

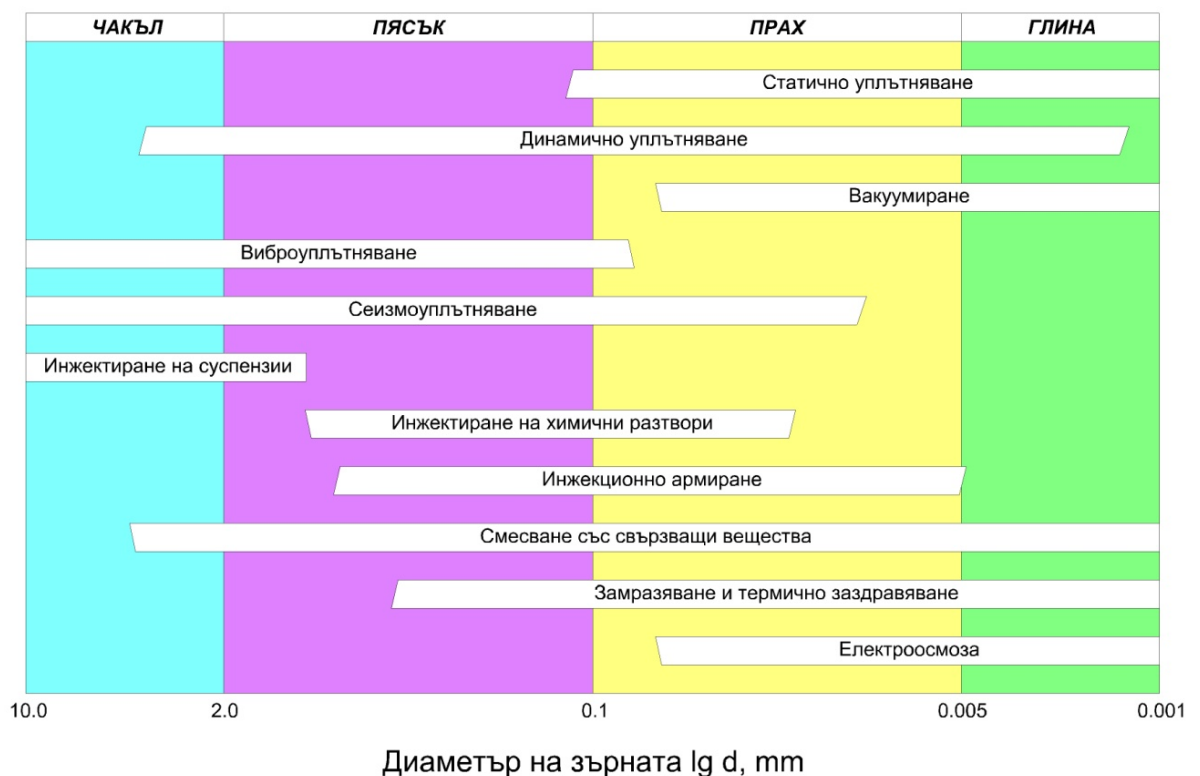
## ГЛАВА 6. МЕТОДИ ЗА ЦЕЛЕНАСОЧЕНО УПРАВЛЕНИЕ И ИЗКУСТВЕНО ПРЕОБРАЗУВАНЕ НА СВОЙСТВАТА НА ГЕОЛОЖКАТА ЖИЗНЕНА СРЕДА

Необходимостта от изкуствено подобряване на скалите и почвите възниква поради техните неблагоприятни свойства, които влияят върху: устойчивостта на съоръженията, условията на провеждане на строителни и минни работи и развитието на геоложките процеси. Основните причини, поради които се налага прилагане на методи за подобряване са:

- Наличие на кухини, пукнатини и пори в скалите, изграждащи масива. Това повишава тяхната деформируемост, водопропускливост, разтваряне и изветряне и обуславя водообилността на масива.
- Недостатъчна плътност и значителна оводненост при отсъствие на структурно сцепление в рохкавите несвързани почви предизвиква значителни и неравномерни слягания, обуславя филтрационната им неустойчивост и склонността им да преминават в плаващо състояние, а също предопределя възникване на водопритоци в строителни изкопи и подземни изработки.
- Високата порестост и водонеустойчивост на структурните връзки в лъсовите почви при ниско естествено водно съдържание обуславят пропадането и лесната им размиваемост.
- Повишеното водно съдържание, малката плътност и особеностите в структурните връзки на глинестите разновидности са предпоставка за ниската якост, носеща способност и значителна деформируемост.

За изкуствено, целенасочено подобряване на свойствата на скалите и почвите е необходимо в зависимост от поставената задача да се постигне увеличаване на плътността, снижаване на водното съдържание, нарастване на водоустойчивостта на съществуващите структурни връзки и създаване на нови изкуствени структурни връзки. В последните години прилагането на различни методи и технологии за подобряване на

свойствата на геоложката среда в предварително определена насока постоянно се разраства. Методите за подобряване и преобразуване на земната среда непрекъснато се развиват, тъй като се разработват нови технологии и материали, а освен това възникват и нови приложения. Понастоящем в строителната практика се прилагат десетки технологии за подобряване на скалите и почвите чрез заздравяване с неорганични и органични химични вещества, динамично и статично уплътняване, въздействие с различни физични полета (топлинно, електрично и др.), армиране и заместване с по-подходящи материали и т.н., които може да се представят в следните основни групи (Фиг. 62).



Фигура 62. Основни групи методи за подобряване на земната среда и тяхната приложимост за различни по зърнометричен състав строителни почви

Всички съществуващи методи биха могли да се обединят в два основни класа:

- I. Подобряване на скалите и почвите на място, в условията на тяхното естествено залягане.
- II. Създаване на изкуствени почвени материали.

Методите влизаци в първия клас се прилагат за укрепване на земната основа на съоръжения, увеличаване на устойчивостта на склонове, откоси и подземни изработки, създаване на противофилтрационни завеси и намаляване на водопритока към подземни изработки.

Методите, отнасящи се към втория клас, се използват при изграждане на основите на пътища, земнонаситни съоръжения, противофилтрационни екрани, подфундаментни възглавници, почвени пилоти и др.

### 6.1. Уплътняване на строителни почви

С уплътняването на почвите се постига следното:

1. Намалява се обема на порите и възможностите за деформации стават по-малки.
2. Чрез доближаване на минералните частици една към друга се създават повече непосредствени контакти между тях, увеличава се триенето, сцеплението и якостта на срязвяне на почвата.
3. Поради намаляване на поровото пространство се понижава водопропускливостта, а уплътнената повърхност предпазва от бързо проникване на вода.

Уплътняването може да се постигне чрез прилагане на различни принципи, а именно по статичен, динамичен и кинематичен начин. При *статичния начин на уплътняване* се използва външно статично натоварване или теглото от валяк или транспортни машини. Изборът на машини за уплътняване зависи от вида на почвата и конкретния случай. Гладки валяци се употребяват предимно за заглаждане и доуплътняване на горната повърхност на пластовете, уплътнени с други машини. Шиповидните валяци са подходящи за свързани почви с водно съдържание близко до оптималното. Те раздробяват буците и постепенно уплътняват пласта отдолу-нагоре, като най-горните 5-6 см остават недоуплътнени. Те се доуплътняват и заглаждат от гладки или пневматични валяци. Пневматичните валяци са подходящи за уплътняване на всички почви с изключение на скалните и едрозърнестите баластри. За уплътняване на свързани и слабо свързани почви, а също и

на скални насипи е целесъобразно да се използват вибрационни валяци. За уплътняване на почви в стеснени строителни условия се употребяват ръчни механизирани трамбовки, малогабаритни валяци, виброплочи и иглени вибратори.

