, що придатні для заповнення габіонів, наведені у таблиці 4.14.

Для запобігання вимивання та інших втрат каменю при експлуатації габіонної споруди потрібно щоб розмір каменю-заповнювача був у 1,5-2,0 рази більший за розмір вічка сітки.

При заповненні габіонів більші камені укладають біля краю сітки, а дрібніші – у середину габіона.

Матеріали для засипки армуючих панелей систем «Армогрунтова стіна» і «Зелена стіна»

Для забезпечення необхідного зчеплення як матеріал зворотної засипки, який укладають до лицьової грані конструкції, потрібно застосовувати зернистий, дренажний матеріал, що відповідає таким вимогам:

– часток дрібніше 0,10 мм не більше ніж 10 % від загальної маси матеріалу;



– часток дрібніше 100 мм не менше ніж 90 % від загальної маси матеріалу;

– найбільший розмір часток матеріалу засипки не повинен бути більше ніж 150 мм.

Вміст часток дрібніше 0,10 мм можна збільшити до 20 %, при умові, що буде забезпечена необхідна величина кута внутрішнього тертя.

Як зворотну засипку допускається використовувати суміш матеріалів (піску й гравію тощо), у тому числі, отриманих за допомогою хімічних методів стабілізації. При цьому необхідно забезпечити, щоб величина кута внутрішнього тертя матеріалу зворотної засипки була не менше ніж 30 °.

## **5.8. Захист шляхів сполучення від лавин та снігових заметів**

Засоби захисту від лавин та снігових заметів [69]:

– влаштування стінок та інших споруд з метою запобігання надходження снігу з навколишньої місцевості в улоговини, що перешкоджає накопиченню снігу на схилах та у лощинах;

– заліснення басейну снігозбору, влаштування ровів, валів, підпінних стінок упоперек руху снігу з метою запобігання його переміщенню;

– відведення снігових мас напрямними стінками набік від спорудження, яке необхідно захистити;

– перепуск лавини над дорогою.

У разі пологих схилів і малих басейнів снігозбору, маси снігу можна утримати за допомогою поперечних загороджувальних стінок і кам'яних огорож. У деяких випадках, у разі сприятливого рельєфу місцевості, лавину можна спрямувати набік від дороги за допомогою лавиновідбійних стінок, лавинорізів. Протилавинні дамби споруджують у вигляді насипів з надійно укріпленими укосами від 10 м до 15 м.

Капітальними спорудами, що надійно захищають шляхи сполучення від снігових обвалів, є галереї. Галереї проектують на крутих схилах. Покрівлю галереї проектують односхилою з похилом, рівним або більшим від похилу косогору. Така конструкція забезпечує вільне проковзання снігової маси по покрівлі без удару.

Галереї споруджують переважно закритими із збірних залізобетонних елементів.

Протилавинні споруди розраховують на вертикальні й горизонтальні складові тиснення від удару і ваги снігового обвалу згідно з [70].

## **6. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГІРСЬКИХ ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ УКРАЇНИ**

Експлуатація шляхів сполучення у гірських районах України має ряд особливостей [6]:

- кліматична різноманітність висотних поясів, різниця в сонячній експозиції, залісненість і нестійкість схилів, наявність охоронних зон;
- різкі сезонні й добові коливання температури повітря та ґрунту, часті снігові заноси, повені й селі, тривалі дощі, які випадають в теплий період та інші явища, що порушують ритм дорожніх робіт;
- зatoryжні ухили, часта зміна насипів і виїмок, наявність великої кількості штучних споруд.

Ці та ряд інших особливостей необхідно враховувати при організації робіт з експлуатації шляхів сполучення у гірських районах-територіях, неоднорідних за умовами дорожнього будівництва. Оптимальне вирішення в таких випадках знаходять шляхом ретельного вивчення варіантів конструктивних рішень і технологій.

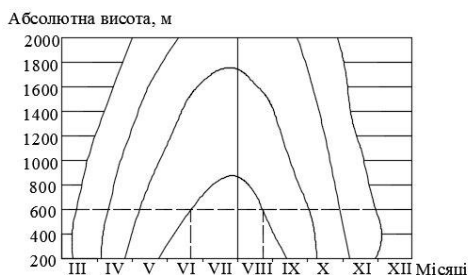
Характерними особливостями експлуатації шляхів сполучення у гірській місцевості є також:

- багатofакторність і багатоваріантність завдання вибору оптимального рішення;
- великий об'єм вихідної інформації, необхідної для вибору оптимального рішення;
- складність переробки вихідної інформації й отримання оптимального рішення традиційними способами у відведені терміни.

Зазначені задачі можуть бути вирішені за допомогою ЕВМ на основі цифрової моделі місцевості, яка повинна відображати умови дорожніх робіт у будь-якій точці території. В моделі повинні бути враховані кількісна характеристика гірської місцевості, техніко-економічні показники дорожніх конструкцій, розміщення кар'єрів ґрунту, ступінь достовірності вихідної інформації та ін. Виконання цих робіт вимагає поєднання досвіду експлуатації з детальним вивченням природних умов регіону гірської місцевості, де ведуться роботи. Важливим фактором при цьому є погодження термінів робіт, які виконують всі субпідрядні організації [71].

До початку робіт необхідно скласти проект організації робіт, який повинен бути ретельно продуманим. Враховуючи різні терміни переходу середніх температур через 0; 5; 10 і 15 °С для різних висотних поясів, необхідно з особливою ретельністю підходити до визначення термінів (початку і закінчення) дорожніх робіт. Для цього слід враховувати зниження температури повітря з висотою і особливості місцевості.

Виходячи з інтервалів переходу температур через 0; 5; 10 і 15 °С, вимог нормативних документів і досвіду будівництва та експлуатації шляхів сполучення в Українських Карпатах, пропонуємо графік залежності тривалості періоду дорожньо-будівельних робіт від висоти місцевості (рис. 6.1).



**Рис. 6.1. Залежність тривалості періоду дорожньо-будівельних робіт від висоти місцевості в Українських Карпатах:**

1 – поверхнева обробка, змішування на дорозі з застосування органічних в'язучих; 2 – поверхнева обробка з застосуванням емульсій, змішування на дорозі з застосуванням неорганічних в'язучих; 3 – просочування, асфальтобетонні покриття з теплих сумішей, змішування на дорозі з застосуванням органічних в'язучих і додаванням речовин, які знижують температуру замерзання

Тривалість цього періоду для висоти 600 м над рівнем моря зображена на графіку штриховою лінією. Роботи з поверхневої обробки із застосуванням бітуму (крива 1) повинні починатися 20 червня і закінчуватися 20 серпня. Аналогічно за кривими 2-4 можна визначити терміни виконання інших видів дорожньо-будівельних робіт. Влаштування доріг з гравійним покриттям можна проводити цілорічно.

Нерідко можна констатувати факти, коли роботи на дорожніх об'єктах (поверхнева обробка, висівання трав, установлення знаків та

ін.) ведуться під кінець року, тобто в складних, практично не придатних для виконання цих робіт, умовах. Цьому сприяє вироблена десятиріччями практика здачі об'єктів в експлуатацію під кінець року. Оптимальними термінами закінчення дорожньо-будівельних робіт в гірській місцевості та здачі їх в експлуатацію слід вважати липень-жовтень, що повинно бути передбаченим у нових нормативних документах.

Дуже важливо визначити в гірських районах тривалість будівельного сезону, особливо для влаштування дорожнього одягу з застосуванням органічних в'язучих, який буде різним, наприклад, для рівнинної підзони (К.Р.) і гірської підзони (К.Г.З.) Українських Карпат, де число днів з температурою повітря вище  $0^{\circ}\text{C}$  – відповідно 270 і 200, а днів з дощем у літній період – майже в два рази більше для району К.Г.З. Ретельно вивчивши багаторічні дані про кількість днів із дощем у даній місцевості, їх необхідно виключати при визначенні тривалості будівельного сезону. Вплив погодно-кліматичних умов при виконанні будівельно-монтажних робіт протягом одного будівельного сезону відображається на величині змінного завдання. Наприклад, необхідно влаштувати за один сезон дві ділянки асфальтобетонного покриття по 20 км – один в підзоні К.Р., другий – у районі К.Г.З. Приймаючи для підзони К.Р тривалість будівельного сезону, наприклад, 160 днів і для району К.Г.З. – 90 днів, визначимо змінне завдання:

для підзони К.Р.

$$20000/160=125 \text{ м/зміну};$$

для району К.Г.З.

$$20000/90=200 \text{ м/зміну}.$$

Відповідно, при однакових об'ємах робіт двох будівельних об'єктів, розташованих в рівнинній підзоні (К.Р.) і гірській підзоні (район К.Г.З.), виробничі ресурси за чисельним складом будуть різні.

Питання організації робіт в умовах підвищеної вологості слід продумувати з особливою ретельністю. Враховуючи те, що в гірських районах випадає за рік від 750 до 1600 мм і більше опадів і що тут бувають літні місяці, коли кількість дощових днів досягає 15-20, доці-

льно розробити технології влаштування дорожніх покриттів із застосуванням органічних і неорганічних в'язучих в дощову погоду, а також вивчити можливість виконання лінійних робіт з укладання асфальтобетону, поверхневої обробки та ін. під наметом, який переміщується в міру виконання дорожніх робіт [71].

Особливу увагу під час складання графіків організації робіт у гірській місцевості необхідно приділяти охороні навколишнього середовища. Детально слід продумати питання розміщення майданчиків для тимчасової стоянки техніки, АБЗ, бітумних баз та ін. Ці майданчики повинні бути віддалені від лісу, обваловані, обнесені ровами, обладнані відстійниками або маслоуловлювачем, що дозволить запобігти пожежам у лісі та забрудненню стічних вод. Масла, зібрані й вчасно вивезені, можуть бути використані в промислових цілях. Розміщення стоянок транспорту і підсобних виробництв повинно бути узгоджено з органами охорони природи і санепідемстанціями. Визначаючи місця стоянок транспорту і механізмів, розміщення складів і підсобних виробництв, слід не забувати, що гірські ріки мають здатність різко підвищувати рівень води під час повеней (на 4-6 м) і силою течій знищувати все на своєму шляху.

Ремонт земляного полотна гірських доріг – трудомісткий процес, який значною мірою залежить від погодно-кліматичних умов. Кожному типу машин, які застосовуються для ущільнення ґрунтів, відповідають конкретні значення вологості, при яких досягається найкращий ефект. Цього ефекту можна досягти під час виникнення в ґрунтах напруг, близьких до їх границь міцності. Досліди показали, що максимальна щільність може бути отримана при вологості, нижчій від оптимальної (в середньому 0,85-0,95 $W_L$ ). Однією з важливих проблем при спорудженні земляного полотна гірських доріг є ущільнення ґрунтів з надлишковою вологістю. Перезволоженими вважають ґрунти, вологість яких перевищує максимально допустиму величину, тобто величину, при якій ще можна досягти необхідної щільності.

Під час роботи з перезволоженими ґрунтами необхідно вжити заходів, які б запобігали попаданню в ґрунти додаткової вологи. Для цього застосовують один із найбільш дешевих і простих способів – захист поверхні земляного полотна шаром ґрунту. У цьому разі земляне полотно піднімають на 15-25 см вище від проектних відміток і перед влаштуванням дорожньої основи цей шар знімають [72]. Ефективний,

широко розповсюджений за кордоном метод захисту земляного полотна пластиковими рулонними матеріалами товщиною 0,02-0,05 мм. Після розстилання вказаний матеріал присипають шаром піску товщиною 10-15 см. Здатність пластику не пропускати воду значно підвищує стійкість земляного полотна.

Для підвищення стійкості перезволожених ґрунтів, у них вводять домішки, які, хімічно взаємодіючи з водою, зменшують вологомісткість. Це – вапно, цемент, попіл винесення, гіпс та ін. (найкраще застосовувати негашене вапно). Перспективний спосіб додавання вапна в кар'єрі, яке засипають у пробурені свердловини, що знімає необхідність змішування вапна з ґрунтом і запобігає попаданню його на прилегли сільськогосподарські землі.

Влаштування дослідних ділянок насипів із перезволожених ґрунтів, які мають вологість 1,4-4,8 $W_L$ , оброблених негашеним вапном, підтвердило ефективність застосування цього методу спорудження земляного полотна. Так, при введенні 3 % негашеного вапна вологість ґрунту зменшилася на 4,2-6,4 %, що дозволило виконувати земляні роботи за звичайною технологією.

Для змішування ґрунту з вапном застосовують дорожні фрези, а при їх відсутності – автогрейдери і грейдери. Ущільнення здійснюють катками на пневматичних шинах. Товщина шарів при ущільненні не повинна перевищувати 25-35 см. Застосування вказаних вище домішок дає можливість ширше використовувати місцеві ґрунти, зменшувати простій дорожньої техніки, викликаний несприятливими погодно-кліматичними умовами.

Під час виконання робіт із вапном необхідно передбачити заходи, які б запобігали його попаданню на прилегли сільськогосподарські угіддя або стіканню його з водою в струмки. З цією метою роботи проводять в кориті земляного полотна, ретельно слідкуючи за тим, щоб вапно не попало за його межі.

Існує ряд інших методів проведення робіт зі спорудженням земляного полотна із перезволожених ґрунтів. Наприклад, в Англії при зведенні насипу заввишки 6 м влаштовували горизонтальні дренажні шари через кожні 1,75 м, що дозволило менше ніж за 3 місяці ліквідувати надлишковий поровий тиск в насипі, зведеному із дуже вологого ґрунту. Поглинаючі подушки в нижній частині насипу застосовувались при будівництві земляного полотна на слабких основах при будівництві деяких залізниць.

Для спорудження земляного полотна із перезволожених ґрунтів доцільніше застосовувати скрепери та інші великовантажні машини, ніж бульдозери, оскільки перші менше руйнують перезволожений ґрунт.

Кошторисна вартість влаштування земляного полотна з місцевих притрасових резервів нижча, ніж з привізного ґрунту із зосереджених резервів. Однак якщо зіставлення кошторисних вартостей спорудження земляного полотна вказаними двома способами завжди складатиметься не на користь застосування привізного ґрунту, то різниця у фактичній собівартості робіт порівняно менша. Це пояснюється тим, що несприятливі кліматичні умови в горах і водний режим ґрунтів на трасі при роботах з привізним гравійним або великоуламковим матеріалом значно менше впливають на їх вартість, ніж при роботах з місцевим ґрунтом. При проектуванні гірських і передгірських шляхів сполучення цьому приділяється ще недостатньо уваги, хоча можливість будівництва земляного полотна незалежно від погодно-кліматичних факторів і стану ґрунту часто виявляється вирішальним фактором, що свідчить про його доцільність. При влаштуванні земляного полотна із привізного ґрунту, який добувається поза межами району прокладання траси (в кар'єрі), необхідно відзначити наступні особливості, що наближають ці роботи до індустріальних способів виробництва:

- винесення частин робіт в умови ґрунтового кар'єру тривалої дії, який є підсобним цехом дорожнього господарства;
- одноманітність процесу, який складається за типом будівельного виробництва;
- незалежність технологічного циклу від гідрогеологічних і погодно-кліматичних умов на трасі (планомірність виробництва).

При визначенні виробничої ефективності влаштування земляного полотна із привізного і місцевого ґрунту важливо також взяти до уваги наступні фактори:

- можливість використання зосереджених резервів з більш високими фізико-механічними показниками ґрунтів;
- співрозмірність затрат на рекультивацію земель при обох способах виробництва (при роботі з місцевим ґрунтом вони завжди більші);
- необхідність виконання робіт щодо захисту ґрунтів притрасових резервів і прилеглих території від ерозії;



- зниження витрат на ущільнення ґрунтів при використанні автомобілів-самоскидів;
- вплив типу ґрунту (привізні ґрунти в гірських і передгірських районах гравелісті та великоуламкові) на зміну товщини дорожніх покриттів.

Вибираючи спосіб проведення робіт, необхідно враховувати, що одним із найважливіших завдань охорони навколишнього середовища є визначення доцільності відчуження продуктивних сільськогосподарських угідь і відношення порушеного ґрунтового покриття. Необхідно також відзначити, що чим менший об'єм, який доставляється з одиниці площі притрасового резерву, тим вища одинична вартість доставки з цього резерву, що визначається затратами на відвід земель і їх рекультивацію.

Отже, оптимальний розподіл земляних має з врахуванням вартості займаних земель дозволить зменшити об'єми ґрунту, що вибираються з притрасових резервів (і зменшити їх площу), розробляти зосереджені резерви на непридатних для сільськогосподарського користування землях за рахунок скорочення загальної площі, наміченої до розробки резервів, і повніше врахувати вимоги з охорони навколишнього середовища під час будівництва та експлуатації шляхів сполучення.

Земляне полотно на косогірних ділянках влаштовують у вигляді насипу, піввиїмки-напівнасипу і виїмки. При влаштуванні піввиїмки-напівнасипу поперечні переміщення ґрунту із виїмок в насип здійснюють бульдозерами або екскаваторами з прямою лопатою. При цьому обов'язкове попереднє влаштування нагірних водовідвідних каналів.

Застосування засобів механізації можливе на косогорі з нахилом не більше 30°. Для забезпечення стійкості насипу на косогір'ї необхідно попередньо нарізати уступи. При стрімкості менше 20° достатньо обмежитися переорюванням схилу багатокорпусним плугом.

До основних заходів забезпечення стійкості земляного полотна і, відповідно, надійності й міцності дорожніх покриттів належить рівномірне пошарове ущільнення ґрунту. На території гірських областей України земляне полотно шляхів сполучення працює в несприятливих умовах кліматичних умовах. У зв'язку з цим дуже важливе значення має процес ущільнення земляного полотна, від якості якого залежить термін служби дорожніх покриттів.

Для ущільнення сипких ґрунтів необхідно застосувати два типів котків: легкий – допоміжний і важкий – основний. Попереднє ущільнення при цьому не вимагається, якщо ґрунт відсипають скреперами або автомобілями-самоскидами. Товщину ущільнюваного шару можна встановити за результатами пробного ущільнення. Для цього відсипають шар ґрунту шириною 1,5-2 рази більшою за ширину смуги ущільнення завдовжки 30-40 м і товщиною змінного значення, а після ущільнення почергово визначають коефіцієнт ущільнення ґрунту.

Ефективність ущільнення великоуламкових ґрунтів визначається їх зерновим складом, наявністю і станом дрібнозему. Скелетні частинки, якщо їх місткість менше 30-40, не торкаються одна з одною і «плавають» у дрібноземі. Тому міцність, деформованість і ущільненість ґрунту в цьому разі залежить від властивостей і стану дрібнозему. При місткості скелетних частин понад 65 % уламковий матеріал утворює каркас, який приймає на себе навантаження. Оскільки тут дрібнозем відіграє роль мастила, то, змінюючи його вологість і, відповідно пластичність, регулюють процес ущільнення ґрунтів. Ущільнення великоуламкових ґрунтів в умовах оптимальної або близької до неї вологості дрібнозему забезпечує отримання найбільш стійких і щільних структур. При вмісті в ґрунтах дрібнозему понад 30 % їх потрібно ущільнювати при вологості дрібнозему, не вищій від оптимальної  $W_1$ , а при вмісті дрібнозему менше 30 % його вологість повинна бути близькою до  $1,3W_1$ . Великоуламкові ґрунти, які містять дрібнозем вологістю понад  $1,3W_L$ , перед ущільненням необхідно осушувати. Великоуламковий ґрунт переривчастого зернового складу, який містить 65-70 уламкової фракції, вважається найбільш придатним для зведення земляного полотна.

Для зведення насипів із ґрунтів, в яких скелетна частина складається із неводостійкої породи, застосовують конструкцію, що забезпечує в процесі експлуатації надійну ізоляцію легковивітрянаних порід від зволоження. З цією метою верхній шар насипу 1,0-1,2 м і укоси влаштовують із водонепроникних глинистих ґрунтів або створюють захисні шари товщиною 15-20 см із укріплених органічними в'язучими ґрунтів. Ядро насипу для належного зв'язку влаштовують східчастим і ущільнюють в два етапи: спочатку ущільнюють решітчастими котками на пневматичних шинах. При такому способі ущільнення необхідна щільність досягається після 10-12 проходів по од-

ному сліду котків на пневматичних шинах масою 25-30 т. При ущільненні насипів із великоуламкових порід розмірів крупних включень не повинен перевищувати 250 мм в ребрі і становити не більше 2/3 товщини ущільнюваного шару ґрунту.

Досвід ремонту земляного полотна гірських шляхів сполучення показує, що великі об'єми робіт по ущільненню ґрунту (до 15 % всього обсягу робіт, а за трудомісткістю і більше) виконується в утруднених умовах. В цих умовах ущільнення ґрунтів має свої технологічні особливості, зумовлені обмеженими фронтами проведення робіт і властивостями геометричних елементів земляного полотна.

Випадання великої кількості опадів, велика розтягненість населених пунктів вздовж доріг в Українських Карпатах і гірському Криму визначають необхідність влаштування зливової каналізації значної довжини. Ґрунт, що використовується для засипання траншей, через недостатнє ущільнення, дії навантажень і погодно – кліматичних факторів деформується, внаслідок чого руйнується дорожнє покриття для ремонту яких необхідні значні кошти. Вибираючи ґрунт для засипання траншей, забезпечують відповідність його стійкості оточуючому ґрунту. Для механізації ущільнення ґрунтів необхідно мати не менше трьох типорозмірів машин: для підбивання пазух біля труб, ущільнення захисного шару товщиною близько 0,2 м і ущільнення пазух через утрудненні умови робіт повинні мати незначні розміри (10-30 см). Робочі органи машин другого і третього типів мають відповідати ширині траншеї.

Під час виконання робіт із ущільнення ґрунту поблизу штучних споруд не можна застосовувати динамічні методи через небезпеку пошкодження елементів споруд.

Ґрунти насипу за береговими опорами мостів зволожуються ґрунтовими і поверхневими водами, атмосферними опадами і водами, що протікають по дренажних шарах дорожніх покриттів. Інфільтрація вологи, що тече до берегових опор мостів по поздовжньому схилу, може здійснити суттєвий вплив на вологість ґрунтів насипу за ними. Найбільш несприятливий вологісний режим виникає на насипі висотою до 3 м. Виходячи з цих вимог, з метою попередження перезволоження ґрунтів за опорами мостів, розміщених на ввігнутих кривих і в нижніх місцях поздовжніх ухилів, необхідно влаштовувати водонепроникні покриття узбіч на ділянці довжиною не менше двох висот насипу.

Гірські шляхи сполучення характеризуються наявністю великої кількості виїмок і низьких насипів (під час переходу від виїмки до насипу). Відомо, що при недостатній стійкості природних основ за наявності низьких насипів досягнута висока рівність дорожніх покриттів, навіть при доброму ущільненні ґрунтів цих насипів, швидко втрачається. Те ж саме спостерігається і у виїмках. Ґрунти природних основ виїмок і низьких насипів, якщо щільність їх не відповідає вимогам нормативних документів, необхідно штучно ущільнювати.

Як показує досвід, для поліпшення природних основ доводиться ущільнювати ґрунти на глибину, що перевищує товщину шарів, які звичайно відсипають при зведенні насипів. У ряді випадків ґрунти природних основ здійснюють більший опір деформуванню, ніж насипи, що ускладнює ведення робіт з ущільнення і вимагає застосування особливих методів і засобів (віброущільнення, потужні котки, трамбувальні плити та тощо). Значна тривалість зимового періоду в горах з особливою гостротою ставить завдання організації робіт зі спорудження земляного полотна в цей час. Стійкість земляного полотна, що зводиться в зимовий період, забезпечується підвищенням стійкості природних основ, для чого їх вкривають шаром ґрунту, товщина якого перевищує глибину промерзання. Цей метод найбільш ефективний при зведенні насипів великої товщини при значних обсягах зосереджених робіт.

Для виконання робіт взимку вибирають крупні зосереджені об'єкти, високі насипи або глибокі виїмки. Перевагу при цьому віддають незв'язним великоуламковим і скельним фунтам. Об'єкти повинні встановлюватись завчасно, на стадії проектних робіт.

Для забезпечення стійкості споруджуваних взимку насипів висотою до 1,5 м верхні їх шари відсипають після повного розмерзання ґрунту. Основні правила ведення земляних робіт взимку такі: для захисту природної основи від промерзання нижній шар насипу відсипають восени; основні об'єми робіт з влаштування середніх шарів виконують взимку; після розмерзання ґрунту виконують роботи по відсипанню верхнього шару земляного полотна.

При спорудженні земляного полотна взимку з особливою ретельністю забезпечують контроль за вологістю ґрунту, щоб запобігти попаданню в тіло насипу перезволожених ґрунтів. Для ущільнення земляного полотна взимку можуть бути застосовані решітчаті катки, катки на пневматичних шинах і трамбувальні машини [72].

Контроль за якістю влаштування й ущільнення земляного полотна на гірських шляхах сполучення є однією з найважливіших операцій. Цю роботу повинні проводити польові лабораторії та контрольні пости. Контрольні пости контролюють щільність ґрунтів у процесі зведення земляного полотна і ведуть спостереження за технологією його відсипання (пошаровим відсипанням і ущільненням, кількістю проходів катка тощо). Польові лабораторії встановлюють раціональні режими роботи ущільнюючих машин, визначають потрібну щільність ґрунтів і контролюють вимірювання щільності ґрунтів в земляному полотні.

Існує декілька методів контролю ущільнення великоуламкових ґрунтів, які можуть використовуватись і при будівництві гірських шляхів сполучення. Це метод пробного динамічного завантаження ґрунту через жорсткий штамп, метод лунки і заповненням об'єму вибраного ґрунту одномірним піском або водою з використанням гумового мішка і застосування щільнометра І. П. Акішина.

Гірські шляхи сполучення мають затяжні поздовжні ухили, на яких навесні, особливо на південних схилах, в місцях ввігнутого профілю і переходу виїмки в насип, на поверхні проїзної частини може виступати вода. Це викликано поздовжнім переміщенням води по дренажному шару. Вода рухається не тільки по цьому шару але і по основі з крупноуламкових матеріалів.

Для перехоплення води необхідно влаштовувати глибокі прорізи, які заповнюють на всю глибину камінням із відміткою дна, нижчою за максимальну глибину промерзання ґрунтів в даному районі. Проте наявність таких прорізів призводить до того, що морозне підняття дорожніх покриттів має різну величину, а це, в свою чергу, знижує його рівність. Більш доцільно влаштовувати мілкі прорізи (глибиною 0,15 см). В таких випадках морозне випучування практично однакове в межах і за межами прорізів. Прорізи бувають наскрізними або вкороченими: перші більш ефективні в роботі, оскільки вони посилюють аерацію. Місця влаштування прорізів: на ділянках з поздовжнім ухилом, більшим від поперечного; на ділянках ввігнутих вертикальних кривих; з верхового боку перебудованих ділянок; в місцях переходу виїмок в насип.

Безпека руху транспортних засобів значною мірою залежить від стану узбіч. Наприклад, на ділянках, де узбіччя влаштовані з глинистих і пілуватих ґрунтів, особливо в гірських підзонах, де мають місце

часті дощі, стан узбіч значно більше впливає на умови руху транспортних засобів, ніж їх ширина. Відсутність укріплених узбіч знижує ефективне використання ширини проїзної частини доріг на 12-20 %, зменшуючи швидкість руху і підвищуючи аварійність.

Тому в гірських районах України виникає необхідність захисту ґрунтів узбіч від впливу поверхневої води і від її подальшого проникнення в земляне полотно. Для цього необхідно влаштовувати гідроізоляційний захист узбіч шляхом покриття їх асфальтобетоном, влаштування поверхневої обробки або застосування синтетичних плівкових чи плівкоутворюючих матеріалів із органічних в'язучих.

Крім того, має значення поперечний ухил узбіч – при ухилах понад 50 % інфільтрація значно зменшується. Тому в гірській місцевості ухил неукріплених узбіч необхідно збільшувати до 60-70 %. У районах з кількістю опадів більше 1000 мм влаштування неукріплених узбіч з фільтруючих піщано-гравійних ґрунтів є недоцільним [73].

У США, Канаді, ФРН і Франції, наприклад, широко застосовують укріплення узбіч і влаштування лотків для збору та відводу води з проїзної частини, щоб зменшити притік атмосферних опадів у земляне полотно. Поперечний ухил узбіч тут приймають від 20 % до 80 %, виходячи з типу укріплення (за межами крайової смуги) узбіч, наявності стоку води з проїзної частини на узбіччя і умов безпеки руху. В деяких випадках поперечний ухил ґрунтових узбіч біля бровки земляного полотна досягає 120 % [74].

В міру старіння покриттів інфільтрація опадів через них в земляне полотно зростає. Звичайно розкриті тріщини покриттів пропускають від 75 до 90 % води, яка потрапила на проїзну частину. Встановлено, що через тріщини асфальтобетонного покриття просочується в два рази більше води, ніж через узбіччя, причому основний процес інфільтрації відбувається під час танення снігу і в перші кілька днів відтавання земляного полотна, особливо якщо в цей час випадають опади. Також при незадовільному зимовому утриманні і тривалих відлигах в першій половині зимового періоду притік води в земляне полотно збільшується в 1,5 рази.

Інтенсивність вбирання вологи значною мірою залежить також від зернового і мінералогічного складів ґрунту, його вологості і щільності.

Для того, щоб зменшити вплив значної кількості атмосферних опадів на дорогу, необхідно насамперед здійснити комплекс заходів з усунення просякання води в дорожній одяг.

Цей комплекс містить: планування поверхні в зоні смуги відводу з наданням їй ухилу від дороги, спорудження водовідвідних і нагірних каналів, кюветів і водопропускних споруд, укріплення укосів земляного полотна, влаштування на узбіччях водонепроникних покриттів або придання узбіччям укріпленим водонепроникними матеріалами (щебінь, піщано-гравійна суміш) достатніх ухилів, які забезпечать стікання води, а також організація підземного водовідводу.

Одним із радикальних способів регулювання водного режиму є влаштування гідроізоляційних шарів і прошарків в земляному полотні, які зменшують морозне пучення покриттів і розуцільнення ґрунтів земляного полотна в процесі експлуатації шляхів сполучення.

Підземний водовідвід складається з різного виду дренажних конструкцій, в тому числі дренуючих прошарків під дорожнім одягом і узбіччями, прикромочного, укiсного, застійного та інших дренажів.

Ґрунтові води, які залягають на глибинах не більше двох метрів, відводять дренажами, галереями, колодязями й іншими дренажними системами, спорудження яких в кожному конкретному випадку ведуть з врахуванням місцевих умов прокладання дороги. Вільну воду з дренажів скидають поздовжніми дренами, дренами мілкого закладання і поперечними прорізами. Труби при цьому застосовують керамічні, азбоцементні, полімерні і т. д. Поздовжні дрени доцільно застосовувати на мокрих ділянках, в виїмках, нульових відмітках, низьких насипах, на ділянках з поздовжнім ухилом, більшим за поперечний, що особливо характерно для гірських автомобільних доріг. Воду з поздовжніх дренажів скидають залежно від рельєфу місцевості, але не більше, ніж через 200-350 м.

Наявність на гірських дорогах великих поздовжніх ухилів і крутих віражів ставить підвищені вимоги до опору верхніх шарів дорожнього покриття розтягуючим зусиллям, а також до недопущення ковзання між сусідніми частинками. Обстеження стану дорожнього покриття на різних ділянках гірських доріг показало, що на спусках виникають зсуви покриття (напливи). Тому, підбираючи матеріал для покриття і основ, необхідно враховувати його зсувостійкість.

Якість поверхні покриття багато в чому залежить від способу ущільнення матеріалу дорожнього покриття. Як відзначає А. Трескінський [64], модуль пружності гравію, ущільненого віброкатками, в три рази вищий, ніж ущільненого пневматичними катками.

Гірські області України мають високу забезпеченість дорогами з твердим покриттям (90,5 %), але капітальність їх порівняно низька. Так, частка доріг із чорним покриттям в гірських областях становить 59 %, в той час як у рівнинних областях – 71 %. При цьому дороги з капітальним удосконаленим покриттям становлять в горах близько 23,2 %, а в рівнинній місцевості – 39,1 %. У гірських областях високий відсоток доріг з перехідними типами покриттів, що викликає великі обсяги робіт з поточного ремонту і утримання доріг, а також підвищення їх капітальності. Міцнісні показники покриттів, влаштованих із чорного щебеню та холодного асфальту, а також методом змішування на дорозі, не відповідають вимогам сучасного автомобільного руху. На таких покриттях багато ямковості, хвиль і колійності.

Основні причини недостатньої міцності дорожніх покриттів:

- застосування для влаштування дорожніх покриттів, особливо у верхніх шарах, маломіцних місцевих матеріалів;
- влаштування проміжних шарів (під час вирівнювання поздовжнього профілю і посилення існуючого покриття) із гравійно-піщаної суміші або білого щебеню (особливо на зсувних ділянках) (рис. 6.2);
- несприятливі гідрогеологічні умови на багатьох ділянках доріг.



**Рис. 6.2. Багаторазове вирівнювання покриття автомобільної дороги на зсувній ділянці**



При виконанні робіт із капітального і середнього ремонтів, а також при реконструкції доріг конструктивні шари дорожнього покриття можуть бути використані так.

Деформативні та міцнісні властивості існуючих шарів враховують при розрахунку посилення дорожнього покриття. При цьому особливу увагу звертають на особливості напружено-деформативного стану існуючих шарів дорожніх покриттів, що викликано нетиповим їх розміщенням по глибині (наприклад, знизу вгору: шар гравію, щебеню, чорного щебеню, холодного асфальту, гравію, білого щебеню, просочення, гарячого асфальтобетону). При відповідному обґрунтуванні економічної ефективності можна провести повне перевлаштування дорожнього покриття. При цьому слід обґрунтувати доцільність використання окремих конструктивних шарів як матеріалу для подальшого застосування, наприклад, при влаштуванні шарів методом змішування на дорозі з в'язучим та тощо.

Як вказано вище, на багатьох ділянках місцевих гірських доріг, особливо на спусках, спостерігаються напливи, гребінка і хвилястість покриття, що пояснюється не лише низькою якістю матеріалів, але і слабкою конструкцією посилення. Як правило, поперечні й поздовжні профілі вирівнюють, використовуючи гравійнопіщану суміш, що вкладається шарами товщиною від 3 до 15 см. При цьому виходить шаруватий «пиріг», в якому між шарами із зв'язуючих матеріалів (наприклад, між шаром чорного щебеню і покриттям, влаштованим способом змішування на дорозі) розміщується шар із слабозв'язуючого гравійного матеріалу, гранулометричний склад якого не завжди відповідає гранулометричному складу щільних сумішей. У цьому разі в шарі міцний скелет не утворюється, а крупні фракції ніби плавають серед дрібних. Під дією навантаження ці шари будуть мати підвищену рухливість і невисоку міцність. Недостатня щільність окремих шарів у поєднанні зі значними прогинами покриття, що викликані невідповідністю конструкцій дорожнього покриття вимогам руху, призводить до утворення хвиль, колій і руйнування дорожнього покриття.

Наприклад, на одній з гірських ділянок автомобільної дороги в Карпатах на існуючому покритті, що влаштоване способом змішування на дорозі, був покладений шар із гравійного матеріалу товщиною 6-12 см, а зверху покриття із чорного щебеню товщиною 5-8 см. В результаті на спусках по шару гравію відбулося зміщення верхнього шару.

Кращий варіант зміцнення дорожніх покриттів на таких ділянках досягається киркуванням існуючих покриттів в спекотну погоду (або в холодну з підігрівом), подрібненням скиркованого матеріалу, додаванням гравію і зміщуванням старого і нового матеріалу з в'язучим на дорозі. Це дає можливість отримати шар однорідного чорного матеріалу з достатнім модулем пружності. Зміцнення дорожніх покриттів додатковими шарами матеріалу, не обробленими в'язучими, допускається тільки в тому разі, якщо ці шари мають достатню товщину і їх можна добре ущільнити, а нижні шари існуючих покриттів влаштовані з водонепроникного матеріалу або забезпечений належний водовідвід із пористого шару. При відповідному техніко-економічному обґрунтуванні вибирають спосіб зміцнення існуючих покриттів шарами із застосуванням в'язучих матеріалів:

- гравієм або щебенем, укріпленим цементом, або вапном;
- гравієм або щебнем, обробленим бітумом, дьогтем або кам'яновугільною смолою;
- гравієм з додаванням гранульованих паливних шлаків і вапна.

Вивчення роботи асфальтобетонних покриттів на гірських автомобільних дорогах України показало, що їх властивості не відповідають кліматичним умовам місцевості, які різко змінюються з висотою.

Тому при проектуванні конструкцій дорожнього одягу автомобільних доріг і виборі матеріалів для них необхідно враховувати вплив всього комплексу природно-кліматичних факторів.

Тип в'язучого, кількість і якість заповнювача відіграють велику роль в забезпеченні контакту між частинками матеріалу. Тому, підбираючи марку бітуму, мінеральний склад і температуру укладання сумішей, враховують наступне:

- в'язкість бітуму слід вибирати залежно від висоти прокладання дороги над рівнем моря;
- для утворення шорсткої поверхні, згідно з вимогами безпеки руху, а також для підвищення тертя між шарами покриття і основи до складу мінеральної суміші необхідно вводити крупний щебінь з деяким надлишком.

Терміни служби дорожніх конструкцій в гірських районах із великою кількістю опадів можуть бути підвищені, якщо при проектуванні дорожнього покриття передбачити влаштування прикінцевого шару за типом поверхневої обробки, який, надаючи шорсткості, захи-

стить верхній шар покриття від впливу атмосферних опадів. У гірських районах України дорожні покриття знаходяться в перезволоженому стані й тому чутливі до дії низьких зимових температур, особливо до частих переходів через  $0^{\circ}\text{C}$ . Тому, крім поверхневої обробки покриттів доріг, узбіччя для уникнення попадання вологи через них в дорожнє покриття потрібно обробляти водонепроникними сумішами.

Перспективним заходом для уникнення попадання ґрунтової води в дорожній одяг автомобільних доріг є влаштування водонепроникних основ із застосуванням бітумів і цементів, а також місцевих відходів виробництва (гранульованих шлаків, зол винесення). Досить високі фізико-механічні показники гранульованого паливного шлаку дозволяють використовувати його частково або повністю як замітник кам'яних матеріалів при виконанні ряду дорожньо-будівельних робіт. В неукріпленому стані його використовують окремо або в сумішах з іншими місцевими матеріалами для зведення земляного полотна, влаштування дренажних або морозозахисних шарів і укріплення узбіч.