При *динамичния начин на уплътняване* се използва енергия, която действа ударно (мигновено), разрушава структурата на почвите или скалите, след което ги уплътнява. Той се осъществява посредством различни видове трамбовки – от ръчни с маса 10-15 kg и височина на падане 30 cm до плочи с маса 20 t, които се спускат от 20 m височина.

При *кинетичния принцип на уплътняване* се прилага енергия, но повече за единица време, при което зърната без да се разрушават се подреждат в по-плътна структура. Този начин на уплътняване се осъществява с вибрационни плочи и вибратори, като по-голям ефект се постига при наличие на вода. В някои случаи трите принципа за уплътняване на почвите се прилагат смесено.

***Повърхностно уплътняване с тежки трамбовки*** се прилага при малка дебелина на слабия пласт или при малка активна зона на слягане. Най-често се използват стоманобетонни трамбовки във вид на пресечен конус с ниско разположен център на тежестта (Фиг. 63). Масата на трамбовката е 1,5 t и повече, а статичното натоварване от нея е около 20 kPa. С помощта на багер или кран с подходяща стрела и товароподемност тя се пуска да пада от височина по-голяма от 4 m. Дебелината на уплътнената зона зависи преди всичко от диаметъра на трамбовката и от броя на ударите. Трамбова се до отказ, т.е. понижението на теренната повърхност за един удар да стане постоянна величина. Тогава почвата е максимално уплътнена и по-нататъшното трамбоване, не само че не дава уплътнителен ефект, но довежда до разрушаване на повърхностния слой. Отказът и съответният брой на ударите на трамбовката на едно и също място се определят на пробен участък. Понижението на повърхността на терена се измерва по геодезичен път. Отказът обикновено е от 0,5 cm за силно пясъчливи почви до 2 cm – за глини. Броят на ударите за достигането му е от 8 до 15. За да се установи дълбочината на уплътнената зона, след уплътняване се изкопава шурф, в който се

определя обемната плътност на проби взети през 10-20 см, като по този начин се получава изменението ѝ в дълбочина. Долната граница на достатъчно уплътнената зона е там, където почвата притежава предписаната по проект плътност. Дебелината на уплътнената зона  $t$  може приблизително да се определи от формулата:

$$t = d/k$$

където  $d$  – диаметър на трамбовката,

$k$  – емпирично установен коефициент, който е 0,70 за глинест пясък; 0,75 – за пясъчлива глина и 0,80 – за глина, при маса на трамбовката, която дава статично натоварване поне 15 kPa за пясъчливи и 20 kPa за глинести почви.



Фигура 63. Уплътняване дъното на строителен изкоп с тежка трамбовка

Най-ефективно е уплътняването при оптимално водно съдържание  $W_{opt}$ . В случай, че естественото водно съдържание е по-голямо от оптималното, теренът който ще се трамбова се разкрива и се оставя при благоприятни климатични условия няколко дни да изсъхне до достигане на

стойността на  $W_{opt}$ . Когато естественото водно съдържание е по-малко от оптималното се извършва допълнително овлажняване чрез заливане на терена с необходимото водно количество  $Q$ , което за единица обем от почвата се изчислява по формулата:

$$Q = \rho_d \cdot (W_{opt} - W_n)$$

където  $\rho_d$  – обемна плътност на скелета,  $g/cm^3$ ;

$W_{opt}$  – оптимално водно съдържание, %;

$W_n$  – естествено водно съдържание, %.

Уплътняването трябва да започне след като водата попие изцяло в почвата, което обикновено става за едно или повече денонощия. Почти всички видове почви (Фиг. 62) се поддават на повърхностно уплътняване, като при лъсовите почви то е особено ефикасно понеже отстранява и пропадъчността на уплътнявания пласт. У нас е провеждано уплътняване с тежки трамбовки с маса до 15 тона и височина на падане - 9 m, а в Австрия за уплътняване на скални насипи са използвани плочи с маса 20 тона, пускани от височина 20 m. Най-голямата дебелина на уплътнената зона достигната у нас е около 3-4 m. Недостатък на уплътняването с тежки трамбовки при лъсовите почви е, че не може да бъде прилагано при висока степен на водонасищане  $S_r$  на лъса, а също и на терени, намиращи се в непосредствена близост до сгради и съоръжения чувствителни към вибрации.

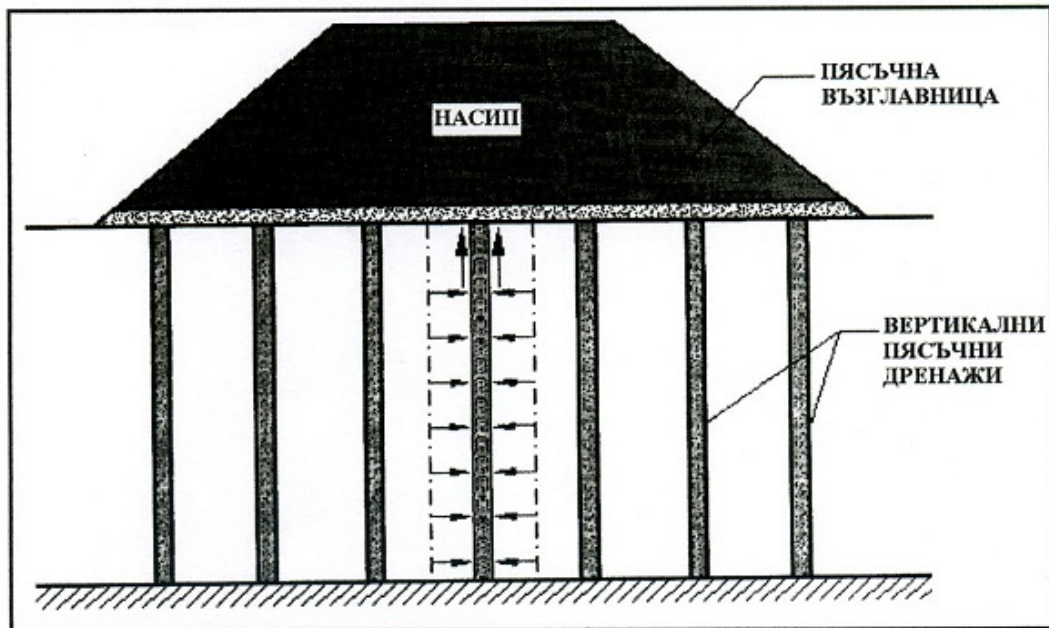
Един от **методите за дълбочинно уплътняване** на почвите е изграждане на **почвени пилоти**. Те успешно се прилагат при значителна дълбочина на активната зона на слягане при свързани почви и за отстраняване на пропадъчността на дебел лъсов пласт. В уплътнявания масив се правят вертикални цилиндрични отвори с подходящо сондажно оборудване по такъв начин, че почвата встрани да се уплътни. За достигане на по-голям уплътнителен ефект встрани от сондажа се използва взривна енергия. За тази цел в сондажа се спуска детониращ шнур, на който на равни разстояния от порядъка на 10-20 cm са вързани взривни патрони, съдържащи малък заряд (50 g) фугасно взривно вещество (например, амонит). При по-глинестите почви патроните се поставят по-гъсто. Зарядите от един и същи сондаж се взривяват

едновременно. Вследствие на взривната енергия, сондажният отвор се разширява до 60-70 cm, а почвата встрани от него се уплътнява, като широчината на уплътнената зона зависи от състава и свойствата на почвената разновидност. Получените достатъчно широки вертикални отвори се запълват с трамбована на пластове местна или друга подходяща почва. Обикновено се използват по-песъчливи и по-прахови разновидности или чист пясък, които се уплътняват по-лесно. Почвата се овлажнява до достигане на оптимално водно съдържание, полага се на пластове с дебелина 30-50 cm и се уплътнява с трамбовка с подходяща форма и маса 250-450 kg, която се спуска да пада от височина 2-3 m в сондажния отвор. Количеството почва, което е необходимо за един пласт е около 80-150 kg. То се изчислява точно в зависимост от диаметъра на почвения пилот. Почвените пилоти се разполагат шахматно на еднакво разстояние един от друг, възлизащо на 2-3 пъти диаметъра на пилотите и зависещо от естествената и проектираната обемна плътност на скелета  $\rho_d$ . Прието е в план уплътняваната площ да излиза от всяка страна на фундамента с 10-20% от неговата широчина.