Висока технічна й економічна ефективність досягається при влаштуванні шарів дорожніх покриттів із паливного шлаку, укріпленого цементом, вапном, бітумом або кам'яновугільним дьогтем. На автомобільній дорозі Павлівка-Марківці Івано-Франківської області в 1975 р. здійснено влаштування трьох дослідних ділянок покриття із асфальтобетону з використанням гранульованих паливних шлаків роздільного видалення (відповідно по ділянках 90, 50 і 20 %) [72]. Властивості асфальтобетону всіх наведених складів відповідали вимогам стандарту. Покриття після двадцяти двох років експлуатації знаходиться в доброму стані й не відрізняється від покриттів, при влаштуванні яких застосовувались кам'яні матеріали.

Враховуючи те, що температура повітря в гірській місцевості значно нижча, ніж на інших прилеглих територіях, особливої уваги тут заслуговує проведення робіт щодо влаштування асфальтобетонних покриттів при понижених (менше  $+5^{\circ}\text{C}$ ) і від'ємних температурах. Досвід влаштування асфальтобетонних покриттів у зимовий період показує, що при ретельній організації робіт і додержанні технологічних вимог може бути забезпечена висока якість проведення робіт при температурах до  $-15-20^{\circ}\text{C}$  [75].

При цьому основною вимогою при організації робіт у зимових умовах є забезпечення мінімуму втрат тепла асфальтобетонних сумі-

шей в процесі всього технологічного циклу від випуску суміші до завершення її ущільнення.

Основні заходи, які необхідно виконувати для забезпечення раціональної технології влаштування асфальтобетонних покриттів, такі:

- організаційна підготовка до проведення робіт;
- завчасна підготовка АБЗ до роботи при понижених і від'ємних температурах;
- організація роботи транспортних засобів;
- підготовка лінійних бригад із влаштування асфальтобетонних покриттів;
- організація контролю якості всіх видів робіт.

Організаційна підготовка до проведення робіт містить вибір ділянок для укладання асфальтобетонної суміші, якщо можливо, ближче до АБЗ, що дозволить зменшити тепловтрати при транспортуванні суміші. Товщину покриттів необхідно приймати не менше 3,5 см. Підготовка АБЗ до роботи в умовах понижених і від'ємних температур містить: утеплення бітумних магістралей ємностей; захист мінеральних матеріалів від зволоження; підготовка бункера-термоса з об'ємом не менше 2-годинної роботи; забезпечення безперервної роботи АБЗ; добувка ПАВ для підвищення якості бітуму.

Певної уваги заслуговує організація роботи транспортних засобів. Це, насамперед, застосування великовантажних автомобілів-самоскидів, особливо з кузовами, що підігріваються.

Всі автомобілі-самоскиди повинні мати інвентарні покриття, наприклад, із брезенту.

Час транспортування суміші має бути таким, щоби в момент її доставки на місце роботи температура була не нижче  $+150^{\circ}\text{C}$  для крупнозернистих і не нижче  $+140^{\circ}\text{C}$  мілкозернистих.

Для зменшення тепловитрат транспортування сумішей у період мінімальних температур повітря повинно здійснюватися на найкоротшій відстані.

Найбільш відповідальним є технологічний процес з укладання й ущільнення асфальтобетонної суміші, так як від нього в основному залежить якість проведення робіт.

Основа до початку укладання суміші повинна бути очищена від снігу й льоду з допомогою автогрейдерів і механічних щіток, а також, за необхідності, розігрівачами різного типу. При сильному вітру місце

робіт огороджують переносними щитами. Стики між нововлаштованим шаром і старим слід розігріти і змастити бітумом, а поверхню основи підгрунтувати бітумом.

Доцільно укладку покриття вести на всю ширину, в усіх випадках віброплити укладальників повинні бути попередньо розігріті. При укладці нової смуги, коли влаштовують покриття почергово на двох смугах, температура раніше влаштованого шару повинна бути не менше +90-100° С. Залежно від температури повітря вибирають і довжину захватки.

$t_n = +5\text{ }^\circ\text{C}$	$l_3 = 40-45\text{ м};$
$t_n = 0\text{ }^\circ\text{C}$	$l_3 = 35-40\text{ м};$
$t_n = -5\text{ }^\circ\text{C}$	$l_3 = 25-35\text{ м};$
$t_n = -10\text{ }^\circ\text{C}$	$l_3 = 20-25\text{ м};$
$t_n = -15\text{ }^\circ\text{C}$	$l_3 = 15-20\text{ м}.$

При швидкості вітру більше 4 м/с довжину захваток зменшують на 10 %. При товщині шарів більше 5,0 см довжину захваток можна збільшити на 10-15 % до наведених вище для шарів 4,0-5,0 см.

Ефективність ущільнення суміші залежить від її температури, яка вкінці ущільнення повинна бути не менше +50° С.

Ущільнення необхідно вести поздовжніми проходами котків від краю укладеної смуги до середини, а потім від середини до країв з перекриттям смуг на 30-50 см. Перші проходи при цьому слід робити по сполученню з раніше влаштованою смугою. Щоб попередити охолодження асфальтобетонного шару, воду, яку застосовують для змочування вальців котків, треба підігрівати до +15° С, при цьому витрати води повинні бути мінімальними.

Перші 1-2 проходи катків необхідно вести на понижених передачах зі швидкістю 1,5-2 км/год., дальші проходи виконують на підвищених передачах зі швидкістю 3-5 км/год. для металевих котків 5-6 км/год. для котків на пневмошинах. Останні проходи проводять на швидкостях 1,5-2 км/год.

Як в'язуче в 1974 р. при влаштуванні основи автомобільних доріг в Українських Карпатах було використано сиру важку нафту (питома вага при 20° С – 0,90 г/см<sup>3</sup>, вміст смол і асфальтенів – 52 %, парафіну – 9,5 %, в'язкість за віскозиметром 6 с). Верхній шар основи товщиною 8 см із подрібненої гравійної суміші, обробленої 6-6,3 %

сирої нафти, влаштовували способом зміщування на дорозі Надвірна-Пнів Івано-Франківської області з допомогою автогрейдера. Для ліпшого зчеплення плівки в'язучого з поверхнею кам'яного матеріалу подрібнену гравійну суміш перед введенням в'язучого активували гашеним вапном (3 % маси мінеральної частини). Активність вапна за вмістом  $\text{CaO} + \text{MgO}$  становила 6 %.

Як полімерну добавку при виготовленні поліпшеного органічного в'язучого застосовують тверді відходи вузлів очищення стічних вод цехів виробництва емульсійованого полівінілхлориду у вигляді фільтраційного кеку.

Поліпшене в'язуче використовують як органічні в'язучі для приготування гарячих і теплих дьогтебетонів, для влаштування чорних щєбєневих і гравійних покриттів за способом просочення, а також для поверхневих обробок.

На відміну від кам'яно-вугільного кеку фільтраційний кек не спричиняє шкідливого впливу на організм людини, тому його використання сприяє поліпшенню санітарно-гігієнічних умов праці робітників.

Використання гранульованих паливних шлаків і зол винесення для дорожніх робіт не тільки дозволяє покращити якість і водонепроникність основ і покриттів автомобільних доріг, але є й ефективним заходом з усунення забруднення навколишнього середовища промисловими відходами, ліквідації відвалів і вивільнення зайнятих ними родючих земель.

Ремонт мостів у гірській місцевості має свої особливості у зв'язку з частими повенями і селями, блуканням русел рік, виникненням значних розмивів. Питання боротьби з розмивами детально висвітлені нижче, а тут коротко зазначимо таке.

Під час складання плану організації ремонту мостів та інших штучних споруд необхідно ретельно продумати терміни виконання робіт, особливо при влаштуванні опор. Опори, і насамперед їх фундаменти, зводять в період, коли, за багаторічними даними для даної місцевості, повені не спостерігаються (наприклад, жовтень-квітень для Прикарпаття). Враховуючи метеорологічні умови гірської місцевості, проїзну частину мостів, якщо це можливо, роблять безперервною. Якщо цього не можливо досягти за допомогою нерозрізних прогінних будов, то влаштовують температурно-нерозрізну проїзну частину шляхом шарнірного сполучення прогонів над опорами.

Часті катастрофічні повені визначили новий напрямок у влаштуванні опор мостів на гірських і передгірських ріках Українських Карпат. Опори влаштовують стовпчасті з ригелем, що забезпечують їх вільне обтікання річковим потоком. Фундаменти опор виготовляють з буронабивних паль діаметром до 1400 мм. Проте, враховуючи, що за чинними нормативами габарити мостів визначають на 20-річну перспективу, а термін служби мостів становить 50 років і більше, для їх реконструкції необхідно буде збільшити довжину ригелів, що зробити практично неможливо. Під час будівництва мостів на гірських ріках України, де спорудження опор пов'язане з великими труднощами (глибоке закладання бурових паль, часті повені, велика висота мостів та ін.), ригелі опор по довжині необхідно влаштовувати з врахуванням майбутнього розширення мостів. У цьому разі розширювання моста можна виконувати, не влаштовуючи нових опор, вартість чого значно вища, ніж вартість робіт щодо завчасного подовження ригелів [11].

У складних кліматичних умовах гірських областей України важливе значення мають систематичний нагляд і догляд за збудованими у великій кількості на автомобільних дорогах штучними спорудами. Ці заходи поділяють на постійний нагляд і догляд, поточні, періодичні та спеціальні огляди.

Постійний нагляд і догляд містить регулярний огляд споруд виявлення і полагодження дрібних пошкоджень, очищення від бруду, сміття, льоду і снігу проїзної частини, тротуарів та інших елементів конструкцій прогінних споруд і опор. Крім того, контролюють дотримання встановленого режиму руху, утримання в справному стані дорожніх знаків і огорожень.

Поточні огляди, які проводять мостові майстри, містять детальний огляд споруди, виявлення дефектів, призначення заходів для їх усунення, а також контроль виконання приписів постійного нагляду. Поточні огляди постійних мостів проводять раз на півріччя, дерев'яних раз на квартал. Мости оглядають перед пропусканням льодоходу і весняних вод, після їх проходження, а також після повеней. Малі мости і труби оглядають додатково після випадання інтенсивних дощів [76].

Усі виявлені при поточному огляді дефекти повинні бути зареєстровані в мостовій книзі або журналі споруди. Періодичні огляди проводять при нормальному стані споруд щорічно після пропускання льоду, весняних вод і повеней, а також після закінчення ремонтних

робіт. Результати періодичних оглядів із переліком виявлених дефектів і визначенням обсягів ремонтних робіт заносять у книгу або журнал штучних споруд. Спеціальні огляди дерев'яних мостів проводять через три-чотири роки, металевих через сім і залізобетонних через десять років. При поганому або аварійному стані споруд проміжки часу між оглядами скорочують. При всіх видах оглядів велику увагу приділяють станові проїзної частини, системи водовідводу, опор і русел під мостом, а також регуляційних споруд. Результати спеціальних оглядів, обстежень і випробувань оформляють актами, звітами й технічними висновками, в яких детально відображають стан споруди і установлюють режим її експлуатації, а також обсяги і терміни виконання робіт з усунення дефектів в елементах споруди.

Дорожня мережа в гірських областях України за останні роки розширилась, збільшилась довжина доріг з твердим покриттям. Ріст автомобільного парку і якісне його удосконалення призвели до ускладнення транспортної ситуації в цій місцевості. Постійно збільшуються потоки автомобілів, в складі яких різко зріс відсоток великовантажних і особливо легкових автомобілів. У зв'язку з цим ускладнились завдання дорожньо-експлуатаційної служби щодо утримання автомобільних доріг, забезпечення безпеки і безперервності руху автомобілів та створення необхідних зручностей для пасажирів.

Для підвищення ефективності дорожньо-експлуатаційної служби на гірських дорогах винятково важливим є вдосконалення технології проведення робіт. Одне з першочергових завдань в цьому напрямку досягнення максимальної продуктивності на основі високої організації робіт і широкої механізації виробничих процесів, особливо робіт з поточного ремонту й утримання земляного полотна та дорожніх покриттів, забезпечення належного водовідводу, влаштування дренажів, ремонту штучних споруд, догляду за зсувними, обвальними та снігозахисними ділянками при високій якості виконання робіт.

При поточному ремонті чорних покриттів необхідно застосовувати інфрачервоні розігрівачі, що дозволяють виконувати роботи в умовах частого випадання дощів і при від'ємних температурах повітря. Для ліквідації окремих пошкоджень слід використовувати матеріали на основі гумо-бітумних композицій і литий асфальт. Виконуючи роботи з поточного ремонту, слід мати на увазі, що при попаданні води у волосяні тріщини утворюється мозаїчна система тріщин, які не під-



даються зарівнюванню бітумом. Якщо в матеріалі основи навіть в незначній кількості є домішки глини и вологи, укладання верхніх шарів з асфальтобетонної суміші сприяє підняттю вологи із основи і утворенню під покриттям тонкого шару води. Ямковий ремонт покриття на таких ділянках також недоцільний. Якщо основа просочена водою, її розкривають на значну глибину і виконують роботи з водовідводу. При цьому велику увагу приділяють попередженню попадання води на контакт чорного покриття і неукріпленої основи, оскільки рух транспорту в цьому разі обов'язково спричинить утворення хвиль на покритті. Щоб уникнути цього, прокладають нагірні канави і кювети, влаштовують дренажні системи.

Дуже важливими питаннями, враховуючи складні рельєфні умови місцевості, великі ухили, часті повороти траси і складні метеокліматичні умови, є підвищення шорсткості дорожніх покриттів і боротьба із зимовою слизькістю.

У зв'язку з наявністю на гірських дорогах великої кількості штучних споруд (мостових переходів, труб, підпірних стінок, дренажних і водовідвідних систем) забезпечення вчасного їх ремонту і належного утримання одне з невідкладних завдань дорожньо-експлуатаційної служби.

Утримання гірських автомобільних доріг в нормальному стані може бути забезпечене запровадженням бригадно-патрульного методу утримання доріг. Важливого значення при цьому набувають заходи щодо організації безпеки руху автомобільного транспорту, яка здійснюється на основі проектів організації руху (ПОР).

Основні завдання при розробці ПОР зменшення кількості і важкості дорожньо-транспортних пригод, створення зручностей і безпеки умов для руху транспортних засобів і пішоходів, збільшення пропускної спроможності доріг і вдосконалення системи дорожньої організації. В ПОР мають входити схема встановлення дорожніх знаків, маршрутні схеми і схеми проїзду транзитних транспортних засобів через крупні населені пункти, горизонтальна і вертикальна розмітка доріг і споруд, схема організації руху на складних ділянках дороги. В проекті також повинні бути передбачені встановлення в небезпечних місцях огорожувальних пристроїв, протиосліплюючих екранів, обладнання пересічень з другорядними дорогами, оформлення майданчиків для стоянки автомобілів оглядовими естакадами і екранами для регулювання світла фар. Для пасажирів на гірських автомобільних дорогах

має бути передбачений комплекс споруд, що забезпечують зручність під час їхньої подорожі.

Для кращої орієнтації водіїв і пасажирів автомобільні дороги обладнують вичерпною інформацією. Маршрутні схеми і схеми проїзду транзитних автомобілів встановлюють на спеціально обладнаних майданчиках для того, щоб пасажирів і водіїв, не виходячи з автомобіля, могли отримати всі відомості щодо дальшої дороги, відстаней до необхідних місць та ін..

Дорожньо-експлуатаційні організації, що виконують роботи з ремонту й утримання дорожніх об'єктів (автомобільні дороги загального користування з усіма розміщеними на них спорудами в межах смуги відводу), повинні вжити всіх заходів щодо організації і забезпечення безпеки руху автотранспорту та пішоходів на підставі вимог чинних правил, норм та стандартів, що стосуються забезпечення безпеки дорожнього руху згідно з чинним законодавством України [77].

Основою планування заходів з організації і забезпечення безпеки руху повинні бути:

- народногосподарське значення автомобільних доріг;
- місцезнаходження автомобільної дороги (зона, підзона, район за дорожньо-кліматичним районуванням);
- інтенсивність, склад та швидкість руху;
- результати щомісячного аналізу дорожньо-транспортних пригод;
- результати комюшних обстежень стану доріг та дорожніх споруд;
- комісійні науково-обґрунтовані пропозиції щодо ліквідації місць та ділянок концентрації ДТП;
- приписи Державтоінспекції МВС України.

З метою регулювання водно-теплового режиму ґрунтів на гірських автомобільних дорогах необхідно влаштовувати кювети із забезпеченням постійного скидання води в понижені місця. В багатьох випадках існуючі дорожні кювети, особливо з нагірного боку, використовують для збору води, що стікає зі схилів і верхових потоків. Це негативно впливає на стан земляного полотна, яке при надмірному зволоженні сильно деформується, а дорожнє покриття руйнується. Тому для скидання води необхідно прокладати нагірні канали або, якщо такої можливості немає, укріплювати укоси і дно кюветів водонепроникними матеріалами. Кювети слід систематично прочищувати.

Випускати воду з канав, кюветів і лотків у понижені місця рельєфу місцевості можна тоді, якщо це не викликає заболочення місцевості і застою води біля підніжжя земляного полотна. Відвід води з цих споруд повинен бути забезпечений самопливом в бік, протилежний від автомобільної дороги, або до найближчої водопропускної споруди.

При розташуванні дороги в гірській місцевості вздовж косогору необхідно з верхового боку влаштувати водовідвідну канаву або відкритий лоток зі скиданням води вздовж цих споруд або через дощоприймальні колодязі і водопропускні труби під дорогою з відведенням стоку на низовій укіс косогору [73].

Проте не можна вважати, що влаштування і прочистка кюветів повністю вирішують проблему регулювання водно-теплового режиму земляного полотна і дорожнього одягу. В умовах близького залягання ґрунтових вод або виклинювання їх на схилах виїмок і піввиїмок відбувається інтенсивне зволоження земляного полотна і шарів дорожнього одягу. В поєднанні з дією навантаження, яке для багатьох ділянок дорожніх покриттів сьогодні набагато вище від розрахункового, відбувається інтенсивне руйнування дорожнього покриття, що вимагає застосування комплексних заходів з регулювання водно-теплового режиму і зміцнення дорожніх покриттів. У даному разі найбільш ефективним рішенням буде влаштування підкюветного дренажу. Це дуже трудомістка робота, враховуючи умови гір, але вона дає добрі результати.

Практика експлуатації залізниць показала, що ефективним методом підвищення несучої здатності земляного полотна є влаштування безкюветних дренажів, які служать для збору й відводу ґрунтових і поверхневих вод.

Основні переваги безкюветних дренажів порівняно з іншими водовідвідними спорудами такі:

- значне підвищення стабільності земляного полотна;
- зменшення утворення випинань завдяки деякій утеплюючій дії;
- поліпшення умов безпеки руху завдяки відсутності кюветів;
- низькі витрати на влаштування й експлуатацію.

У процесі експлуатації гірських автомобільних доріг важливо організувати належний нагляд за роботою дренажних систем. Всі несправності, які виникають у процесі їх роботи, можна розділити на ме-

ханічне пошкодження труб, оглядових колодязів і випусків, порушення конструктивної цілісності дренажу і закупорювання трубопроводів (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

**Причини, які викликають несправність дренажів**

Види несправностей	Помилки при ремонті	Незадовільне утримання	Природні фактори
Механічні пошкодження	Використання бракованих труб, низька якість матеріалів	Неякісне виконання земляних робіт. Проведення вибухових робіт поблизу дренажів	Агресивність вод. Стихійні лиха. Розморожування елементів дренажів
Порушення конструктивної цілісності дренажів	Деформації dna траншеї. Невиконання вимог проекту. Порушення технології.	Несвоєчасне усунення пошкоджень дренажів і причин, які їх викликають	Раптові переміщення земляного полотна і схилів (зсуви)
Закупорювання трубопроводів	Складність практичного здійснення конструкції. Застосування оглядових колодязів невдалої конструкції	Несвоєчасна очистка оглядових колодязів і виходів дренажу на поверхню. Несвоєчасний ремонт дренажів	Хіміко-бактеорологічні ускладнення. Попадання в трубопровід сторонніх предметів

Як зазначалося вище, прокладання автомобільних доріг часто порушує рівновагу навколишнього середовища. Однією з основних причин цього порушення є водна і вітрова ерозія ґрунтів. Причиною ерозії ґрунтів часто є водопропускні споруди.

Водотоки при пересіченні їх гірськими дорогами виявляються стиснутими малими мостами і трубами, внаслідок чого швидкість у водопропускних спорудах і за ними значно зростає порівняно з побутовими. Це створює умови для розвитку водної ерозії. Ерозійна діяльність в горах проявляється в утворенні ярів нижче водопропускних споруд.

При незадовільно запроектованій водопропускній споруді водотік, внаслідок розмивання dna і берегів, може перетворитися на глибокий і широкий яр, що створює загрозу стійкості земляного полотна і

сільськогосподарському використанню прилеглих земель. У гірських районах зі сприятливими для розвитку ерозії умовами на стадії експлуатації автомобільної дороги необхідно вживати додаткові заходи проти розмивання.

Для боротьби з ерозією ґрунтів проводять комплекс організаційно-господарських, агротехнічних, лісомеліоративних і гідротехнічних заходів. Гідротехнічні споруди, які застосовують для попередження розвитку ерозійних процесів, залежно від призначення поділяють на чотири групи.

Водоспрямовуючі споруди – розпилювачі стоку і водовідвідні вали призначені для відводу води від розмивних ділянок доріг.

Водозатримуючі споруди – вали, тераси, греблі, перемички застосовують для регулювання стоку.

Водоскидні споруди – лотки, бистротоки, перепади, консольні водоскиди – призначені для скидання води на дно ярів, балок, а також закріплених ярів.

Донні споруди – загати, кам'яні накиди і перепади – використовують для закріплення ярів, вирівнювання поздовжнього профілю балок і підвищення базису ерозії.

Важливе значення в процесі експлуатації гірських автомобільних доріг має правильна експлуатація гідротехнічних споруд. Після закінчення будівництва необхідно провести паспортизацію всіх гідротехнічних споруд з відміткою в спеціальному журналі виду, року будівництва, місця розташування, розмірів і вартості споруди.

Після випадання сильних дощів гідротехнічні споруди оглядають і при необхідності ремонтують.

За гідротехнічними спорудами необхідно вести щорічний нагляд: восени споруди очищають від рослинності і намулу, взимку – від снігу. Особливо старанного догляду вимагають ці споруди навесні. Після кожнорічної експлуатації в паспорт вносять всі дані про капітальний та інші види ремонтів, в тому числі і їх вартість.

Земляне полотно на багатьох ділянках гірських автомобільних доріг України за своїми розмірами формою не повною мірою відповідає вимогам ДБН. Тому одним з основних завдань дорожньо-експлуатаційних організацій при ремонті земляного полотна повинно бути поліпшення його геометричних форм і забезпечення стійкості в будь-який період року і при будь-яких стихійних явищах (повенях, селях,

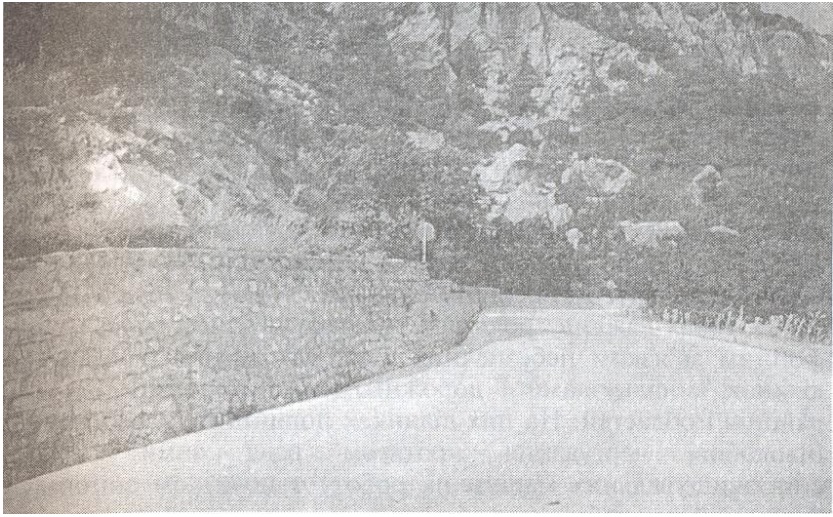
рясних дощах та ін.). У гірських областях великі роботи доводиться проводити зі стабілізації й уникнення зсувів.

Особливо великих труднощів завдає утримання автомобільних доріг гірських областей Українських Карпат і Криму, які, крім зсувів, піддаються дії обвалів і осипів, снігових лавин і оледенінь, повеней і селей.

Обвал – швидкий відрив і обвалення, що супроводжується перекиданням, дробленням і скочуванням гірської маси вниз по схилу. На відміну від обвалу, осип – це тривалий, безперервний і повільний рух накопичених на схилі уламкових продуктів вивітрювання, які містять щебінь і крупні кам’яні брили. Боротьба з обвалами і осипами найчастіше потребує виконання капітальних робіт. При проектуванні автомобільних доріг ділянки місцевості, де можливі обвали і осипи, бажано за можливості обходити. Якщо це не зроблено і не побудовані захисні споруди під час будівництва автомобільної дороги (рис. 6.3, 6.4, 6.5, 6.6), боротьбу з обвалами і осипами потрібно буде проводити на стадії її експлуатації, що значно дорожче.



**Рис. 6.3. Каменезахисна галерея на автомобільній дорозі Севастополь-Феодосія**



**Рис. 6.4. Підпірна стіна на обвальній ділянці автомобільної дороги в Криму**

Звалені на автомобільну дорогу камені й гірську породу необхідно терміново прибирати. Дорожньо-експлуатаційна служба повинна постійно спостерігати за станом автомобільної дороги на обвальнo-осипних ділянках, підтримуючи їх у чистоті і порядку.

Великих труднощів рухові автомобільного транспорту взимку завдають снігові замети на гірських дорогах, які часто супроводжуються буреломом. Для розчищення доріг від снігу проводять патрулювання ділянок, які піддаються сніговим заметам, автомобільними снігоочищувачами. На перевальних ділянках снігові замети розчищають важкими машинами: бульдозерами і фрезерно-роторними снігоочищувачами. Останні мають малий питомий тиск (0,046 МПа), що дозволяє застосувати їх для розчищення снігових заметів великої висоти на дорогах з будь-яким радіусом повороту і ухилом.

У горах важливу роль відіграє забезпечення радіо- і телефонним зв'язком небезпечних в умовах зимового утримання ділянок із сільрадами і дорожньо-експлуатаційною службою районів і областей. На цих ділянках повинні бути організовані цілодобові чергування протягом всієї зими і вихід снігоочищувальних машин на роботу з початком снігопаду в будь-який час доби.

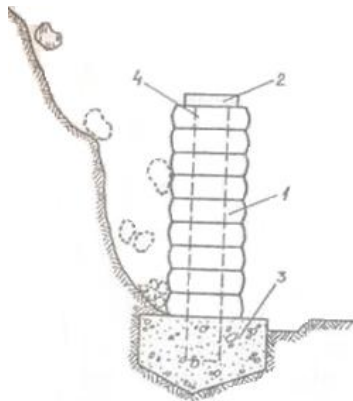


Рис. 6.5. Каменевловлювальна підпірна стіна:

- 1 – автомобільні покришки; 2 – насадка; 3 – бетонний фундамент; 4 – стовп

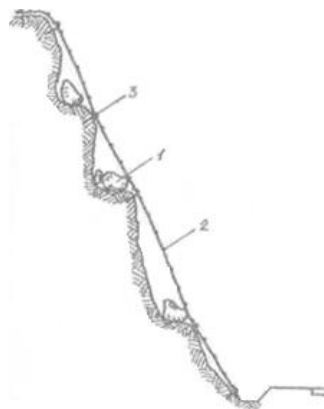


Рис. 6.6. Захист автомобільної дороги від каменепадів з допомогою сітки:

- 1 – каміня; 2 – сітка; 3 – костилі

Для боротьби із зимовою слизькістю використовують кам'яні матеріали в суміші з сіллю, які розсипають у кількості, що залежить від складності ділянки дороги. Щоб уникнути зволоження, протиожеледні матеріали заготовляють восени і зберігають під навісами, розміщеними на відстані 10-15 км. Крім базистих складів, на всіх небезпечних ділянках доріг (великих поздовжніх ухилах, кривих малих радіусів, пересіченнях на одному рівні) потрібно створити додаткові аварійні запаси протиожеледних матеріалів з підвищеним вмістом солі. Останніми роками для підсипання слизьких ділянок доріг почали застосовувати шлак і зубер, до складу останнього входять 60 % NaCl, 5 % KCl і CaCl<sub>2</sub> та 35 % нерозчинного залишку. Плавильна здатність зубера близька до плавильної здатності хлориду кальцію.

Суттєвим недоліком хлоридів є їх агресивна дія на вузли автомобілів, мостові конструкції, цементобетонні покриття, бетонні лотки і бордюри. Деякі хлориди шкідливо впливають на ріст рослин. Найвища концентрація хлоридів звичайно буває на узбіччях і укосах земляного полотна. На відстані 10-15 м від узбіч ці солі вже не здійснюють шкідливого впливу на посіви, ґрунт і рослинність.



Для того, щоб запобігти попаданню в ґрунт хлоридів високої концентрації, воду, яка їх містить, відводять від земляного полотна і збирають у кювети. У деяких країнах (Німеччина) в системі придорожного водовідводу водоохоронних зон влаштовують водоочисні споруди, що повністю не допускає стікання води з доріг на прилеглі поля. В інших країнах вирішальне значення має механічне прибирання снігу і розсіювання піску та шлаку (без хлоридів).

## РОЗРАХУНОК СТІЙКОСТІ УКОСІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА МІЦНІСТЬ З УРАХУВАННЯМ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ

Метод оцінки стійкості укосів земляного полотна по міцності (перша група граничних станів) з урахуванням напруженого стану розроблений на основі закономірностей статичної теорії зернистих середовищ [52, 70]. Він дозволяє оцінювати стійкість ґрунтових масивів шляхом порівняння в розрахунковій точці опору зрушення ґрунту при заданих розрахункових характеристиках відносного зчеплення ґрунту  $C_w$  і кута внутрішнього тертя матеріалу  $j_w$  з дотичною напругою, що діє по граничній площині при коефіцієнті запасу стійкості  $K_{зан}=1$ . Метод дозволяє визначати  $K_{зан}$  укосів земляного полотна однорідного складу за відсутності фільтрації і виходу ґрунтових вод на поверхню укосу.

Розрахунок однорідних укосів земляного полотна виконують у такій послідовності:

1) для заздалегідь наміченої висоти укосу і об'ємної маси ґрунту визначають відносне значення зчеплення  $C_w/\gamma H$  ґрунту;

2) по графіку (рис. 1.1) визначають граничне значення зчеплення  $C_0/\gamma H$  по відомому значенню крутизни укосу  $\alpha$  і куту внутрішнього тертя матеріалу  $j_w$ ;

3) за номограмою (рис. 1.2), використавши  $\alpha$  і  $j_w$  і визначивши відношення  $C'_w/C'_0$ , знаходять  $K_{зан}^c$ .

Загальний коефіцієнт  $K_{зан}$  обчислюють за формулою:

$$K_{зан} = K_{зан}^y + K_{зан}^c = 1 - \frac{C_1}{\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos j_w} + \frac{C_1 \frac{C'_w}{C'_0}}{\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos j_w}, \quad (1.1)$$

де  $K_{зан}^y$  – коефіцієнт запасу стійкості при  $C_w = 0$ ;

$K_{зан}^c$  – коефіцієнт запасу стійкості при  $j = 0$ ;

$C_1$  – змінна величина зчеплення ґрунту в розрахунковій точці укосу, кгс/см<sup>2</sup>;

$\sigma_1, \sigma_2$  – відносне значення головної напруги в розрахунковій точці укосу, кгс/см<sup>2</sup>;

$j_w$  – кут внутрішнього тертя матеріалу, град;

$C'_w$  – відносне зчеплення ґрунту, кгс/см<sup>2</sup>:

$$C'_w = \frac{C_w}{\gamma H}. \quad (1.2)$$

$C'_0$  – граничне зчеплення при  $K_{зан}=1,0$ , кгс/см<sup>2</sup>:

$$C'_0 = \frac{C_0}{\gamma H}. \quad (1.3)$$

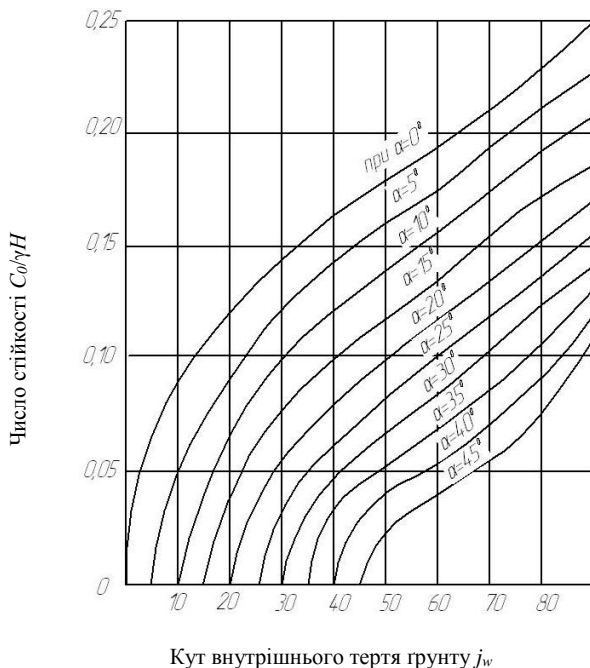


Рис. 1.1. Визначення числа стійкості по міцності залежно від кута закладання укосу  $\alpha$  і кута внутрішнього тертя ґрунту  $j_w$

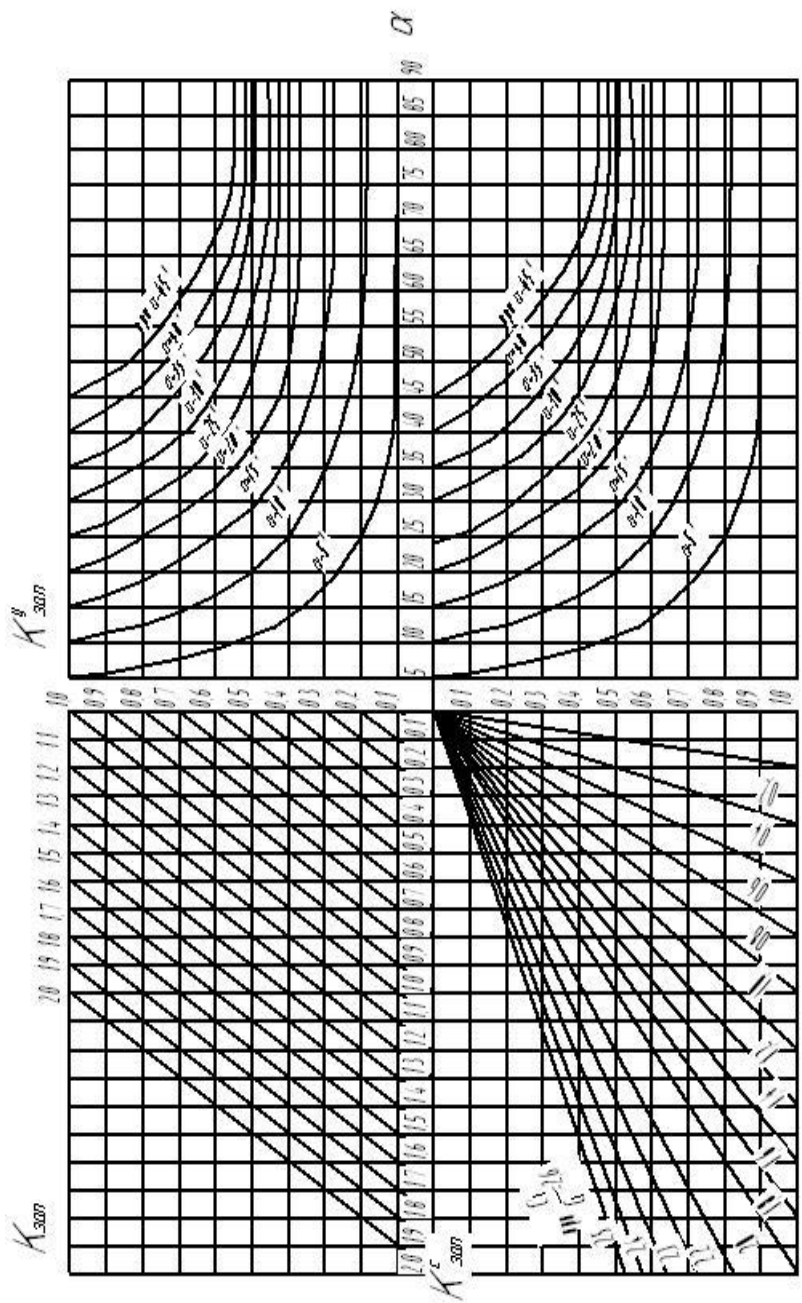


Рис. 1.2. Номограма для визначення коефіцієнта запасу стійкості укосів, однорідних по міцності

4) знайдені значення  $K_{зан}$  порівнюють з необхідним значенням  $K_{треб}=1,3$ . При  $K_{зан}$  менш ніж  $K_{треб}$  розрахунок повторюють, заздалегідь зменшивши крутизну укосу.

*Приклад:* Визначити коефіцієнт запасу стійкості укосу  $\alpha=45^\circ$ ,  $H=20$  м,  $\gamma=2$  т/м<sup>3</sup>,  $j_w=20^\circ$ ,  $C_w=4,65$  тс/м<sup>2</sup>.

$$C'_w = \frac{C_w}{\gamma H} = \frac{4,65}{2 \cdot 20} = 0,12.$$

1) По рис. 1.1 при  $\alpha=45^\circ$ ,  $j_w=20^\circ$  знаходять  $C'_0 = \frac{C_0}{\gamma H} = 0,078$ .

2) По номограмі при  $\alpha=45^\circ$ ,  $j_w=20^\circ$ ,  $K_{зан}^y = 0,42$  при  $\frac{C'_w}{C'_0} = 1,4$

Сумарне значення коефіцієнта запасу стійкості  $K_{зан} \geq 1,3$ .

## РОЗРАХУНОК АНКЕРНИХ УТРИМУЮЧИХ ПРОТИЗСУВНИХ СПОРУД

Гнучкі (анкерні) утримуючі споруди складаються з одного, двох або більшої кількості рядів анкерних затягувань, що розташовуються впоперек обвального масиву. Кожне анкерне затягування у свою чергу складається з трьох елементів (рис. 2.1):

- 1) анкерної тяги, закріпленої нижче площини ковзання зсуву в міцних і стійких породах;
- 2) анкерної плити, що укладається на поверхню зсувного масиву над гирлом свердловини;
- 3) кореня анкера, що встановлюється в міцних і стійких породах на розрахунковій глибині нижче за поверхню ковзання або зони горизонту, що деформується.