Разновидност на почвените пилоти са **пясъчните пилоти**, наричани още **вертикални пясъчни дренажи**. Те ускоряват консолидационните процеси при слаби свързани почви и по такъв начин правят възможно фундирането на сгради и съоръжения при твърде неблагоприятни инженерногеоложки и хидрогеоложки условия. Тези дренажи са особено ефикасни, когато са съчетани с пясъчна възглавница (Фиг. 64).

По-ефективни от пясъчните дренажи са **картонените дренажни ленти**. Те се състоят от два или три пласта картон, като при слепването на картоните се образуват надлъжни каналчета, всяко от които има напречно сечение около  $3 \text{ mm}^2$ . Лентите са фабрично изготвени, с дължина до 400 m и са навити на макара. Те се полагат във вертикално положение със самоходна машина. Така нареченият **“геодрен”** представлява усъвършенстван картонен дренаж. Сърцевината му е пластмасова и има жлеbove, които заедно с хартиеното покритие образуват около 60 каналчета, с общо напречно сечение около  $2,2 \text{ cm}^2$ . Покритието е от специално обработен мек картон, който има сравнително

висока якост на опън и е силно водопропусклив. За полагане на геодрен се използват високо производителни машини. В мекопластична глина, дренаж с дълбочина 10 m, заедно с преместване на машината, се прави за две минути. Дрениращият ефект на един геодрен е приблизително равен на този на вертикален пясъчен дренаж с диаметър 18 cm.



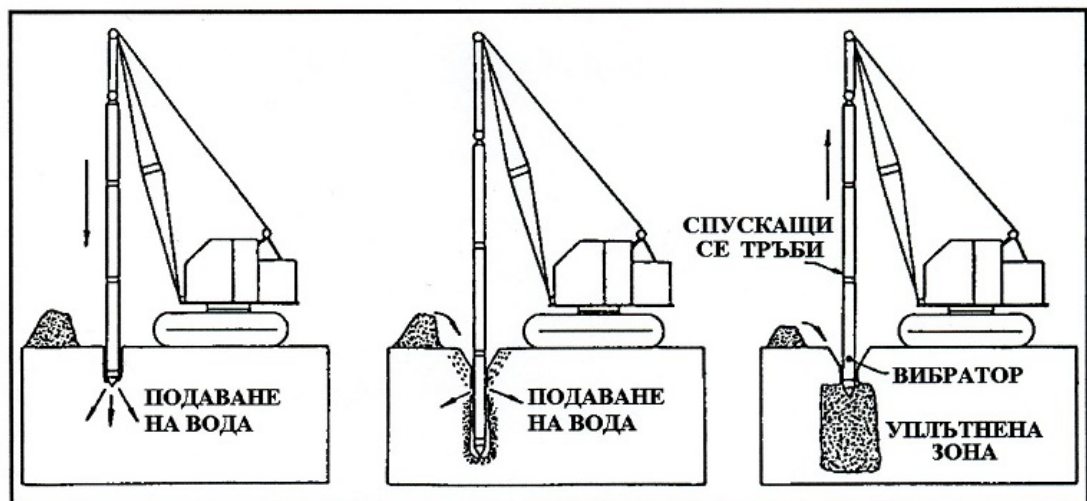
Фигура 64. Уплътняване чрез комбинация от вертикални пясъчни дренажи и пясъчна възглавница

Разновидност на почвените пилоти са т.нар. **варови пилоти**. Те се изграждат, като вместо с почва вертикалните отвори се запълват с негасена или гасена вар. По-ефективно е използването на негасена вар, която реагира с водата от силно овлажнената почва и започва да се гаси. Вследствие на това тя увеличава обема си почти двойно и по този начин предизвиква уплътняване встрани. Процесът на гасене е екзотермичен (отделя се топлина), което също спомага за изсушаване и заздравяване на почвата около варовия пилот.

Друг метод, който се прилага за дълбочинно уплътняване на почвите е **дълбочинно хидровибриране**. При вибриране рязко намалява триенето в контактните зони между зърната на несвързаните почви. Под действие на собственото си тегло частиците се наместват в по-плътна структура и почвата се уплътнява. При свързаните почви, поради структурните връзки



между отделните частици, този ефект не е възможен. По тази причина вибрационното уплътняване се прилага предимно за несвързани почви. Хидровибрирането се осъществява, като в уплътнявания пласт се забива с удари или чрез размиване надупчена в долния си край тънка тръба (19-25 mm). През нея в почвата се нагнетява вода под налягане до  $4 \cdot 10^5$  Pa до пълно водонасищане, за което се съди по появилата се на повърхността вода. Тогава дълбочинният вибратор се поставя на разстояние около 25-30 cm от тръбата и се пуска в действие. Вибраторът започва да потъва, като около него се образува ямичка, която се засипва с пясък. При потъването на вибратора в дълбочина постоянно се досипва пясък. По този начин се уплътнява почвата встрани и се образува стълб от уплътнен пясък, който се уплътнява още повече при извличане на работещия вибратор нагоре. Накрая ямата на повърхността се запълва отново с пясък. Такива уплътнени пясъчни стълбове (колони), разместени шахматно, се изграждат по цялата площ на уплътнявания участък. Разстоянието между тях предварително се изчислява, като най-често е между 50 и 200 cm. Опитът показва, че вследствие на дълбочинното виброуплътняване коефициентът на порите на пясъка намалява с 10-15%. Съществуват и някои конструкции вибратори, при които е възможно подаването на вода едновременно с вибрирането (Фиг. 65).



Фигура 65. Апаратура и процедура за дълбочинно виброуплътняване

Ефективен метод за дълбочинно уплътняване на чакъли, пясъци и прахови разновидности от типа на льосовите е **дълбочинното**

**хидровзривно уплътняване** или както още се нарича **сеизмоуплътняване**. Този метод е най-ефективен при уплътняване на несвързани почви – чакъли, пясъци и изкуствени намиви, направени от тях. Ограничаващо условие за приложимостта на метода при тези почви е стойността на началната степен на уплътненост  $D$ :

$$D = \gamma_{dmax} \cdot (\gamma_{de} - \gamma_{dmin}) / \gamma_{de} \cdot (\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin})$$

където  $\gamma_{dmin}$  – обемно тегло на скелета на почвата в най-рохко състояние;

$\gamma_{dmax}$  – обемно тегло на скелета на почвата в най-сбито състояние;

$\gamma_{de}$  – обемно тегло на скелета на почвата в естествено състояние.