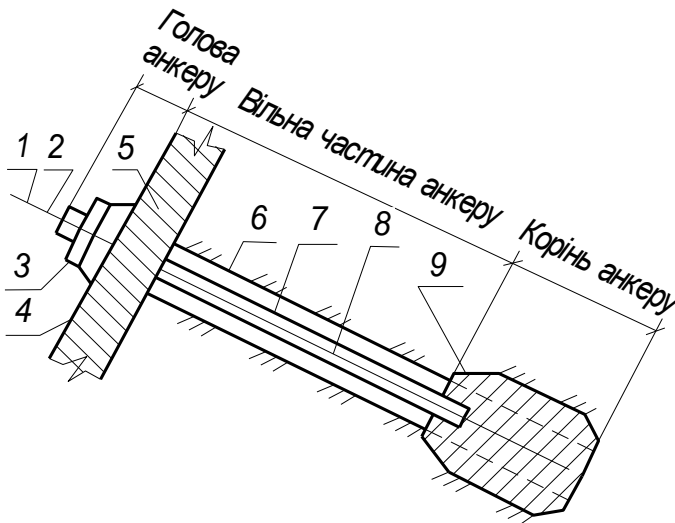


Рис. 2.1. Схема анкерного затягування:

- 1 – точка закріплення тяги анкера при його натягненні; 2 – точка кріплення тяги в голові анкера при включенні анкера в роботу; 3 – анкерна шайба; 4 – упор;  
5 – анкерна плита; 6 – свердловина; 7 – захисна пластмасова труба; 8 – тяга;  
9 – цементобетон

Гнучкі (анкерні) утримуючі споруди застосовуються для закріплення обвальних і зсувонебезпечних територій. Вони часто використовуються спільно з утримуючими спорудами кінцевої жорсткості (рис. 2.2). При їх самостійному використанні слід враховувати можливі переміщення обвальних схилів, закріплених такими спорудами. Тому вони рідко застосовуються для закріплення ділянок, на яких розташовані будівлі і споруди.

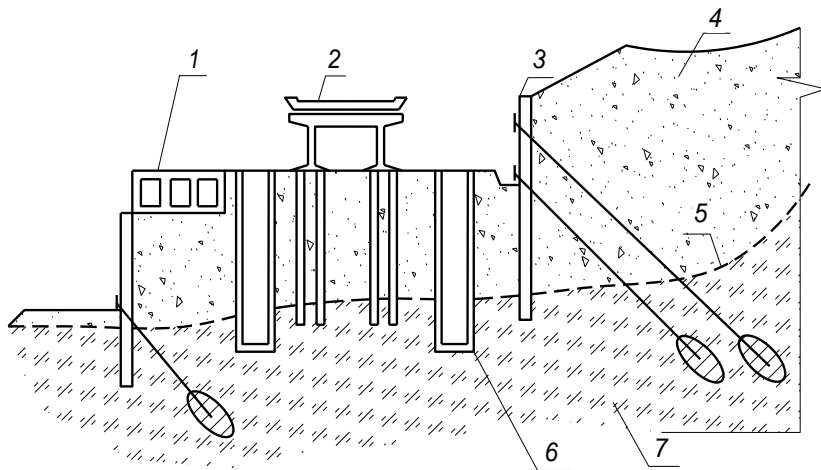


Рис. 2.2. Приклад стабілізації обвалу:

- 1 – заанкерна підпірна стінка з колекторами; 2 – естакада на ростверку палі; 3 – заанкерна підпірна стінка; 4 – обвальні ґрунти; 5 – поверхня зсуву; 6 – дренажні штовальні з системою горизонтальних дренажів; 7 – корінні породи

Проект анкерних утримуючих споруд із використанням будь-яких типів анкерів, їх необхідної кількості й розмірів, планового розміщення, визначення несучої здатності, забезпечення довговічності, вибору оптимальних способів виконання робіт розробляється з урахуванням виду території, де передбачається використовувати такі споруди (зсувонебезпечна або обвальна), інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов ділянки.

Розрахунок анкерної конструкції включає:

- а) оцінку ступеню стійкості обвального масиву і визначення активного обвального тиску з урахуванням необхідного коефіцієнта запасу стійкості  $K_{зан}$ ;

- б) визначення розрахункового анкерного зусилля;
- в) визначення безпечного і допустимого навантажень від анкерної плити на ґрунти обвального масиву;
- г) призначення конструкції анкерної плити і тяги;
- д) введення в розрахунок попереднього натягнення анкерної тяги поправки на подовження тяги і осідання анкерної плити;
- е) призначення кількості анкерних затягувань і розміщення їх в плані укусу або схилу;
- ж) призначення конструкції і розрахунок нижнього анкерного закладення.

Розрахунок гнучкої анкерної утримуючої споруди приводять до значення обвального тиску  $E$ . Величина зсувів і зусиль в однорядній гнучкій утримуючій споруді при нерухомому нижньому корені (рис. 2.3) на ділянці зсувних ґрунтів визначається на підставі рішення наступного інтегродиференційного рівняння:

$$\frac{d}{dx} \left\{ \begin{array}{l} H_n + Fk_0^b \left( \int_0^l \sqrt{1 + (y'(u))^2} du - l \right) - b_1 f \int_0^x \phi_1(u) \delta(u) du - \\ - b_1 \int_0^x (m-1) \phi_1^b(z) \left[ \int_0^z \sqrt{1 + (y'(u))^2} du - z \right] dz \end{array} \right\} \frac{dy}{dx} = \quad (2.1)$$

$$= b_1 \phi_1(x) (\delta(x) - my) \sqrt{1 + (y'(x))^2},$$

де  $H_n$  – попереднє натягнення тяги анкера, м;

$F$  – площа перетину верхньої анкерної плити, що доводиться на одну тягу, м<sup>2</sup>;

$k_0^b$  – вертикальний коефіцієнт жорсткості ґрунту на рівні підшви верхнього анкера;

$l$  – довжина ділянки тяги від поверхні ковзання, де є епіюра опори гнучкої утримуючої споруди зсувного тиску, м;

$L$  і  $b_1$  – глибина занурення вертикальних елементів утримуючих проти-зсувних споруд і їх поперечний розмір, м;

$\delta(x)$  – значення зсуву ґрунтів, залежне від глибини перетину ( $x$ ), м;

$\phi_1(x)$  і  $\phi_2(x)$  – функції, що характеризують жорсткість ґрунтів залежно від глибини  $x$  в межах обвального блоку і нижче за поверхню ковзання в горизонтальному напрямі;

$\phi_1^b(x)$  – те ж у вертикальному напрямі;



$h$  – глибина до поверхні зсуву на ділянці влаштування утримуючих проти-зсувних споруд, м;

$m$  – коефіцієнт, що враховує ступінь стійкості обвальних ґрунтів, що безпосередньо примикають до утримуючої споруди з низового боку:  $m=2$ , якщо коефіцієнт стійкості ґрунтів зсувонебезпечного схилу більше або дорівнює 1,5;  $m=1$ , якщо стійкість обвальних блоків, що примикають до споруди, не гарантується; у решті випадків значення  $m$  береться по лінійній екстраполяції залежно від коефіцієнта стійкості ґрунтів;

$f$  – коефіцієнт тертя зсувних ґрунтів об утримуючі елементи споруди.

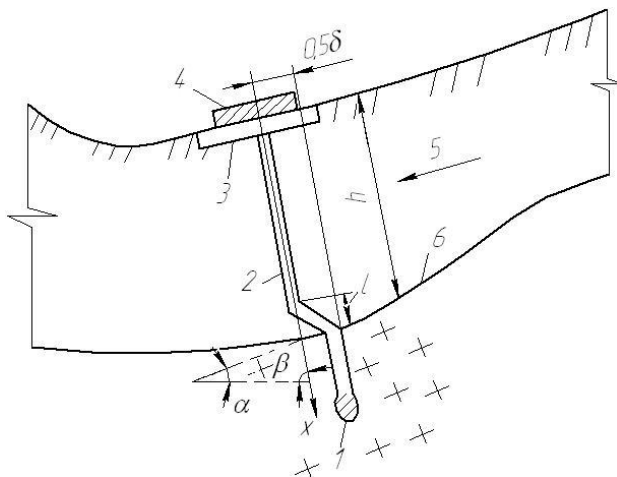


Рис. 2.3. Розрахункова схема гнучкої анкерної утримуючої споруди:

1 – корінь; 2 – тяга; 3 – анкерна плита; 4 – упор; 5 – напрям руху зсуву; 6 – поверхня ковзання

Рішення рівняння (2.1) можливо отримати для близького до нуля значенню тертя зсувних ґрунтів об тягу ( $f \approx 0$ ) і малого опору переміщенню тяги в зсувних ґрунтах

$$\left\{ \left[ b_1 \int_0^x (m-1) \varphi_1^b(z) \left[ \int_0^z \sqrt{1+(y'(u))^2} du - z \right] dz \right] \right\},$$

при апроксимації  $\varphi_1(x) = k_0(1 + b_h x)^{-2}$ , де  $b_h = \frac{1}{h} \left( \sqrt{\frac{k_0}{k_h}} - 1 \right)$ .

Рішення (2.1) має вигляд

$$y = \delta \left[ \frac{1}{m} + A_j (1 + b_h x)^{0,5-s_i} \right], \quad i = 1, 2, \quad (2.2)$$

$$\text{де } s_i = \pm 0,5 \sqrt{1 - 8 \frac{b_1 k_0}{b_h^2 H}},$$

$H$  – загальне натягнення тяги під впливом зсувного тиску, м. Його значення знаходять методом послідовних наближень за рівнянням

$$H = H_n + F k_o^b \left( \int_0^l \sqrt{1 + (y'(u))^2} du - l \right), \quad (2.3)$$

де  $H_n$  – попереднє натягнення тяги анкера, м;

$F$  – площа перетину верхньої анкерної плити, що доводиться на одну тягу, м<sup>2</sup>;

$k_o^b$  – вертикальний коефіцієнт жорсткості ґрунту на рівні підшви верхнього анкера;

$l$  – довжина ділянки тяги від поверхні ковзання, де є епюра опори гнучкої утримуючої споруди зсувного тиску, м.

У залежності (2.2) застосовуються показники, пояснення яких наведено вище.

Для інженерних розрахунків допускається визначати натягнення тяги  $H$  за формулою:

$$H = \frac{E l_1}{m_1 [\cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta) \operatorname{tg} \varphi]}, \quad (2.4)$$

де  $m_1$  – коефіцієнт, що враховує неоднорідність ґрунтів зсувонебезпечної товщі ( $m_1 = 0,6 - 0,8$ );

$\alpha$  – кут нахилу поверхні ковзання до горизонту на ділянці установки протизсувної споруди, град;

$\beta$  – кут нахилу тяги до горизонту, град;

$\varphi$  – кут внутрішнього тертя ґрунту по поверхні ковзання, град.

На величину натягнення тяг розраховують анкерну плиту на міцність і несучу здатність тяги на розрив за формулою:

$$H = R_a(F_a + F_n), \quad (2.5)$$

де  $R_a$  – розрахунковий опір арматури тяги розтягування, Н/м<sup>2</sup>;  
 $F_a$  і  $F_n$  – поперечний перетин заздалегідь напруженої і ненапруженої арматури, Н.

Перевірку на продавлювання ґрунту між утримуючими елементами гнучких споруд виконують за формулою:

$$l_1 = \frac{P_1 \sqrt{\frac{Hb_a}{k_h}}}{2(E - H \cos(\alpha + \beta))}, \quad (2.6)$$

де  $b_a$  – діаметр тяги із захисною оболонкою, м. Решта позначень вказана вище.

При проектуванні утримуючих протизсувних споруд також розраховують згідно з ГБН В.2.3-37641918-558 [53]:

- коефіцієнт стійкості схилу разом із спорудою по поверхнях ковзання, розташованих нижче за глибину закладання утримуючих елементів, що проходять по слабких прошарках ґрунту, розломах тощо;

- напругу в ґрунтах, розташованих нижче існуючою поверхні ковзання;

- глибину закладання елементів нижче за поверхню ковзання, відстань між утримуючими елементами, глибину заставлення нижнього анкера і його розміри (для гнучких утримуючих споруд), а також розміщення споруд на схилі;

- граничне значення тиску зсувного ґрунту на утримуючу споруду, при перевищенні якого зсувні маси переповзають через споруду або обтікають її елементи.

## ПРОЕКТУВАННЯ ДРЕНАЖНИХ СПОРУД НА ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ ДІЛЯНКАХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Вибір необхідної конструкції дренажних споруд і їх місцерозташування на зсувонебезпечних територіях здійснюють на підставі аналізу і врахування [56]:

- інженерно-геологічних, гідрогеологічних умов схилів;
- особливостей територій схилів;
- основних функцій, що виконуватимуть дренажі;
- величини коливань рівнів ґрунтових і міжпластових вод при роботі дренажів;
- динаміки зміни в часі величини інфільтрації і необхідного підвищення коефіцієнта стійкості схилу.

Кліматична зона визначається географічним положенням ділянки шляхів сполучення, кількістю атмосферних опадів і випаровування (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Гідрологічні характеристики зон зволоження

Кліматична зона	Атмосферні опади, мм/рік	Випаровування, мм/рік	Поверхневий стік, л/с·км <sup>2</sup>	Температура повітря, °С
Надмірно зволожена і зволожена	500 – 800	350 – 500	22 – 23	4,9 – 5,1
Помірно зволожена	400 – 750	400 – 600	20 – 140	2,5 – 4,7

Характерні режими ґрунтових вод залежать від місця положення ділянки по відношенню до схилу, форм рельєфу, природних умов місцевості. Характерні режими ґрунтових вод для різних кліматичних зон за усередненими даними представлені на рис. 3.1 [57].

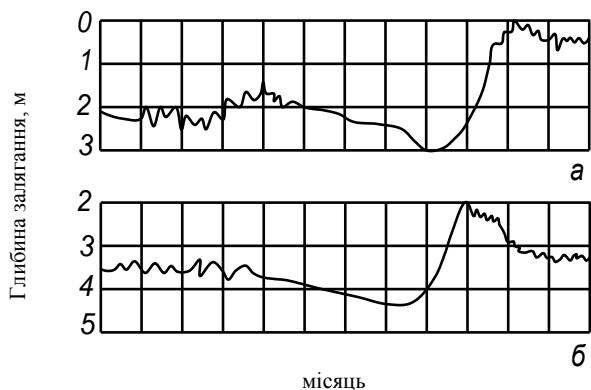


Рис. 3.1. Характерні режими ґрунтових вод:

а – надмірно зволожена і зволожена зони; б – помірно зволожені зони

Дренажі на зсувонебезпечних територіях доцільніше проектувати і будувати заздалегідь, попереджаючи підйом рівня ґрунтових вод і розвиток небезпечних інженерно-геологічних процесів. Для аналізу можливого підтоплення території розглядають природний водний режим і прогноз його можливої зміни внаслідок влаштування водоймищ, дії забудови на зсувонебезпечних територіях або інших форм містобудівного освоєння.

При будівництві шляхів сполучення поблизу зсувонебезпечних схилів у проектах нового будівництва та реконструкції шляхів сполучення слід передбачати дренажі, що забезпечують підтримку рівнів ґрунтових або міжпластових вод на безпечних відмітках.

Після підняття рівнів ґрунтових або міжпластових вод істотних змін зазнають фізико-механічні властивості ґрунтів, що раніше мали природну вологість. У результаті підвищення вологості ґрунтів ослабляється їх опір зрушенню, відбувається розмокання і руйнування багатьох структурних зв'язків. Найбільшою мірою втрачають міцність суглинки. Такі явища приводять до пониження несучих властивостей ґрунтів, викликають порушення стійкості схилів (рис. 3.2), нерівномірні осідання будівель і споруд.

Залежно від складності інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов, величини витрат на здійснення інженерного захисту, застосовується вертикальне планування територій, організація поверхневого стоку.

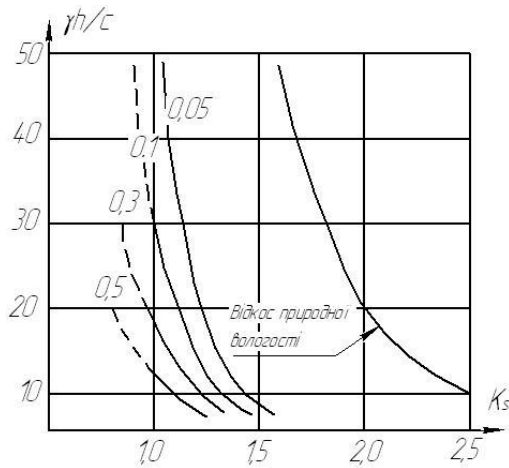


Рис. 3.2. Характер зміни коефіцієнта стійкості однорідного укосу з суглинних ґрунтів  $K_s$  при різній середній висоті обводнення призми обваління, що змінюється в межах від 0,05 м до 0,50 м висоти схилу  $h$ :  $\gamma$  – щільність;  $c$  – питоме зчеплення ґрунту згідно з ГБН В.2.3-37641918-558 [53]

Захисні заходи щодо попередження підтоплення включають до складу інженерної підготовки територій згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-38 [78]. До них відносяться:

- запобігання надходження на схили і територію, прилеглу до них, поверхневих вод;
- посилення дренажної дії розташованих поблизу схилів водотоків і водоймищ;
- влаштування лотків по відведенню стоку талих і дощових вод з територій, прилеглих до схилів, для зменшення їх інфільтрації в ґрунт.

Проводити попереджувальні заходи на зсувонебезпечних територіях необхідно у всіх випадках, якщо здійснюється забудова схилів або при інших формах містобудівного освоєння прилеглих до схилів територій. В окремих випадках проведення тільки попереджувальних заходів може бути достатнім для виключення розвитку небезпечних інженерно-геологічних процесів. В результаті їх застосування істотно зменшується інфільтраційне живлення ґрунтових вод і приток води на територію схилів.

Запобігання надходження на територію, прилеглу до схилів і на схили поверхневих вод здійснюється влаштуванням нагірних каналів

або гребель обвалування. У комплексі з вертикальним плануванням для організації поверхневого стоку атмосферних вод використовується мережа водотоків відкритого, закритого або змішаного типу.

Посилення дренажної дії водоймищ і водотоків проводять шляхом регулювання і випрямлення їх русел, розчищення і поглибленням дна. Збільшення пропускної спроможності річок досягається за рахунок поглиблення русла або збільшення його поперечного перетину. При розчищенні русел від водної рослинності зменшується коефіцієнт шорсткості. Це призводить до пониження рівнів води в річці і збільшення її дренажної дії. Подібний ефект досягається при випрямленні русла каналами, внаслідок чого підвищується швидкість потоку із-за збільшення поздовжнього ухилу річки.

Якщо витоки або підтоплення викликають зміну фізико-механічних властивостей ґрунтів, що може привести до розвитку зсувів, набухання глинистих ґрунтів, розчиненню солей, карстоутворенню тощо, то слід здійснювати заходи, направлені на пониження або стабілізацію рівнів ґрунтових або міжпластових вод.