При по-плътни водонаситени пясъци с  $D > 0,7$  дълбочинните взривове не само, че не водят до уплътняване, но в зоната на непосредствено действие на взривните газове се стига и до разуплътняване на почвата. Взривното уплътняване е особено подходящо за пропадъчни почви с относително висок коефициент на филтрация  $K_f > 0,2 \text{ m}/24 \text{ h}$  и ниска обемна плътност на скелета  $\rho_d \leq 1,45 \text{ g}/\text{cm}^3$ . Съдържание на праховата фракция до 70-80% не се отразява върху ефекта от взривното уплътняване. Увеличението на глинестата фракция обаче, значително затруднява разрушаването на структурата на почвата. При свързани глинести почви се осъществява уплътняване само в непосредствена близост до заряда и се образуват подземни кухни, поради което за тях не се препоръчва хидровзривно уплътняване. Напоследък този метод започна да се използва за уплътняване на тинести почви, като задължително се създават условия за дрениране на водата. Уплътнената посредством този метод почва продължава да се сляга и след приключване на дейностите по уплътняването. В зависимост от състава на почвата, пълна стабилизация на слягането настъпва при пясъците след около 1-2 месеца, а при льосовите почви – след 6-18 месеца. По тази причина хидровзривното уплътняване е неприложимо в случаите, когато строителството трябва да започне веднага. Този метод не може да се

използва и в участъци с активни или потенциално активни свлачища. Основните технологични операции при дълбочинното хидровзривното уплътняване се изпълняват в следната последователност:

- Подготовка на строителния котлован, като размерите на страните му трябва да бъдат с 10-20% по-големи от размерите на бъдещото съоръжение.
- Прокарване на дренажните и взривните сондажи или на съвместни дренажно-взривни сондажи, а също и на контролните сондажи, в които ще се разположат дълбочинни геодезични репери.
- Поставяне на зарядите и цялостно оборудване на взривните сондажи. За определяне на разположението на зарядите, на техния брой и количеството на взривното вещество съществуват редица емпирични формули. Най-целесъобразно обаче, е тези параметри да се определят чрез уплътняване на опитен участък, т.к. всяка земна основа се характеризира с определени особености.
- Засипване на сондажите с дренажен материал.
- Монтиране на водопроводна система, така че водата да се подава директно до всеки дренажен сондаж.
- Изграждане на дълбочинни и повърхностни геодезични репери. Обикновено повърхностните репери се разполагат в шахматна мрежа, а дълбочинните – по средната линия на площадката. Извън уплътняваната площ, на разстояние най-малко 2 пъти по-голямо от дебелината на уплътнявания пласт се разполагат постоянните геодезични точки, спрямо които се отчита потъването на реперите.
- Засипване на дъното на котлована с 10-20 cm дренажен слой.
- Провеждане на предварително намокряне, като в процеса на намокряне най-малко един път седмично се измерва слягането на реперите.

- Взривяване на зарядите. Тази операция трябва да се извърши не по-късно от 3 до 8 часа след завършване на намокрянето.
- Провеждане на ежедневни измервания на слягането до настъпване на условна стабилизация. Приема се, че това е станало при стойност на слягането не повече от 1 см за седмица. Определя се и плътността на почвата през 1-2 m по цялата дълбочина на уплътнявания масив.
- Уплътняване на най-горния недоуплътнен слой посредством повърхностни взривове, тежка трамбовка или чрез изграждане на почвена или циментопочвена възглавница.

При водонаситените почви технологията се опростява, т.к. отпадат всички операции свързани с предварителното намокряне на масива. Предимствата на метода за дълбочинно хидровзривно уплътняване са следните:

- а) Дълбочината на уплътняване е практически неограничена.
- б) За уплътняване на подводни намини взривният метод е единствено приложим.
- в) Уплътненият масив е твърде еднороден по плътност, т.к. действието на взрива е най-голямо върху най-слабите слоеве от почвата. При правилно разположение на зарядите няма никаква опасност да се пропусне някоя прослойка или участък.
- г) За този метод за уплътняване не е необходимо сложно и скъпо оборудване и разходите са сравнително ниски.

Методът има и някои недостатъци, като:

- а) В застроени територии прилагането на взривното уплътняване е затруднено поради необходимостта от антисеизмични мероприятия.
- б) При изпълнение на технологичните операции трябва много стриктно да се спазват правилата по техника на безопасност.
- в) В технологично отношение методът не е сложен, но за качественото му изпълнение е необходим много добре подготвен екип от разнородни специалисти по взривно и сондажно дело, геодезия, геотехника и геофизика.

## 6.2. Изкуствено преобразуване на дисперсните почви чрез смесването им с различни свързващи вещества на повърхността и в дълбочина

Смесването на дисперсните почви със свързващи вещества се използва за създаване на изкуствен материал с предварително зададени свойства, който е подходящ за изграждане на пътища, подфундаментни възглавници, противофилтрационни екрани, стени и пилоти. Тази група методи позволява да се оползотворяват почвите като местен строителен материал. Преработването на нескалните разновидности посредством добавянето на свързващи вещества от типа на: цимент, вар, битум и някои синтетични полимери, и прилагането на комплекс технологични мероприятия осигуряват формиране на материал с висока якост и устойчивост в условията на периодично навлажняване-изсъхване и замръзване-размръзване. **Смесването** на дисперсните почви със свързващи вещества може да се осъществи както **на повърхността**, така и **в дълбочина**. Повечето **методи за заздравяване на почвите на повърхността** имат близка технологична схема. Тя включва:

1. Разрушаване на естествената структура на почвата.
2. Смесване на почвата със свързващите вещества и химични реагенти.
3. Уплътняване на сместа с пътни валяци или други уплътнителни машини и уреди.

Според *вида на свързващите вещества* се различават:

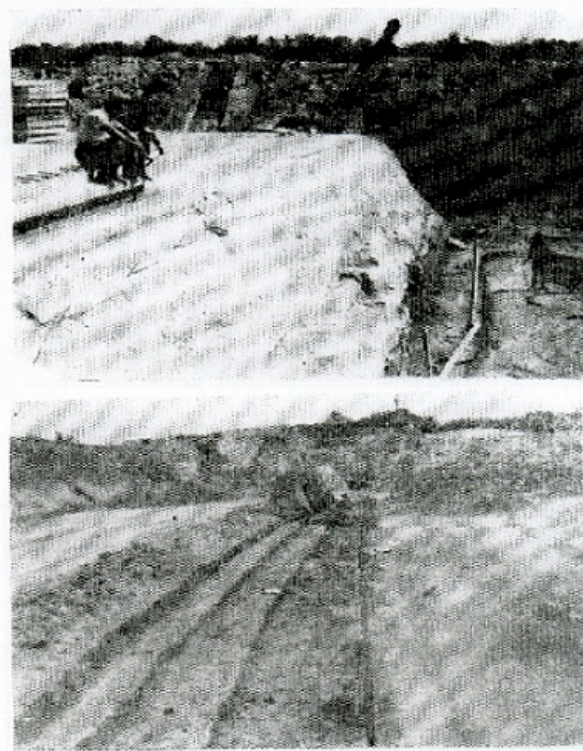
- Заздравяване с неорганични свързващи вещества (най-често цимент, вар, водно стъкло и някои отпадъчни материали от индустрията).
- Заздравяване с органични свързващи вещества (битуми, полимери и някои отпадъчни вещества).

Приготвянето на сместа може да се извърши стационарно или на място. Стационарното смесване се прави в специални смесители, които наподобяват бетонобъркачките с противотоково действие и в тях по

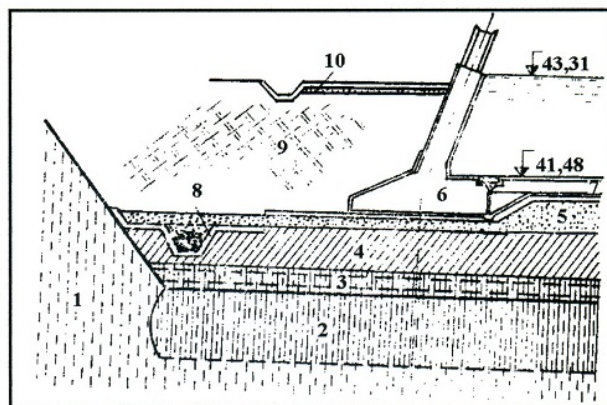
механизиран начин се подава почвата, свързващото вещество и водата. При приготвяне на сместа на място, почвата се раздробява и се смесва със свързващото вещество със специален вид фрези, които могат да бъдат самоходни и прикачни. При самоходните фрези, добавянето на свързващото вещество се осъществява с дозатори. След доброто смесване и хомогенизиране на сместа, тя се уплътнява с гладки или пневматични валежи. Обикновено това става при оптимално водно съдържание  $W_{opt}$  на сместа до достигане на стандартна плътност  $\rho_{ds}$ . При стеснени строителни условия и при някои приложения в хидромелиоративното строителство се използва т.нар. “пластична” смес, с водно съдържание близо до границата на протичане  $W_L$ . Такава смес се уплътнява с иглени вибратори.