Улаштування дренажу відносять до заходів, необхідних на всій території, прилеглої до схилів, або безпосередньо на схилах. Принцип вибору необхідних дренажних споруд полягає в тому, щоб комплекс заходів, що призначається, не допускав несприятливих змін стану і властивостей геологічного середовища – підйому рівнів ґрунтових вод і прояву небезпечних інженерно-геологічних процесів.

Обґрунтування потреби в дренажі слід проводити при розробці генплану або проекту детального планування. На подальших етапах ці дані потрібно уточнювати і визначати такі параметри дренажної мережі і конструкції дренажу, які не допускали б розвитку несприятливих інженерно-геологічних процесів на схилах. При визначенні потреби в улаштуванні дренажів, як основних протизсувних заходів в системі інженерної підготовки територій, слід виходити з:

- попередження розвитку несприятливих інженерно-геологічних процесів на схилах;
- необхідності захисту від попадання ґрунтових вод в приміщення, підземні частини будівель та споруд.

На всіх стадіях проектування і улаштування дренажних споруд повинні враховуватись можливі зміни гідрогеологічних умов і геологічного середовища.

Проектування інженерних заходів здійснюють на підставі детального вивчення інженерно-гідрогеологічних умов ділянки досліджень [39]. На підставі польових робіт і обробки, аналізу і узагальнення матеріалів досліджень попередніх років проектувальник для розрахунків, гідрогеології і проектування захисту від підтоплення повинен мати такі основні матеріали [57]:

- карту фактичного матеріалу;
- карту глибин залягання ґрунтових вод;
- карту мінералізації і хімічного складу ґрунтових вод;
- карту потужності зони аерації;
- карту першого від поверхні місцевого (відносно) водонепроникного шару (глибина залягання, потужність);
- карту гідрогеодинамічних умов в межах потоку фільтрації, що вивчається (графіки коливання рівнів відкритих джерел, максимальні відмітки рівнів води (РВ) побудованих водоймищ, зони зв'язку ґрунтових вод);
- літологічні розрізи по напрямку руху потоку фільтрації;
- графіки режимних спостережень (для найближчих свердловин стаціонарної мережі або за короткочасними режимними спостереженнями);
- пояснювальну записку з даними інженерно-геологічних досліджень, де відображені параметри гідрогеології, рекомендації щодо вибору типів інженерного захисту і межі території підйому рівнів ґрунтових вод.

Масштаб карт – 1:5000 або 1:10000.

На вимогу проектувальника геологічні і гідрогеологічні дані можуть бути приведені на картах масштабом 1:2000.

Карти гідроізогіпси і глибин залягання ґрунтових вод обов'язково будуються на підставі початкової інформації гідрогеології, отриманої із застосуванням бурових робіт.

Для складання цієї карти під час польових робіт проводять вимірювання рівнів ґрунтових вод, при їх наявності, у підвалах будинків і споруд, розміщених на території поблизу схилів в межах автомобільної дороги. Питання потреби в дренаванні територій схилів розглядаються в наступній послідовності:

1) вивчаються сучасні природні умови і виділяються зони потенційного підйому рівнів водоносних горизонтів;



2) виділяються нестійкі інженерно-геологічні елементи, для яких характерна велика мінливість їх міцності при зволоженні;

3) на виділених територіях оцінюють можливі зміни геологічного середовища і виконують районування по ступеню можливих змін;

4) розглядають комплекс доцільних інженерних заходів для стабілізації й забезпечення стійкості схилів в даному геологічному середовищі;

5) оцінюють роль дренажу у складі цих заходів.

Підвищення рівнів ґрунтових або міжпластових вод завжди веде до зменшення коефіцієнта стійкості схилів (рис. 3.3).

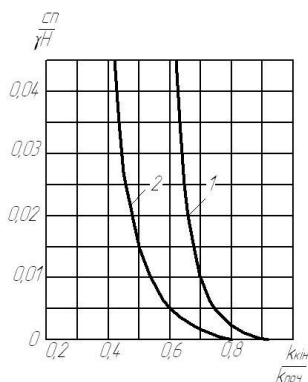


Рис. 3.3. Характер зміни коефіцієнта стійкості схилу при підтопленні його ґрунтовими або міжпластовими водами:

1 і 2 – характеристики ґрунтів, що змінюють свою міцність при зволоженні;  
 $K_{поч}, K_{кін}$  – коефіцієнт стійкості до і після підйому рівнів ґрунтових вод (ГВ);  
 $n$  – ступінь підтоплення – відношення середньої глибини підняття рівнів ГВ до висоти схилу;  $\gamma$  – об'ємна маса ґрунту;  $H$  – висота схилу

При визначенні оцінки потреби влаштування дренажів на ранніх стадіях проектування шляхів сполучення потрібно мати дані спостережень, що дозволяють враховувати тенденції зміни геологічного середовища і гідрогеологічних умов. Такі оцінки можливо отримати, якщо знати динаміку зміни граничних умов в часі для окремих водоносних горизонтів, величин інфільтрації та техногенні навантаження на територію. Геологічні умови усереднюють і приводять до розрахункових схем для оцінки і прийняття рішень щодо влаштування дренажів.

На зсувонебезпечних територіях, як правило, застосовують закриті дренажні системи. По конструктивних особливостях вони мають три основні частини: регулюючу, водовідвідну і водоприймальну. Різні конструкції фільтрів використовують в першій регулюючій частині. Часто спільно з фільтрами використовують противосуфозійні рулонні матеріали. Їх доцільніше укласти як роздільник на контакт: «щебінь – грубозернистий пісок» або «грубозернистий пісок – пісок» з коефіцієнтом фільтрації  $K_f$  не менше ніж 5 м/добу. У цьому випадку при можливій кольматації рулонних противосуфозійних матеріалів дренажі працюватимуть триваліший час.

Види дренажів, що застосовуються на зсувонебезпечних схилах приведені нижче згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-41 [79].

Горизонтальний дренаж у вигляді горизонтальних заглиблених перфорованих труб - дрен з фільтрами різних конструкцій або трубофільтрів – застосовують на зсувонебезпечних територіях при неглибокому заляганні ґрунтових вод.

Систематичний дренаж – влаштовується для захисту прилеглих до схилів територій, якщо в зоні впливу даного дренажу знаходяться об'єкти з однаковими вимогами до рівня залягання ґрунтових вод. Відмітку необхідного зниженого рівня ґрунтових вод визначають гідрогеологічним розрахунком із метою забезпечення необхідного значення коефіцієнта стійкості схилів. Цей тип дренажу, як правило, виконується в рамках інженерної підготовки ділянок будівництва автомобільних доріг.

Головний дренаж – застосовується при домінуючому притоці ґрунтових вод з боку масштабних зон інфільтрацій.

Залежно від характеру відбору підземних вод дренаж і водопонижуючі конструкції можуть бути розділені на чотири типи згідно з АД А.2.4-37641918-002 [80]: горизонтальні, вертикальні, комбіновані і пласти.

Вертикальний дренаж застосовується при глибокому заляганні рівня підземних вод, при необхідності значних глибин водопонижень, при великій потужності водоносного горизонту або наявності живлення знизу. До конструкцій вертикального дренажу відносяться водопонижуючі і водовбирні свердловини, а також крізні фільтри.

Горизонтальний дренаж застосовується при неглибокому заляганні рівня підземних вод і при відносно невеликому пониженні рівнів. Він ефективний в однорідному, добре проникному середовищі,

особливо при влаштуванні на водоупорі (досконалий дренаж). При відкритому способі виконання робіт глибина закладки горизонтального дренажу за економічними умовами обмежується 5-6 м (максимальна – 8 м), при закритому способі глибина закладки його конструкцій не обмежується. До конструкцій горизонтального дренажу відносяться відкриті канали і лотки, безтрубчаті траншейні дрени частково з обсіпанням з дренуючого матеріалу (камінь, щебінь, штучні фільтри тощо), трубчасті дрени (залізобетонні, бетонні, керамічні, дерев'яні), дренажні галереї, дренажні штольні, горизонтальні дренажні свердловини.

Комбінований дренаж застосовується при великій потужності водоносного горизонту, який є двошаровою товщею з добре водопроникними ґрунтами в нижній частині розрізу і за наявності водовідводу у верхній частині. До конструкцій комбінованого дренажу відносяться поєднання горизонтальних дрен з вертикальними самозливаючими свердловинами, а також поєднання дренажних штреків із штольною з кризними фільтрами.

Дренаж пласта (рис. 3.4) застосовується на ділянках слабопроникаючих ґрунтів для захисту окремих споруд або комунікацій на ділянках шляхів сполучення від підтоплення підземними водами, коли використання інших типів дренажів неефективне.

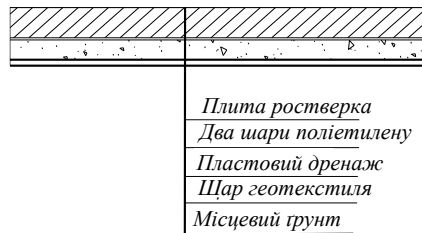


Рис.3.4. Дренаж пласта

Дренажі, що використовуються для пониження підземних вод, залежно від планового розташування водозабірних споруд і джерел надходження розділяють на лінійні (рис. 3.5) (головні, берегові, супутні), кільцеві і систематичні (площадкові).

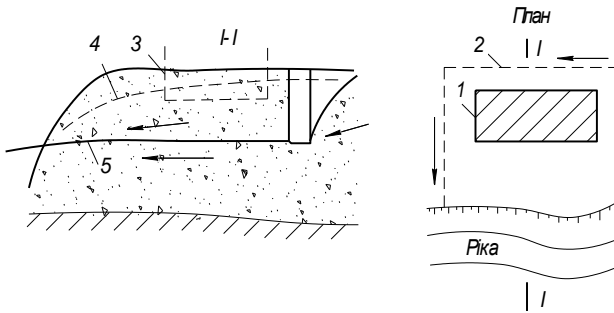


Рис. 3.5. Лінійний головний дренаж:

1 – територія, що захищають; 2 – траса дренажу; 3 – контур території, що захищають; 4 – рівень підземних вод до влаштування дренажу; 5 – понижений рівень підземних вод

Головний лінійний дренаж використовується для захисту територій і споруд від підтоплення потоком підземних вод, які поступають з боку вододілу. Для захисту територій і споруд під час вступу ґрунтових вод з боку водотоку або водоймища використовується лінійний береговий дренаж (рис. 3.6). Такий дренаж одночасно приймає підземні води, а також захищає територію автомобільної дороги від підтоплення паводковими водами.

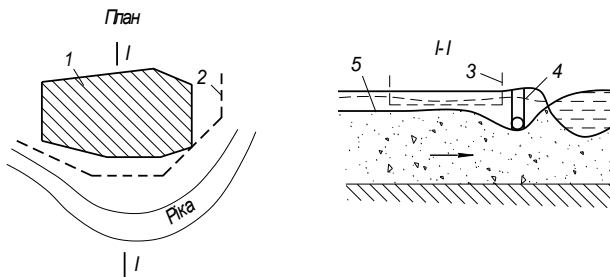


Рис. 3.6. Лінійний береговий дренаж:

1 – територія, що захищають; 2 – траса дренажу; 3 – контур території, що захищають; 4 – рівень підземних вод до влаштування дренажу; 5 – понижений рівень підземних вод

По конструкції лінійний береговий дренаж залежно від гідрогеологічних умов, необхідної глибини пониження рівнів підземних вод, величини коливань рівнів на межі потоку фільтрації може влаштовуватись горизонтальним, вертикальним або комбінованим.

Лінійний супутній дренаж (рис. 3.7) використовується для захисту окремих об'єктів типу підземних тунелів, галерей і тощо.

Лінійний супутній дренаж часто влаштовують спільно із заглибленими спорудами для зняття баражного ефекту, який може робити вплив на стійкість схилів.

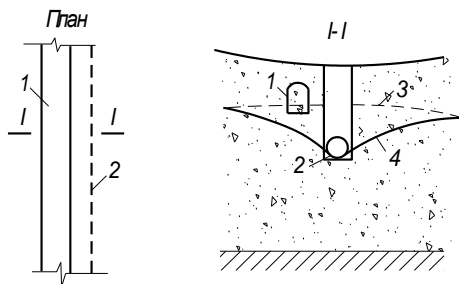


Рис. 3.7. Лінійний супутній дренаж:

1 – підземна споруда; 2 – супутній дрен; 3 – рівень підземних вод до влаштування дренажу; 4 – понижений рівень підземних вод

Лінійний кільцевий дренаж (рис. 3.8) використовується для загального пониження рівня підземних вод на території окремих споруд при хорошій проникності товщі порід, що містять водоносний горизонт, і відсутності інтенсивного живлення усередині контура території, що захищають.

Лінійний систематичний дренаж (рис. 3.9) використовується для загального пониження рівня підземних вод на території за наявності живлення всередині території, що захищають. Дренажні споруди вибираються залежно від умов водозниження, що повинні забезпечити необхідне і стійке положення рівнів підземних вод на зсувонебезпечній ділянці шляхів сполучення. Для цієї мети найчастіше використовуються безтрубчасті або трубчасті горизонтальні дрени або дренажні штреки і штольні.

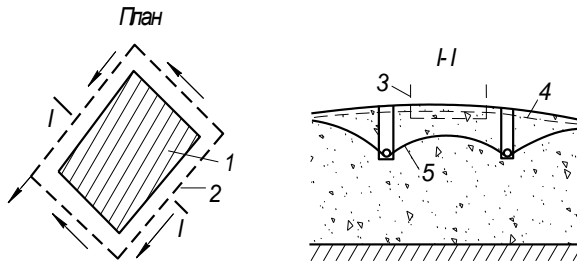


Рис. 3.8. Лінійний кільцевий дренаж:

1 – територія, що захищають; 2 – траса дренажу; 3 – контур території, що захищають; 4 – рівень підземних вод до влаштування дренажу; 5 – понижений рівень підземних вод

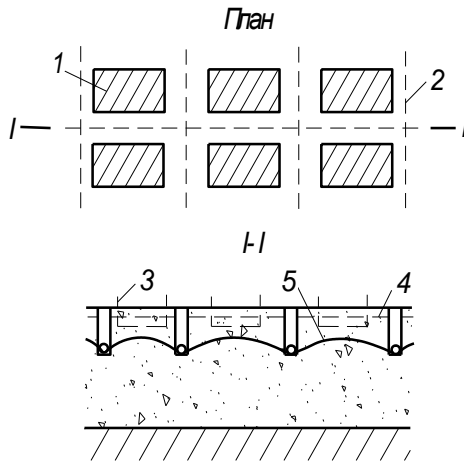


Рис. 3.9. Лінійний систематичний дренаж:

1 – територія, що захищають; 2 – траса дренажу; 3 – контур території, що захищають; 4 – рівень підземних вод до влаштування дренажу; 5 – понижений рівень підземних вод

Безтрубчасті траншейні дрени є траншеї, повністю або частково заповнені фільтруючим матеріалом. Їх використовують найчастіше на обвальних схилах тільки як тимчасові пристрої. У якості фільтруючого матеріалу використовують кам'яний насип, щебінь, хворост, геотекстиль тощо.

Дренажні штреки і штольні влаштовують при глибокому заляганні підземних вод на крутих обвальних або зсувонебезпечних схилах. Поздовжній похил дренажних штреків і штолень до водозбірників приймають не менше ніж 3 ‰; поперечний похил до канавки водовідведення – не менше ніж 10 ‰. Штольні в протизсувному будівництві – дуже дорогі споруди, і вони застосовуються тільки у тому випадку, коли неможливо використовувати інші способи водозниження. При цьому слід детально обґрунтовувати необхідність використання таких дренажів.

## ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ГАБІОНІВ

Типи габіонів наведені на рисунку 4.1 додатку 4, а також у ГБН В.2.3-37641918-558 [53].

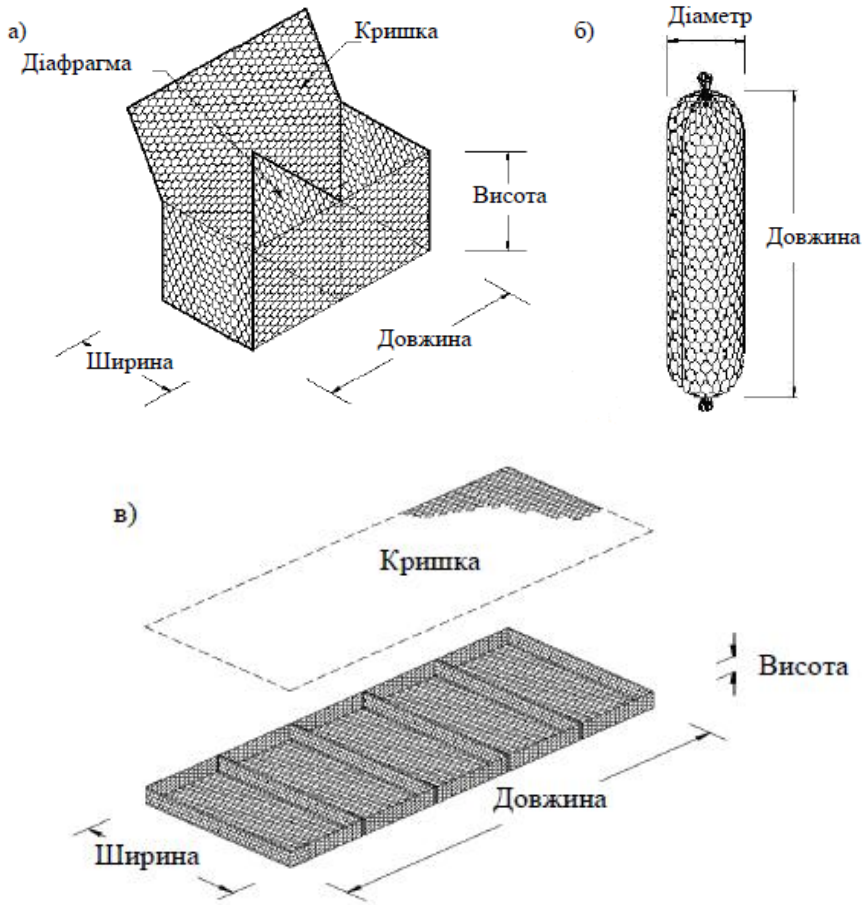


Рис. 4.1. Типи габіонів:  
а) коробчаті; б) циліндричні; в) матрацні



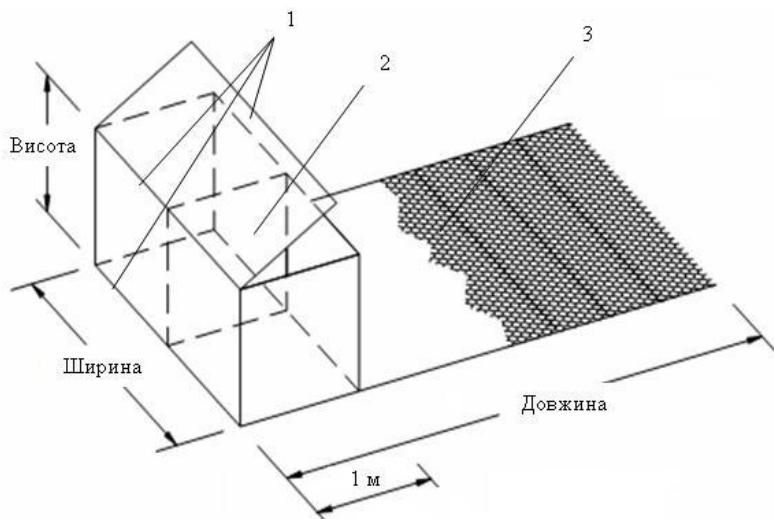


Рис. 4.2. Конструктивні елементи системи «Армогрунтова стіна»: 1 – армуючий дріт каркаса габіона; 2 – діафрагма; 3 – армуюча панель із сітки

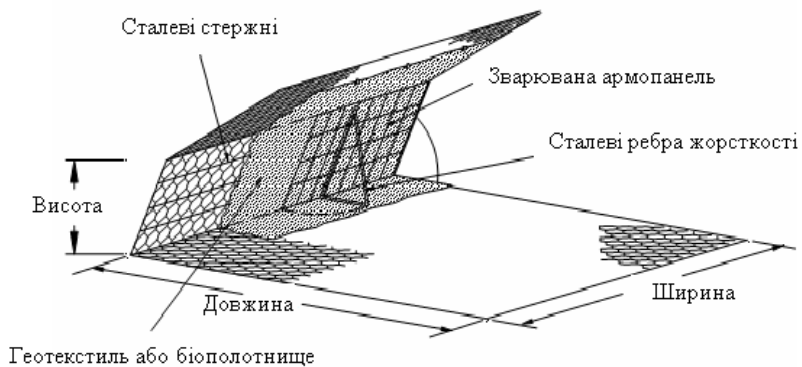


Рис. 4.3. Конструктивні елементи системи «Зелена стіна»

Основні параметри та розміри коробчатих габіонів наведені у таблиці 4.1 додатку 4.