От заздравяването с неорганични свързващи вещества на повърхността най-голямо приложение има **заздравяването с портландцимент**. То е най-разпространено в пътното строителство, където циментопочвата се използва вместо основа от трошен камък, чакъл или баластра. В хидротехническото строителство от циментопочва се изграждат противоерозионни екрани на земно-насипни стени. В Калифорния е построена дори цяла язовирна стена от циментопочва. В хидромелиоративното строителство циментопочвата служи за изграждане на водозащитни екрани и облицовки, а в промишлено-гражданското - за подфундаментни възглавници с голяма носеща способност. С портландцимент се заздравяват всички видове дисперсни почви, с изключение на хумусния хоризонт на растителната почва, тежките глини с показател на пластичност  $I_p > 20$  и някои силно засолени почви. Най-ефикасно се заздравяват пясъчливите и прахово-пясъчливите почви, които лесно се раздробяват и смесват с цимента. Добавката от цимент най-често е в количество от 3% до 12 % спрямо масата на сухата почва и се определя за всеки конкретен случай според вида на почвата и предназначението на заздравения слой. Якостта на циментопочвите зависи от много фактори, най-важните от които са: количество на цимента; степен на уплътненост на сместа, време на отлежаване и температурно-влажностен режим на отлежаване. У нас циментопочвените смеси имат

най-голямо приложение при изграждане на подфундаментни възглавници в пропадъчни льосови почви. Повече от 100 сгради и съоръжения, включително повечето от съоръженията на АЕЦ “Козлодуй” (Фиг. 66), трите най-високи телевизионни кули в Северна България (в Русе, Тутракан и Силистра), много сгради с височина до 18 етажа, охладителни кули на ТЕЦ и др. са фундирани върху циментопочвена възглавница (Фиг. 67).



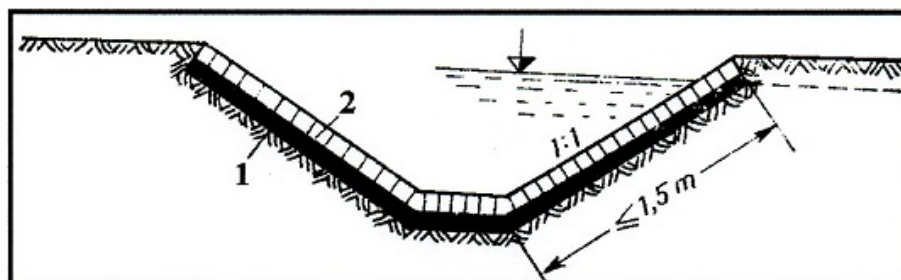
Фигура 66. Изграждане на циментопочвена възглавница под първата реакторна зала на АЕЦ «Козлодуй» (по Минков и Евстатиев)



Фигура 67. Схематичен разрез на фундамента и земната основа на охладителните кули на ТЕЦ «Русе» (по Минков и Евстатиев)

1 – естествен льос; 2 – уплътнен с тежка трамбовка льос; 3 – послойно уплътнен с валеж льос при оптимално водно съдържание до стандартна плътност; 4 – циментопочва; 5 – пясъчен филтър; 6 – фундамент; 7 – долна плоча; 8 – дренажна канавка; 9 – обратен насип; 10 - тротоар

Циментопочвата у нас е широко прилагана и за изграждане на водозащитни екрани на хидромелиоративни съоръжения (Фиг. 68).



Фигура 68. Циментопочвена облицовка на канал (по Минков и Евстатиев)  
1 – облицовка от пластична циментопочва; 2 – уплътнено почвено покритие

Седемнадесет водоизравнителя са построени с екран от заздравена почва. Изследванията показват, че уплътнената циментопочва е плътен материал с коефициент на филтрация  $K_f = 10^{-6}-10^{-7}$  cm/s при сравнително голям напор - около 500 kPa. Циментопочвата е дълготраен и надежден материал, когато е покрита със защитен слой, предпазващ я от периодично замръзване-размръзване. Установено е, че най-голяма якост, водоплътност, водо- и мразоустойчивост имат екраните приготвени от оптимална зърнометрична смес. Чрез добавяне на малки количества повърхностно-активни вещества (ПАВ), коефициентът на филтрация на циментопочвата може да достигне още по-ниски стойности от порядъка на  $10^{-8}$  cm/s. Построените у нас екрани са три вида:

- От *корава циментопочва*, която се приготвя чрез смесване на място и уплътняване с пътни валежи при оптимално водно съдържание  $W_{opt}$  до достигане на стандартна плътност  $\rho_{ds}$ . Използваните почви са типичен лъс и прахово-песъчливи глини. Количеството на добавения портландцимент е 8-10%.
- От *корава варопочва*, която се приготвя по същия начин и се прилага при по-глинести разновидности. Свързващото вещество е негасена вар на прах, чието оптимално количество е около 6%.
- От *пластична циментопочва*, която се приготвя в стационарни смесители, с добавка на 10-12% портландцимент, при водно



съдържание на сместа около 30%. Уплътняването на тази смес е извършвано с плоски вибратори.

Дебелината на екраните зависи от височината на водния стълб в изравнителя и се изменя от 10 до 30 см. Екраните се покриват с 15-20 см уплътнен почвен слой, който създава по-благоприятни условия за втвърдяване на циментопочвата и ги предпазва от мразови деформации.

Заздравяването чрез **смесване на почвата с негасена или гасена вар** на прах се прилага при по-глинести почви, с показател на пластичност  $I_p > 20$ . Този метод се използва по-рядко от заздравяването с цимент. Количеството на добавяната вар обикновено е от 5% до 10%. Негасената вар на прах има много добър ефект при заздравяване на преовлажнени глинести почви. Освен ангажиране на част от свободната вода от почвата за гасенето на варта, настъпват и благоприятни изменения в свойствата вследствие насищане на поглъщащия комплекс с калциеви йони  $Ca^{2+}$ . Варта по-често се препоръчва за предварителна обработка на глинести почви при заздравяването им с портландцимент. Едно денонощие преди смесване с цимента се извършва обработка с 1-2% вар, в резултат на което глинестата почва се раздробява, намалява се лепкавостта и значително се подобрява обработваемостта. Деформационните и якостните показатели на варопочвата се изменят в широк диапазон, но обикновено якостта ѝ е по-ниска от тази на циментопочвата.

Заздравяването чрез **смесване на почвата на повърхността с водно стъкло** се прилага рядко и то при някои отпадъчни материали. Водното стъкло също се използва като добавка при заздравяване на пясъчливи почви с цимент, което допринася за увеличаване на якостта в ранните срокове на отлежаване и подобрява водоплътността и мразоустойчивостта.

Освен с неорганични вещества, **заздравяване на повърхността** се осъществява макар и по-рядко **с органични свързващи вещества**. **Битумизацията** е метод, който се състои в смесване на почвата с битум или катран във вискозно-течно състояние или във вид на паста и емулсии. Битумизацията се изпълнява по същата технология, както и заздравяването с неорганични свързващи вещества. Битумизираната

почва се използва главно за изграждане на долен слой на основа на пътища с неголямо натоварване. При заздравяване на почвите с тези вещества се формира еластично-вискозна коагулационна структура. В процеса на нейното образуване голяма роля имат адсорбционните и хемосорбционните процеси. Освен тях протичат и процеси на полимеризация и поликондензация. За намаляване дозировката на свързващото вещество и заздравяване структурата на битумизираната почва се добавят малки количества повърхностно-активни вещества (ПАВ), които активизират сорбционните процеси. Характерно при битумизацията е, че увеличаването на количеството на свързващото вещество и на водата над оптимално установените стойности довежда до рязко намаляване на якостта и топлоустойчивостта на заздравената почва. Затова точното спазване на дозировката и равномерното разпределяне на свързващото вещество са задължителни условия за постигане на зададените свойства. Установено е, че за достигане на добра свързаност, водоустойчивост и якост трябва да се добавят следните количества битум: 6-8% за пясъци и глинести пясъци; 8-10% - за пясъчливи глини и 10-14% - за глини. Най-подходящи за битумизация са глинестите пясъци и пясъчливите глини с показател на пластичност  $I_p > 3$ . По-малко пригодни и непригодни са пясъци и глинести пясъци с показател на пластичност  $I_p < 3$ , тежките високопластични глини и осолените почви, съдържащи над 1% лесно разтворими соли, особено натриев карбонат  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и натриев сулфат  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Недостатъци на метода за повърхностна битумизация са:

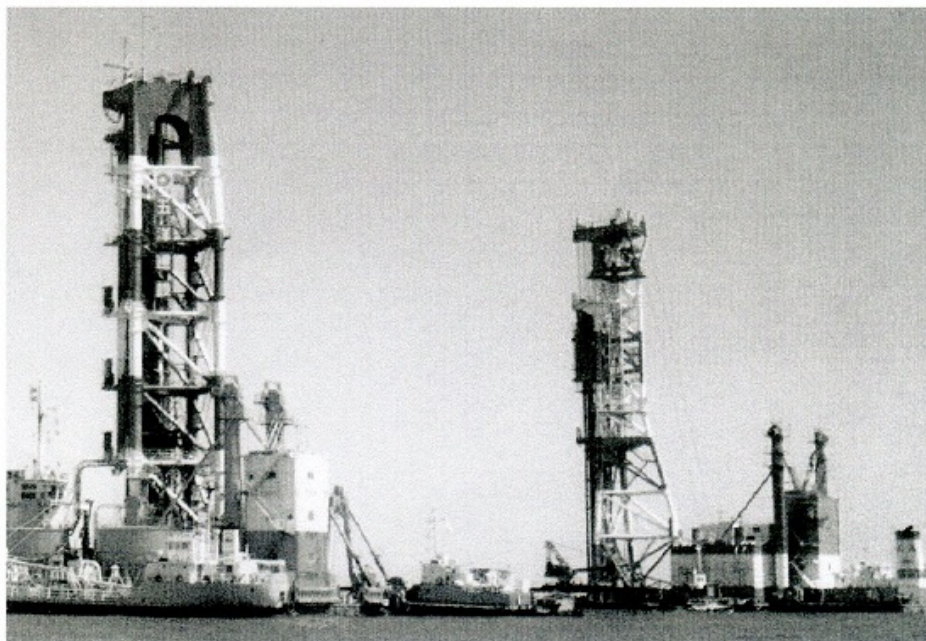
- Невисока якост и недостатъчна водоустойчивост.
- Голяма зависимост на технологичните операции от климатичните условия.
- Ограничен брой почвени разновидности, които са пригодни за обработване с органични свързващи вещества.

За да се избегнат някои от тези недостатъци са разработени комплексни методи, при които освен органичните свързващи вещества към почвата се добавят различни химични реагенти. Най-добър ефект е постигнат чрез добавяне към органичното свързващо вещество във вид на

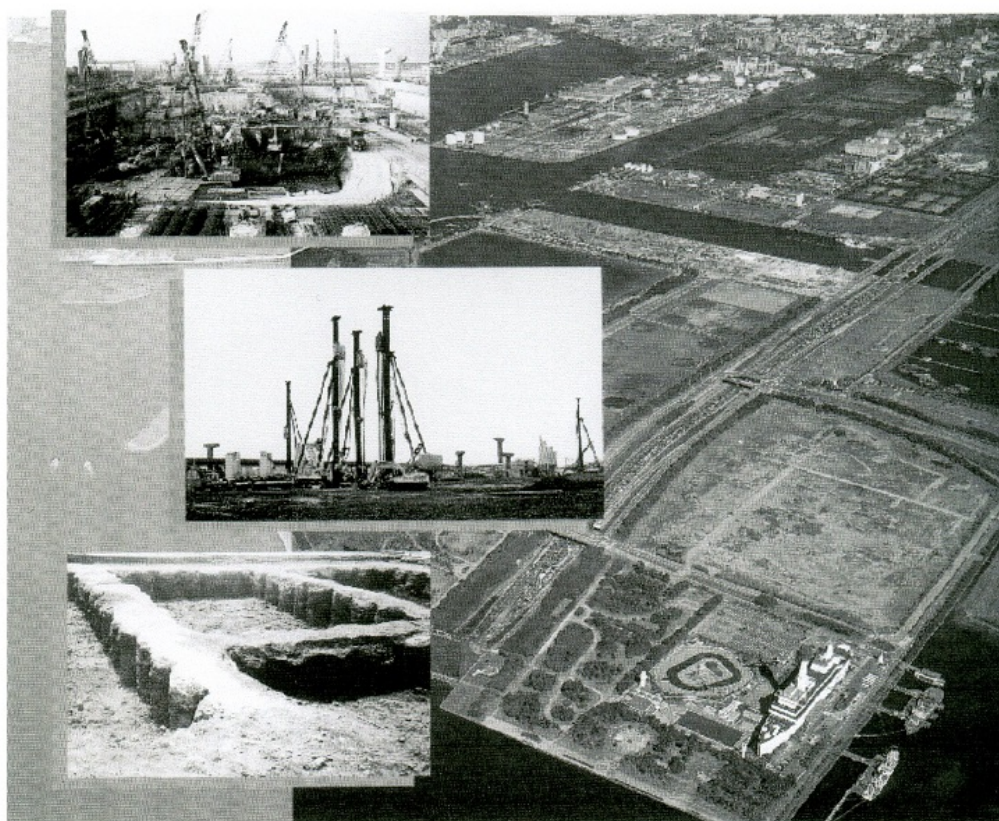
емулсия на вар или на пепел от ТЕЦ, съдържащи свободен калциев оксид CaO.

Някои **синтетични смоли** също се използват за създаване на изкуствени почвени материали. Синтетичните смоли позволяват да се получи материал с висока якост, да се регулира процеса на втвърдяване и формиране на структурата на заздравената почва. Освен това необходимото количество смола, с което се постига здрав и дълготраен материал е от 2 до 5 пъти по-малко от необходимия за тази цел цимент или битум. Не трябва да се забравя обаче, че цената на синтетичните смоли е твърде висока в сравнение с цената на цимента. За заздравяване на почвите се използват полимерни смоли от поликондензационен тип, т.к. процеса на поликондензация може да протича във влажни почви. Прилагани са: карбамид формалдехидни смоли, фурфуроланилинови смоли, резорцин формалдехидни смоли, както и някои акрилови, лигносулфонатни и лигнопротеинови съединения. При правилно избран втвърдител и отчитане особеностите на геоложката среда, тези вещества са способни да се втвърдят при обичайна температура. Голям недостатък на синтетичните смоли е съдържанието на отровни вещества в повечето от тях, които биха могли да замърсят подземните води и са опасни за здравето на човека.

Напоследък в някои развити страни беше достигнат голям напредък в разработването и прилагането на **метода за дълбочинно смесване с неорганични свързващи вещества** (Deep Mixing Method – DMM). Този метод позволява на място да се заздравяват слаби почви от типа на морските тини и алувиалните глинни чрез смесването им с цимент или вар посредством специално конструирани машини, някои от които са пригодени да работят и под вода (Фиг. 69). При това заздравяване се получава изкуствено циментирана почва с различна форма във вид на: колони, стени, мрежи и монолитни блокове (Фиг. 70).