Таблиця 4.1

**Основні параметри та розміри коробчатих габіонів**

Довжина, м	Ширина, м	Висота, м	Об'єм, м <sup>3</sup>
1,5	1,0	0,5	0,75
1,5	1,0	1,0	1,50
2,0	1,0	0,5	1,00
2,0	1,0	1,0	2,00
3,0	1,0	0,5	1,50
3,0	1,0	1,0	3,00
4,0	1,0	0,5	2,00
4,0	1,0	1,0	4,00

Основні параметри та розміри габіонів для влаштування системи «Армогрунтова стіна» наведені у таблиці 4.2 додатку 4.

Таблиця 4.2

**Основні параметри та розміри системи «Армогрунтова стіна»**

Довжина, м	Ширина, м	Висота, м	Об'єм, м <sup>3</sup>
3,0	2,0	0,5	3,0
3,0	2,0	1,0	6,0
4,0	2,0	0,5	4,0
4,0	2,0	1,0	8,0
5,0	2,0	0,5	5,0
5,0	2,0	1,0	10,0
6,0	2,0	0,5	6,0
6,0	2,0	1,0	12,0

Основні параметри та розміри габіонів у вигляді матраців наведені у таблиці 4.3 додатку 4.

Таблиця 4.3

**Розміри габіонів у вигляді матраців**

Довжина, м	Ширина, м	Висота, м	Площа, м <sup>2</sup>
1	2	3	4
3,0	2,0	0,17	6,0
4,0	2,0	0,17	8,0
5,0	2,0	0,17	10,0
6,0	2,0	0,17	12,0
3,0	2,0	0,23	6,0
4,0	2,0	0,23	8,0

Продовження табл. 4.3

1	2	3	4
5,0	2,0	0,23	10,0
6,0	2,0	0,23	12,0
3,0	2,0	0,30	6,0
4,0	2,0	0,30	8,0
5,0	2,0	0,30	10,0
6,0	2,0	0,30	12,0
3,0	2,0	0,50	6,0
4,0	2,0	0,50	8,0
5,0	2,0	0,50	10,0
6,0	2,0	0,50	12,0

Основні параметри та розміри циліндричних габйонів наведені у таблиці 4.4 додатку 4.

Таблиця 4.4

#### Розміри циліндричних габйонів

Довжина, м	Діаметр, м	Об'єм, м <sup>3</sup>
2,0	0,65	0,65
3,0	0,65	1,00
4,0	0,65	1,30
2,0	0,95	1,40
3,0	0,95	2,10

Вимоги до щільності цинкового покриття дроту наведені у таблиці 4.5 додатку 4. Щільність цинкового покриття дроту повинна бути не менше ніж 0,240 кг/м<sup>2</sup>.

Таблиця 4.5

#### Основні показники цинкового покриття дроту

Ч.ч.	Діаметр дроту, мм	Допуск на діаметр, мм	Кількість цинку, кг/м <sup>2</sup>
1	2,0	± 0,06	0,240
2	2,2	± 0,06	0,240
3	2,4	± 0,06	0,260
4	2,7	± 0,08	0,260
5	3,0	± 0,08	0,275
6	3,4	± 0,10	0,275
7	3,9	± 0,10	0,290

На рисунку 4.4 додатку 4 наведена сітка дрова з звична із шестикутними вічками для габійних виробів та її основні розміри.

У таблиці 4.6 додатку 4 наведенні навантаження при розтягуванні сітки у поздовжньому напрямку вузла скручування, подовження при цьому складає 6-7 %. Навантаження, яке витримує сітка у поперечному напрямку вузла скручування знижується у два рази, а подовження полотна сітки складає 20-22 %.

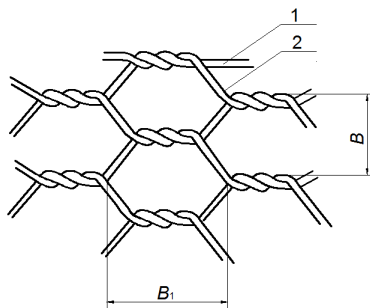


Рис. 4.4. Сітка дрова з звична із шестикутними вічками для габійних виробів:

1 – дріт канту; 2 – основний дріт;  $B$  – розмір вічка;  $B_1$  – озмір діагоналі вічка

Таблиця 4.6

**Границя міцності сітки при розтягуванні у поздовжньому напрямку вузла скручування**

Розмір вічка сітки, см			Дріт діаметром, мм		
2,0	2,2	2,4	2,7	3,0	
Границя міцності на розтяг, кг/м <sup>2</sup>					
5 × 7	35	40	45	–	–
6 × 8	30	35	42	47	–
8 × 10	–	–	34	43	53
10 × 12	–	–	–	35	43

Таблиця 4.7

**Розміри вічка і діаметр дроту сітки із покриттям полімером**

Розмір вічка сітки, см		Діаметр дроту, мм	
внутрішній		зовнішній	
6 × 8	2,2	3,2	
8 × 10	2,7	3,7	

Таблиця 4.8

**Діаметр дроту сітки, кромки і перев'язки при влаштуванні діафрагм**

Ч.ч	Діаметр дроту, мм		
	сітки	кромки	перев'язки
1	2,0	2,4	2,0
2	2,2	2,7	2,0
3	2,4	3,0	2,0
4	2,7	3,4	2,2
5	3,0	3,9	2,4

Розміри і маса каркасів циліндричних габіонів наведені у таблиці 4.9 додатку 4.

Таблиця 4.9

**Характеристики циліндричних арматурних каркасів**

Тип сітки 8 × 10 см				
Розміри		Об'єм, м <sup>3</sup>	Маса, кг	
Довжина, м	Діаметр, м		Дріт із покриттям цинком діам. 3,0 мм	Дріт із покриттям цинком та полімером, внутр. діам. 2,7 мм, зовн. діам. 3,7 мм
2	0,65	0,65	10,3	9,6
3	0,65	1,00	13,8	12,8
2	0,95	1,40	16,2	14,9
3	0,95	2,15	21,3	19,6

В'язання габіонів можна виконувати як вручну, так і за допомогою спеціальних автоматів типу "степлер".

В якості рулонних сіток подвійного скручування допускається застосовувати сітки, розміри і маса яких наведені у таблиці 4.10 додатку 4.

Таблиця 4.10

## Характеристики рулонних сіток

Дріт із покриттям цинком				Дріт із покриттям цинком та полімером			
Тип сітки, см	Діаметр дроту, мм	Маса, кг/м <sup>2</sup>	Висота, м	Тип сітки, см	Діаметр дроту, мм	Маса, кг/м <sup>2</sup>	Висота рулону сітки, м
10 × 12	2,7	1,230	2 – 3	8 × 10	2,7/3,7	1,680	2 – 3
	3,0	1,510	2 – 3	6 × 8	2,2/3,2	1,490	2 – 3
8 × 10	2,7	1,430	2 – 3	Сітка рулонами від 29 м до 100 м довжиною			
	3,0	1,780	2 – 3				
6 × 8	2,2	1,200	2 – 3				
	3,0	1,840	2 – 3				
5 × 7	2,0	1,240	2 – 3				

**Примітка.** У чисельнику наведено внутрішній діаметр дроту, у знаменнику – зовнішній.

Розміри і маса каркасів матрацних габйонів

Розміри і маса каркасів (табл. 4.11) можуть бути змінені на місці будівництва шляхом досить нескладних технологічних операцій залежно від конкретних умов застосування цих габйонів.

Таблиця 4.11

## Характеристики каркасів матрацних габйонів

Тип сітки, см						
6 × 8						
Розміри				Маса		
Довжина, м	Ширина, м	Висота, м	Дріт із покриттям цинком діам. 2,7 мм		Дріт із покриттям цинком та полімером, внутр. діам. 2,7 мм, зовн. діам. 3,7 мм	
			кг	кг/м <sup>2</sup>	кг	кг/м <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7
3	2	0,17	23,0	3,83	25,9	4,31
4	2	0,17	30,5	3,81	34,3	4,29
5	2	0,17	38,0	3,80	42,7	4,27
6	2	0,17	45,5	3,79	51,2	4,26
3	2	0,23	24,4	4,06	27,4	4,57
4	2	0,23	32,2	4,03	36,3	4,53
5	2	0,23	40,1	4,01	45,1	4,51

Продовження табл. 4.11

1	2	3	4	5	6	7
6	2	0,23	48,0	4,00	54,0	4,50
3	2	0,30	25,9	4,32	29,2	4,86
4	2	0,30	34,2	4,28	38,5	4,82
5	2	0,30	42,6	4,26	47,9	4,79
6	2	0,30	50,9	4,24	57,2	4,77

Маса і типорозміри елементів систем «Армогрунтова стіна» і «Зелена стіна» наведені у таблицях 4.12 і 4.13 додатку 4. Маса дроту для зв'язування елементів між собою у ці таблиці не включена. Витрати цього дроту складають від 3 % до 5 % від загальної маси, передбаченої у таблицях 4.12 і 4.13 додатку 4.

Таблиця 4.12

**Характеристики елементів системи «Армогрунтова стіна»**

Тип сітки 8 см × 10 см, покриття цинком та полімером, внутрішній діаметр 2,7 мм, зовнішній діаметр 3,7 мм			
Довжина, м	Ширина, м	Висота, м	Маса, кг
4,0	2,0	0,5 – 1,0	24,2 – 29,7
5,0	2,0	0,5 – 1,0	27,2 – 32,7
6,0	2,0	0,5 – 1,0	30,2 – 35,7

Таблиця 4.13

**Характеристики елементів системи «Зелена стіна»**

Тип сітки 8 см × 10 см, покриття цинком та полімером, внутрішній діаметр 2,7 мм, зовнішній діаметр 3,7 мм			
Довжина, м	Ширина, м	Висота, м	Маса, кг
3,0	2,0	0,45	13,5
4,0	2,0	0,45	17,0
5,0	2,0	0,45	20,5
3,0	2,0	0,60	14,0
4,0	2,0	0,60	17,5
5,0	2,0	0,60	21,0

**Матеріал для заповнення габіонів**

Вид породи	Питома маса часток породи (грунту) $\gamma_s$ , г/см <sup>3</sup>
Базальт	2,9
Граніт	2,6
Щільний вапняк	2,6
Піщаники	2,3
М'який вапняк	2,2
Туф	1,7



## СХЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ГАБІОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

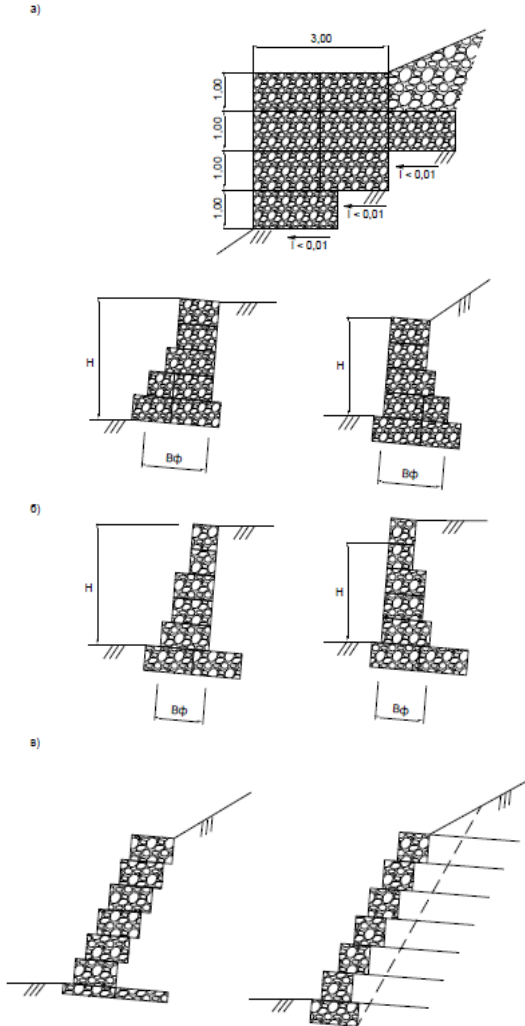
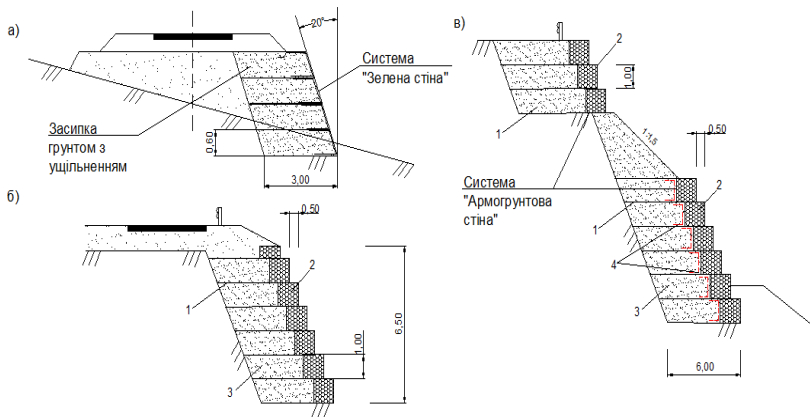
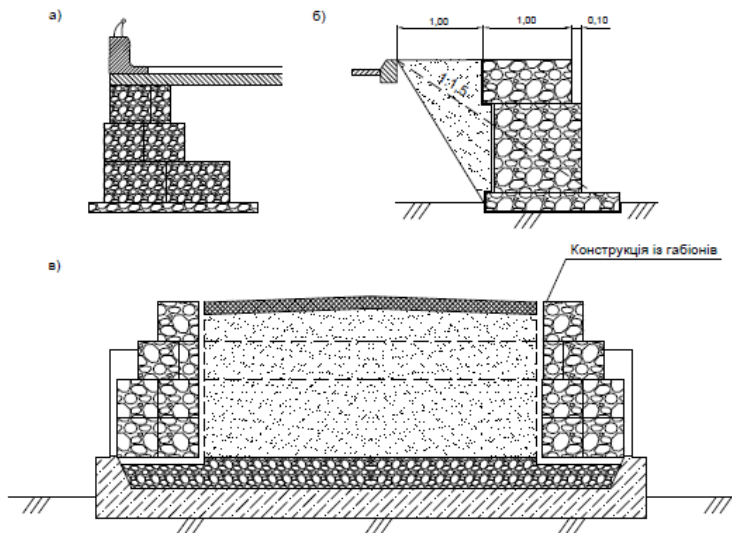


Рис. 5.1. Схеми основних типів габіонних стін:  
 а) масивно-об'ємні; б) напівмасивні; в) тонкостінні



**Рис. 5.2. Схеми підпiрно-утримуючих габiонних споруд:**  
 1 – елемент армування; 2 – панель iз габiонiв; 3 – матерiал засипки; 4 – геотекстиль; а) iз застосуванням системи «Зелена стiна»; б), в) iз застосуванням системи «Армоґрунтова стiна»



**Рис. 5.3. Схеми конструктивних рiшень заміни укiсних частин земляного полотна габiонними пiдпiрно-утримуючими спорудами**

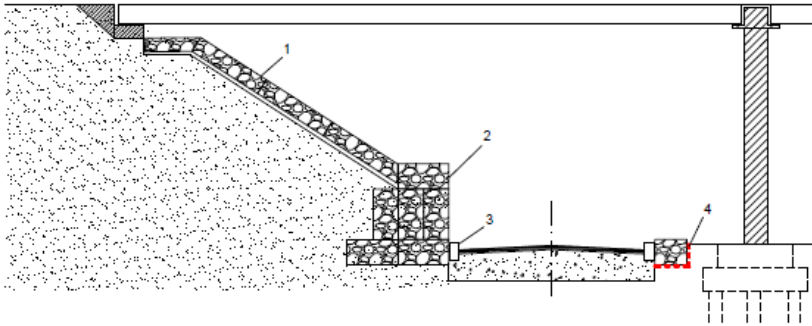


Рис. 5.4. Схема влаштування габіонних конструкцій при розташуванні з'їз-  
дів і доріг у стиснених умовах

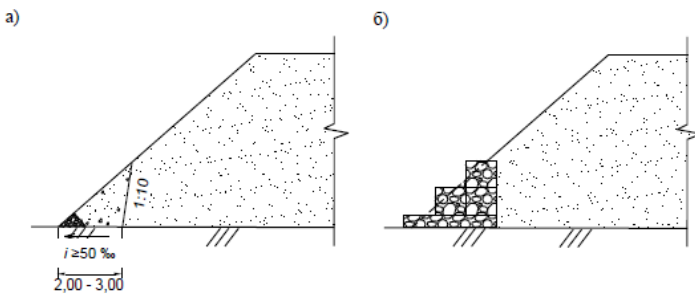


Рис. 5.5. Дренажні шпори в укосі:  
а) традиційні; б) із коробчатих і матрацних габіонів

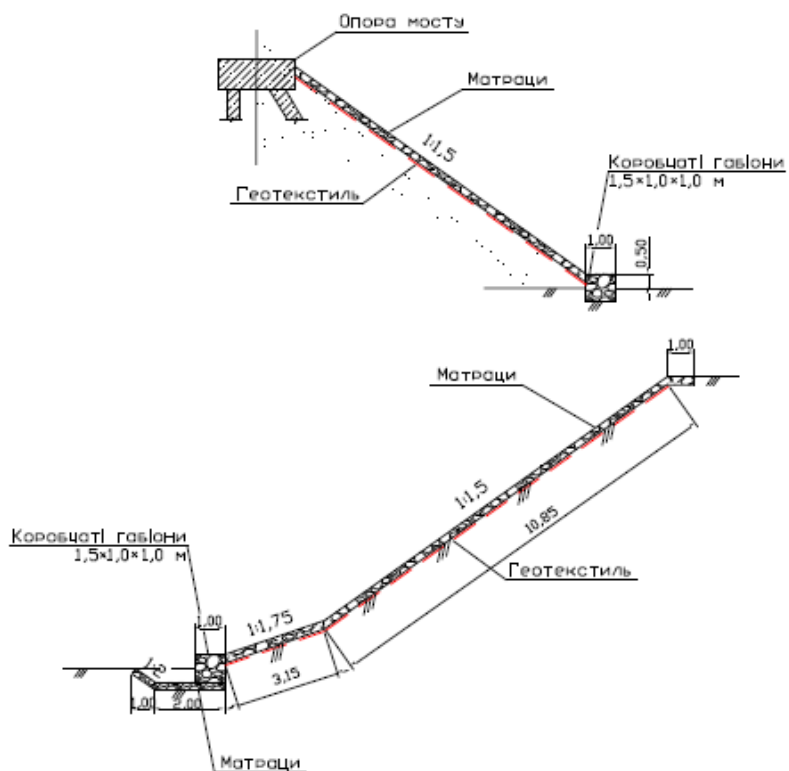


Рис. 5.6. Схеми укріплення габіонними конструкціями невідтоплених укосів:

а) підмостових конусів; б) насипів за необхідності влаштування водовідведення

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Природа Українських Карпат [Текст] / Під ред. К. І. Геренчука. – Львів : Вид-во Львівського університету, 1968. – 266 с.
2. Волосецький, Б. І. Вивчення динаміки долинно-руслених морфоутворень рік Карпатського регіону [Текст] / Волосецький, Б. І., Зубач В. М. // Сучасні досягнення гендезичної науки та виробництва. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2008.
3. Мельник, Т. П. Гідрогеолого-меліоративна оцінка р. Тиси в межах м. Рахів [Текст] / Т. П. Мельник. – Рівне : Волинські обереги, 2008. – 92 с.
4. Опасные гидрометеорологические явления в Украинских Карпатах [Текст] / К. Т. Логвинов, А. Н. Раевский, М. М. Айзенберг ; под ред. : К. Т. Логвинов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1973. – 199 с.
5. Герасимчук, В. О. Гірські автомобільні дороги Українських Карпат [Текст] / Герасимчук В. О., Климпуш М. Д., Круцик М. Д. – Ужгород : Закарпаття, 2000. – 348 с.
6. Алиев, К. А. Стратегический план совместных действий по организации противопаводковой защиты в пределах Закарпатской области [Текст] / К.А. Алиев // Доклад на международной конференции в г. Ужгород, 1999. – С. 24-32.
7. Державний класифікатор надзвичайних ситуацій [Текст] : ДК 019-2001. – К. : Держстандарт України, 2002. – 19 с.
8. Тимченко, О. М. Обґрунтування принципів призначення захисних заходів від зсувних процесів на автомобільних дорогах у гірській місцевості [Текст]: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.22.11 / Тимченко Ольга Миколаївна. – Київ, 2015. – 20 с.
9. Рудько, Г. И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты) [Текст] : монография / Г. И. Рудько, И. Ф. Ерыш. – К. : Задруга, 2006. – 624 с.
10. Ерыш, И. Ф. Вопросы локального прогноза и литомониторинга на примере типичных оползней Крыма [Текст] / И. Ф. Ерыш, Э. В. Кулиш // Геотехническое изучение и исследование недр: сб. ЗАО «Геоинформмарк». – М., 2001. – Вып. 6. – С. 41–51.
11. Круцик, М. Д. Защита горных дорог от разрушений [Текст] / М. Д. Круцик, С. Ф. Максименко. – Ужгород : Карпаты, 1989. – 92 с.

12. Саваренский, Ф. П. Инженерная геология [Текст] : учебник для вузов / Ф. П. Саваренский. – М. : ГОНТИ, 1939. – 489 с.
13. Бернацкий, Л. Н. Условия устойчивости земляных масс [Текст] / Л. Н. Бернацкий. – М., 1925. – 563 с.
14. Терцаги, К. Механика грунтов в инженерной практике [Текст] / К. Терцаги, Р. Пек; пер. с англ. А. В. Сулима-Самуяло, под ред. М. Н. Гольдштейна. – М. : Госстройиздат, 1958. – 608 с.
15. Золотарев, Г. С. Генетические типы оползней, их развитие и изучение [Текст] / Г. С. Золотарев // Материалы совещания по вопросам изучения оползней и мер борьбы с ними. – К., 1964. – С. 165–170.
16. Дранников, А. М. Схема региональной классификации современных оползней [Текст] / А. М. Дранников // Вопросы гидрогеологии и инж. геологии. – Госгеолиздат, 1951. – Сб. №12 – С. 23–31.
17. Билеуш, А. И. Оползни и противооползневые мероприятия [Текст] / А. И. Билеуш. – К. : Наукова думка, 2009. – 560 с.
18. Яковлев, Є. О. Прогнозна оцінка можливої активизації зсувного процесу на території Закарпатської області в 2000 році [Текст] / Є. О. Яковлев, Л. М. Красноок, Г. В. Лескова. – К. : Геоінформ, 2000. – 385 с.
19. Terzaghi, K. Mechanism of landslides [Текст] / K. Terzaghi // Application of Geology to Engineering Practice. – 1950. – P. 83–123.
20. Маслов, Н. Н. Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве [Текст] / Н. Н. Маслов. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1955. – 468 с.
21. Hungr, O. Estimating landslide motion mechanism, travel distance and velocity [Текст] / O. Hungr // SOA Paper. – 2007. – №4. – P. 30.
22. Нефедов, Л. И. Модели и методы управления чрезвычайными природными ситуациями на магистральных автомобильных дорогах [Текст]: монография / Л. И. Нефедов, Н. Ю. Филь, Ю. Л. Губин, Е. М. Мельниченко. – Харьков : ХНАДУ, 2011. – 136 с.
23. Губін, Ю. Л. Моделі та інформаційна технологія управління ліквідацією наслідків надзвичайних природних ситуацій на магистральних автодорогах [Текст]: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.13.06 / Губін Юрій Леонідович. – Харків, 2011. – 20 с.
24. Тимченко, О. М. Обґрунтування принципів призначення захисних заходів від зсувних процесів на автомобільних дорогах у гірській місцевості [Текст] : дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук : 05.22.11 / Тимченко Ольга Миколаївна. – Київ, 2015. – 201 с. – Бібліогр.: с. 152–168.

25. Славянов, В. Н. Гравитационные движения горных пород на склонах ЮБК и некоторые особенности их развития [Текст] / В. Н. Славянов // Землеведение: Сб. МОИП. Новая серия. – МГУ, 1957. – Т.4. – С. 244–246.

26. Емельянова, Е. П. Методическое руководство по стационарному изучению оползней [Текст] / Е. П. Емельянова. – М. : Недра, 1956. – 245 с.

27. Корженевский, И. Б. Гравитационные склоновые процессы западной части ЮБК и роль техногенного воздействия в их развитии [Текст] / И. Б. Корженевский. – М., 1991. – 263 с.

28. Попов, И. В. Закономерности возникновения и развития оползневых процессов [Текст] / И.В. Попов // Тр. ЛГГП. Вопросы устойчивости склонов. – М. : Изд-во АН СССР, 1961. – Т.25. – С. 3–8.

29. Рудько, Г. И. Инженерная геодинамика Западной Украины и Молдовы [Текст] : монография / Г. И. Рудько, В. А. Осюк – Львов : МАКЛАУТ, 2007. – 808 с.

30. Білеуш, А.І. Зсуви та споруди на них [Текст] / А. І. Білеуш, Г. М. Ременець // Будівництво України. – К., 1995. – С. 34–37.

31. Бойко, И. П. Напряженно-деформированное состояние дилатирующего основания свайных фундаментов [Текст] / И. П. Бойко // Основания и фундаменты. – К. : Будівельник, 1986. – Вып. 19. – С. 10–12.

32. Герсеванов, Н. М. Теоретические основы механики грунтов и их практическое применение [Текст] / Н. М. Герсеванов, Д. Е. Польшин. – М., 1948. – 253 с.

33. Емельянова, Е. П. Основные закономерности оползневых процессов [Текст] / Е. П. Емельянова. – М. : Недра, 1972. – 310 с.

34. Эккель, Э. Б. Оползни и инженерная практика [Текст] / Э. Б. Эккель. – М. : Трансжелдориздат, 1960. – 275 с.

35. Эккель, Э. Б. Борьба с оползнями на автомобильных дорогах [Текст] / Э. Б. Эккель. – М. : Изд-во Автотранспорта и шоссейных дорог, 1960. – 183 с.

36. Тимченко, О. М. Визначення порушень стійкості схилів і укосів на автомобільних дорогах у гірській місцевості [Текст] / О. М. Тимченко // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. – К. : НТУ, 2013. – №89. – С. 108–114.

37. Инженерный захист територій, будинків і споруд від зсувів і обвалів. Основні положення [Текст] : ДБН В.1.1-46:2017 : затв. нака-

зом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 25.04.2017. – К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 51 с. – (Державні будівельні норми України).

38.Методичні рекомендації. Захист гірських автомобільних доріг від селевих виносів [Текст] : МР В.2.3-218-20533253-305-2004 : чинний з 2004–12–21. - К.: ПП "Галдорпрогрес", 2004. – 102 с.

39.Методичні рекомендації з проектування захисту від зсувів гірських автомобільних доріг України [Текст] : МР В.2.3-218-20533253-499-2006 : чинний з 2006–02–20. – К.: Укравтодор, 2006. – 118 с.

40. Дослідження існуючих методів для визначення та виміру зсувних зміщень [Текст] / О. М. Тимченко [та ін.] // Актуальні проблеми та наукові звершення молоді на початку третього тисячоліття : тези доп. II наук.-практ. конф. студентів, магістрантів та аспірантів (7-8 листопада 2017 р.) / Луганський національний аграрний університет. – Х. : Міськдрукарня, 2017. – С. 76-77.

41.Тер-Степанян, Г. И. Глубинная ползучесть склонов и методы ее изучения [Текст] : автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.22.10; 05.23.02 / Тер-Степанян Георгий Исаевич. – Ереван, 1955. – 37 с.

42.Тер-Степанян, Г. И. Цели и возможности наблюдений за движением оползней [Текст] / Г. И.Тер-Степанян // Вопросы геологии и гидрогеологии Арм. ССР. – Ереван : изд. АН Арм. ССР, 1956. – С. 91–107.

43. Тер-Степанян, Г. И. Использование наблюдений за деформациями склона для анализа механизма оползня [Текст] / Г. И.Тер-Степанян // Проблемы геомеханики. – М., 1967. – № 1. – С. 16–51.

44. Тер-Степанян, Г. И. О механизме многоярусных оползней [Текст] / Г. И.Тер-Степанян // Труды к VII Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению». – М. : Госстройиздат, 1969. – С. 190–199.

45. Тимченко, О. Н. Исследование методов изучения динамики оползневых процессов на автомобильных дорогах в горной местности [Текст] / О. Н. Тимченко // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. / Харк. нац. унів.буд-ва та арх. – Х., 2015. – Вип. 4/82. – С. 224-227.

46. Тер-Степанян, Г. И. Геодезические методы изучения динамики оползней [Текст] / Г. И. Тер-Степанян. – М. : Недра, 1979. – 157 с.



47. Тер-Степанян, Г. И. Применение линейных засечек для наблюдения за смещением оползневых точек в очень тесных условиях местности [Текст] / Г. И. Тер-Степанян, В. В. Закеян // Проблемы геомеханики. – 1970. – № 4. – С. 107–114.

48. Тер-Степанян, Г. И. Сгущение наблюдательной сети в застроенных и лесистых оползневых районах для наблюдений за динамикой склонов [Текст] / Г. И. Тер-Степанян // Проблемы геомеханики. – 1968. – № 2. – С. 46–62.

49. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов [Текст]. М. : Геодиздат, 1963. – 111 с.

50. Брайт, П. И. Геодезические методы измерения смещений на оползнях [Текст] / П. И. Брайт. – М. : Недра, 1965 – 100 с.

51. Тер-Степанян, Г. И. Принципы обсервационного метода борьбы с оползнями [Текст] / Г. И. Тер-Степанян // Проблемы геомеханики. – 1973. – № 6. – с. 29–48.

52. Предложения по расчету устойчивости откосов высоких насыпей и глубоких выемок [Текст]. – М.: СоюздорНИИ, 1966. – 68 с.

53. Автомобільні дороги. Габіонні конструкції. Проектування та будівництво [Текст] : ГБН В.2.3-37641918-558:2016 : затв. Міністерством інфраструктури України 09.03.2016. – К. : Міністерство інфраструктури України, 2016. – 50 с. – (Галузеві будівельні норми України).

54. Споруди транспорту. Армогрунтові підпірні стінки для автомобільних доріг. Проектування та будівництво [Текст] : ГБН В.2.3-218-548:2010 : затв. наказом Укравтодору 23.12.2010. – К. : Укравтодор, 2010. – 39 с. – (Галузеві будівельні норми України).

55. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення проектування [Текст] : ДБН В.1.1-24:2009 : затв. наказом Міністерства регіонального розвитку та будівництва України 07.12.2009 та 29.07.2010. – К. : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 108 с. – (Державні будівельні норми України).

56. Дегтяров, Б. М. Защита оснований зданий и сооружений от воздействия подземных вод [Текст] / Дегтяров Б. М., Дзекцер Е. С., Муфтахов А. Ж. – М. : Стройиздат, 1985. – 184 с.

57. Абрамов, С. К. Защита территорий от затопления и подтопления [Текст] / Абрамов С. К., Недрига В. П., Романов А. В., Селюк Е. М. – М., 1961. – 425 с.

58. Браславский, В. Д. Противооползневые конструкции на автомобильных дорогах [Текст] / Браславский В. Д., Львович Ю. М., Грицюк Л. В. и др. – М. : Транспорт, 1985. – 301 с.

59. Белятынский, А. А. Применение трёхмерных георешёток для стабилизации переувлажнённых грунтов на Украине [Текст] / А. А. Белятынский, Е. В. Краюшкина // Дороги. Инновации в строительстве. – Санкт-Петербург, 2013. – №25 – С. 50-52.

60. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення [Текст] : ДБН В.1.1-25-2009 : затв. наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства України 02.12.2009 та 29.07.2010. – К. : Міністерство з питань житлово-комунального господарства України, 2008. – 91 с. – (Державні будівельні норми України).

61. Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування [Текст] : ДБН В.2.3-22:2009 : затв. наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 11.11.2009. – К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2009. – 74 с. – (Державні будівельні норми України).

62. ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013. Настанова щодо проведення земляних робіт та улаштування основ і спорудження фундаментів [Текст]. – На заміну СНиП 3.02.01-87 : чинний з 2014–01–01. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 88 с.

63. ДСТУ-Н Б В.2.1-31:2014. Настанова з проектування підпірних стін [Текст]. – Чинний з 2015–10–01. – К.: Мінрегіон України, 2015. – 87 с.

64. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво [Текст] : ДБН В.2.3-4:2015 : затв. наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 21.09.2015. – К. : Мінрегіон України, 2015. – 113 с. – (Державні будівельні норми України).

65. ТУ У 17.1-33498333-001-2007. Технічні умови. Вироби габіонні з сітки дрової звичної з шестикутними вічками ГВС-0 [Текст]. – К., 2007. – 19 с.

66. Будівництво у сейсмічних районах України [Текст] : ДБН В.1.1-12:2014 : затв. наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 16.05.2014. – К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2014. – 118 с. – (Державні будівельні норми України).

67. Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги [Текст] : ГБН В.2.3-37641918-544:2014 : затв. Міністерством інфраструктури України 02.09.2014. – К. : Міністерство інфраструктури України, 2014. – 147 с. – (Галузеві будівельні норми України).

68. ТУ У 17.1-33498333-002-2007. Технічні умови. Сітки дротові звичочні з шестикутними вічками для габіонних конструкцій СДЗ [Текст]. – К., 2007. – 15 с.

69. Tymchenko, O. Determining snow capacity of snow protection facilities on roads in the mountainous area [Текст] / O. Tymchenko // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : наук.-техн. журнал / Харк. нац. унів.буд-ва та арх. – Київ, 2016. – Вип. 96. – С. 75-81.

70. Білеуш, А. І. Інженерний захист та освоєння територій [Текст] : довідник / А. І. Білеуш, В. С. Ніщук, А. С. Штекель. – Київ : Основа, 2000. – 344 с.

71. Трескинский, С. А. Горные дороги [Текст] / С. А. Трескинский. – М. : Транспорт, 1974. – 368 с.

72. Круцык, М. Д. Эксплуатация горных автомобильных дорог и окружающая среда [Текст] / М. Д. Круцык, С. Ф. Максименко. – К. : Будівельник, 1981. – 104 с.

73. Перевозников, Б. Ф. Защита автомобильных дорог от опасных гидрометеорологических процессов и явлений [Текст] / Б. Ф. Перевозников // Автомобильные дороги. Обзорная информация. – Вып. 1. – М., 1993. – С.12-18.

74. Васильев, А. П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения [Текст] / А. П. Васильев, В. М. Сиденко. – М. : Транспорт, 1990. – 304 с.

75. Устройство асфальтобетонных покрытий при пониженных температурах [Текст] : Р 218УССР 088-80. – Киев: Миндорстрой, 1980. – 46 с.

76. Інструкція по організації нагляду за штучними спорудами [Текст] : ІНВ. 3.2.-218-034449261-96. – Київ: Укравтодор, 1996. – 24 с.

77. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України [Текст] : П-Г.1-218-113:2009 : затв. Наказом Державної служби автомобільних доріг України (Укравтодор) №320 01.07.2009. – Київ: Укравтодор, 2009. – 88 с.

78. ДСТУ-Н Б В.1.1-38:2016. Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від підтоплення та затоплення [Текст]. – Чинний з 2017–04–01. – К.: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», 2016. – 55 с.

79. ДСТУ-Н Б В.2.3-41:2016. Настанова з проектування дренажних конструкцій мілкого закладання на автомобільних дорогах [Текст]. – Чинний з 2017–04–01. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 53 с.

80. АД А.2.4-37641918-002:2015. Дренажні конструкції земляного полотна на автомобільних дорогах загального користування [Текст] : альбом архітектурно-будівельних креслень / О. С. Славінська. – К.: НТУ, 2015.







*Навчальне видання*

**ГЕОДЕЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЗСУВНИХ  
ПРОЦЕСІВ НА ДІЛЯНКАХ ШЛЯХІВ СПОЛУЧЕННЯ  
У ГІРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ**

для студентів, що навчаються за спеціальностями  
«Геодезія та землеустрій», «Залізничні споруди на транспорті»  
і «Будівництво та цивільна інженерія»

*Навчальний посібник*

Укладачі:

УГНЕНКО Євгенія Борисівна  
ТИМЧЕНКО Ольга Миколаївна  
УЖВІЄВА Олена Миколаївна  
ОРЕЛ Євген Федорович  
СОРОЧУК Наталія Ігорівна

Відповідальний за випуск: *Є.Б. Угненко*

Керівник видавничих проектів: Ястребов А.О.

*Друкується в авторській редакції*  
Дизайн обкладинки: Тишківська Н.М.

Підписано до друку 10.01.2019 р.  
Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Умовно друк. аркушів – 10,69.  
Обл.-вид. аркушів – 7,26.  
Тираж 300 прим.

ТОВ «Видавничий дім «КОНДОР»  
Свідоцтво серія ДК № 5352 від 23.05.2017 р.  
03067, м. Київ, вул. Гарматна, 29/31  
Тел./факс (044)408-76-17, 408-76-25  
[www.condor-books.com.ua](http://www.condor-books.com.ua)