Фигура 69. Апаратура за дълбочинно смесване (DMM) на слаби почви с неорганични свързващи вещества, работеща под вода



Фигура 70. Заздравяване на слаби почви чрез дълбочинното им смесване с неорганични свързващи вещества (DMM) и изграждане на различни елементи от заздравена почва: колони, стени, мрежи и монолитни блокове

Варта се подава във вид на прах или гранули, а цимента – във вид на циментово мляко и циментов разтвор. Методът е разработен почти едновременно в Япония и Швеция през 1972-1975 г. От тогава в Япония започва неговото масово прилагане и усъвършенстване и понастоящем там са заздравени няколко десетки млн.  $m^3$  почва. Използваните машини имат възможност да правят колони от заздравена почва с радиус от 0,7 до 1,8 m и напречно сечение от 1,5 до 9,5  $m^2$  и максимална дълбочина достигаща до 70 m от водната повърхност. Обикновено свързващото вещество се добавя в количества 10-20% спрямо сухата маса на почвата. Самата машина е снабдена с подобно на шнек устройство за сондиране. Режещите лопатки на това устройство раздробяват почвата и я смесват с подавания под слабо налягане разтвор на свързващото вещество. Методът за дълбочинно смесване се прилага при слаби тинести и глинести разновидности, с много високо водно съдържание, често надхвърлящо границата на протичане  $W_L$ . При този метод не се извършва уплътняване на сместа, както при методите за смесване на повърхността, поради което увеличението на якостта при дълбочинното смесване зависи единствено от химическите реакции, протичащи при хидратация на цимента и пуцолановото взаимодействие между фините почвени частици и продуктите от хидратация на цимента. Установено е, че добавката на 10-20% свързващо вещество е достатъчна за достигане на якост на едноосен натиск на заздравената слаба почва от порядъка на 10  $kg/cm^2$ . Обработените по този начин слаби морски наслаги придобиват висока якост, малка деформируемост и ниска водопропускливост. Методът е твърде универсален и се прилага за подобряване свойствата на земната основа при различни видове строителни дейности, но най-широко разпространение е придобил при изграждане на различни пристанищни съоръжения. Подобряването на големи почвени обеми във формата на цели блокове се прилага при фундиране на тежки съоръжения. Изграждането на пилоти или колони от заздравена почва се използва за подобряване основата на невисоки насипи и сравнително по-леки съоръжения, с цел да се намали слягането и се осигури устойчивостта им.

Факторите, които влияят върху якостта на заздравената посредством дълбочинно смесване почва, най-общо биха могли да се разделят в три категории:

- *Свойствата на заздравяваната почва.* В тази категория се включват: вида на глинестите минерали, сорбционния капацитет и вида на обменните катиони, количеството на разтворения силиций и алуминий, зърнометричния състав, рН на водата в порите, водното съдържание, границите на източване и протичане и съдържанието на въглерод в органичното вещество на почвата.
- *Условията на смесване.* Към тази категория се отнасят: вида на свързващото вещество, неговото качество и количество, качеството на смесване и хомогенизиране на почвата със свързващото вещество.
- *Условията на отлежаване на заздравената циментопочва или варопочва.* Тук се включват факторите: време на отлежаване, влажностни и температурни условия, при които отлежава заздравената почва.

### 6.3. Инжекционно заздравяване и уплътняване – видове инжекционни разтвори, основни параметри на инжекционния процес, технология за инжектиране на напукани скали, песъчливи и льосови почви

Инжекционните разтвори представляват специално подбрани втечняващи се материали, различни по своята химична природа и агрегатно състояние, способни под налягане да проникват в пукнатините и порите на скалите и почвите, след което се формират твърди свързващи продукти. Инжекционните разтвори са два основни типа: *суспензии* и *химически разтвори*. Най-широко разпространените суспензии са циментовите и глинестите, а най-често използваните химически разтвори са на основата на водно стъкло и на карбамидни смоли. Суспензионни разтвори се инжектират при почви с коефициент на филтрация  $K_f > 20 \text{ m/24 h}$ , а

химически разтвори се нагнетяват при по-слабо пропускливи финозърнести пясъци и прахови почви с  $K_f$  от 0,1 до 20 m/24 h.

Най-широко приложение от инжекционните методи са намерили **циментацията** и **глинизацията**. Тези методи са използвани на редица хидротехнически, минни и промишлени обекти, сгради и транспортни съоръжения за решаване на следните задачи:

1. Сnižаване на противоналягането при изграждане на язовирни стени.
2. Намалвяване на загубите на вода.
3. Предпазване от суфозия, размиване и карстообразуване.
4. Подобряване на якостните и деформационните свойства на скалите и почвите.

Предимствата на **циментацията** са в сравнително простата технология, високата надеждност и ниската цена. Методът се състои в нагнетяване на циментов разтвор при налягане от 0,3 до 7 МРа през предварително прокарани сондажи. Циментовият разтвор запълва празнините и пукнатините в масива, започва да се втвърдява вследствие на хидратацията на цимента, при което намалява пропускливостта и се увеличава якостта на инжектирания участък. Сферата на приложимост на циментацията зависи от:

- Размера на пукнатините и порите.
- Скоростта на придвижване на подземните води.
- Химическия състав на подземните води.

Установено е, че циментацията на скалите е възможна при ширина на пукнатините по-голяма от 0,1 mm. При по-малък размер циментовите частици не могат да проникнат навътре в масива дори и при големи налягания. За разширяване на сферата на приложимост на циментацията са прилагани различни начини за намаляване размера на циментовите частици като: допълнително смилане на цимента, диспергиране на частиците с повърхностно активни вещества (ПАВ) и ултразвук, добавяне към цимента на материал с по-дребни частици (например, глина) и използване на някои видове цименти съдържащи добавки от водно стъкло, полимерни смоли и др. Допустимата скорост на филтрационния поток при

провеждане на циментация на напукани скали се приема да е такава, че да не става изнасяне на разтвора извън обсега на обработвания масив. Изчисленията и практическият опит показват, че допустимата скорост на движение на подземните води не трябва да надхвърля 200 m/24h. Химическият състав на подземните води в зависимост от степента и характера на минерализация, градиента на филтрация и температурата на водата може да предизвика разрушаване на циментовия камък. Най-неблагоприятно въздействие има сулфатната агресия, която се причинява от съдържащия се във водите натриев сулфат  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  над определени концентрации.

Основните технологични операции при циментацията са следните:

- a) Прокарване на инжекционни сондажи и проверка на зададената им посока (дали не са претърпели някакво изкривяване).
- b) Промиване на сондажите и пукнатините с вода и извършване на филтрационни опити за определяне на водопропускливостта на скалите. Продължителността и начинът на промиване зависят от характера на запълващия материал. При значително запълване на пукнатините е необходима продължителна промивка в течение на няколко часа. Съвместното действие на вода и въздух значително увеличава ефекта от промиването. При наличие на глинест запълнител се използва промивка с 5% разтвор на натриева основа и следващо промиване с вода.
- c) Приготвяне на циментовия разтвор и неговото транспортиране до сондажа. Разтворът се разбърква във високоскоростни смесители при скорост 1500-3000 оборота в минута и време на смесване 15-19 s.
- d) Инжектирането на циментовия разтвор започва с неголеми концентрации (до 5%), при ниско налягане и завършва със сгъстени разтвори при максимално налягане. Пределно гъстият разтвор има водо-циментно отношение 0,4. Приема се, че циментацията може да се прекрати или при пълното спиране на поглъщане на разтвор, или когато намаленото поглъщане на разтвор достигне стойности по-малки от 0,01 l/min на един



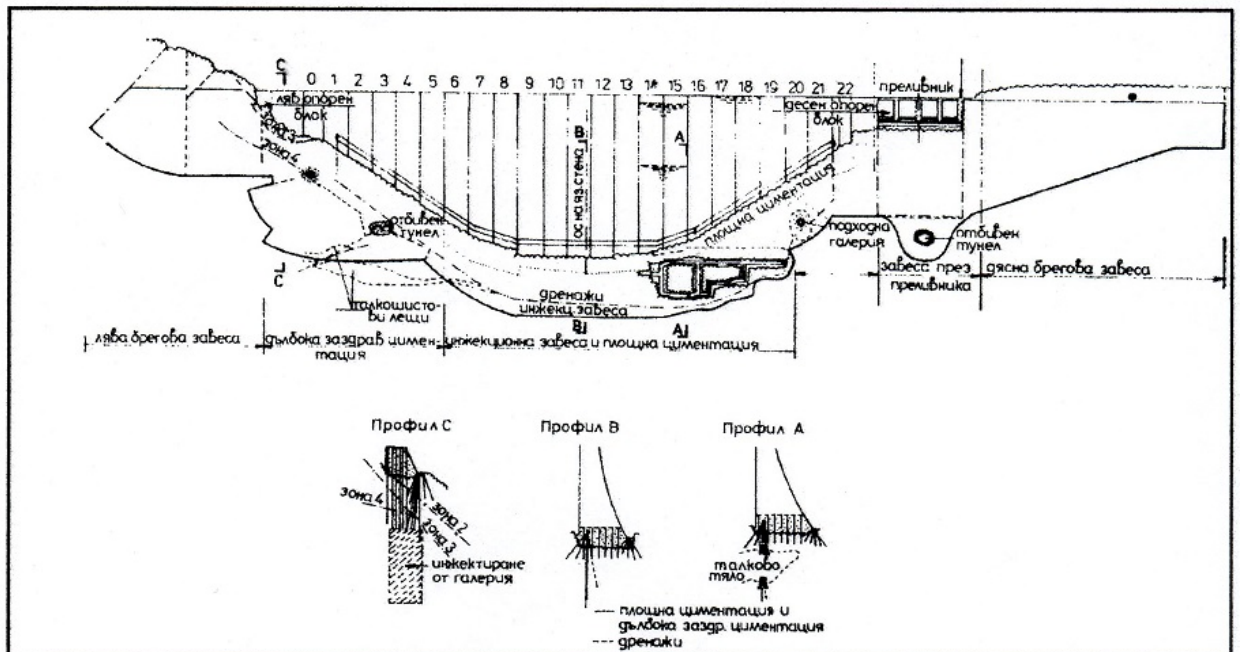
линеен метър от циментираната зона, при максимално налягане. Налягането, при което се нагнетява циментовата суспензия е обикновено от 0,2-0,3 МПа до 1,0-1,5 МПа и само при по-здрави скали достига до 7-12 МПа.

- е) След определен срок на втвърдяване се прокарват контролни сондажи, в които се провеждат филтрационни опити за установяване на водопропускливостта на масива след проведената циментация.

Циментация може да се изпълни само в отделни зони или по цялата дълбочина на инжекционния сондаж. Зоните трябва да се оконтурят много точно, като се отбележат границите на водоносните хоризонти и водоупорните пластове. Препоръчваната височина на инжектирания интервал е 4-5 m. Само при слабо напукани скали и при равномерно разпределение на пукнатините се допуска увеличаване на височината на този интервал до 10-12 m. При силно изветрели скали интервалът на инжектиране е 2-3 m. При наличие на големи пукнатини и каверни в масива се използват бързо втвърдяващи се цименти с по-висока марка, а разтворите в този случай са максимално гъсти, като към тях се добавя и пясък в количество не повече от 50%. За слабо напукани скали, с неголеми размери на пукнатините се използват бавно втвърдяващи се цименти или пластифицирани цименти. Установено е, че след циментация модулът на деформация на скалите се увеличава от 1,5 до 3 пъти. Това увеличение е най-значимо при скали с открити пукнатини, докато при тези с пукнатини запълнени с един или друг вид запълнител увеличението на модула на деформация на масива не е така съществено.

При различни хидротехнически съоръжения у нас са изпълнени разнообразни по вид, задачи и обем циментационни работи. Под язовирните стени са изградени противофилтрационни завеси и е извършвана площна циментация, осъществено е инжектиране в основата на отбивните, водоземните и преливните съоръжения (Фиг. 71). При някои бетонови стени, като например язовир „Въча” (бивш „Антонивановци”), са инжектирани фугите между блоковете на стената, а на язовир „Голям Бегик” (бивш „Васил Коларов”) - самата каменна

зидария. Значителен обем инжекционно циментиране е реализирано при изграждане на напорните деривационни тунели на Баташкия водносилосов път и по деривация "Искър". В минното строителство у нас също има над 100 случая на успешно изпълнени циментови инжекции.



Фигура 71. Инжекционни циментационни работи на язовир „Кърджали“ (по Евстатиев и Ангелова)

**Глинизацията** се изпълнява в случаите, когато се изисква само тампониране на по-големите празнини и каверни в скалния масив. Тя се прилага, когато циментацията става неикономична поради голямото поглъщане и възможните загуби на цимент. До глинизация се прибегва и при наличие на агресивни към цимента води и при голямо количество глинест запълнител в пукнатините, който трудно се поддава на промиване. Този метод дава най-добри резултати при тампониране на безводни, напукани и окарстени скали, характеризиращи се с относително водопоглъщане  $q$  от 0,1 до 100 l/min. Предимство на глинизацията е ниската ѝ цена. Недостатъци на метода са: понижената устойчивост на глинената завеса срещу суфозионно изнасяне и високите налягания (не по-малко от 1,5-2 МРа), при които трябва да се провежда нагнетяването. Използват се глинести суспензии с плътност 1,1-1,5 g/cm<sup>3</sup>. За ускоряване на водоотделянето от разтвора се прибавят добавки на коагулатори (MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub> и др.) и се увеличава налягането на инжектиране.

Концентрацията на глинестите разтвори се подбира в зависимост от характера и размера на пукнатините и каверните. При наличие на големи пукнатини и празнини в силно напукани и окарстени масиви се прилагат високо концентрирани глинести разтвори с плътност 1,4-1,5 g/cm<sup>3</sup>. Регулирането на състава и свойствата на глинестите разтвори се осъществява чрез внасяне на различни химични добавки, а също и пясък. Най-добър изходен материал за глинестата суспензия са песъчливите глини и полиминералните глини. По способността си да образуват устойчиви глинести суспензии глинестите минерали се нареждат в следния ред: палигорскит – монтморилонит – хидрослюда - каолинит. За глинизация е най-ефективно да се използват каолиново-хидрослюдести глини, т.к. при тях най-лесно се постига водоотделянето на глинестата суспензия.

Използването на водно стъкло за заздравяване на напукани скали понастоящем е един от често прилаганите методи за уплътняване и заздравяване, известен като **силикатизация**. Гелообразуващите разтвори на основата на водно стъкло могат да бъдат тампонажни, с които се постига само уплътняване и свързващи, които не само уплътняват, но и заздравяват скалния масив. При т.нар. **двуразтворна силикатизация**, в скалата се нагнетяват две химически вещества, от чиято реакция се получават неразтворими съединения, запълващи пукнатините и празнините. Единият разтвор е на база на водно стъкло (натриев силикат Na<sub>2</sub>O.nSiO<sub>2</sub>), а другият е разтвор на соли на дву- или тривалентни метали, като най-икономичен и достъпен е калциевият двухлорид CaCl<sub>2</sub>. Основната реакция на взаимодействие между водното стъкло и калциевия хлорид се извършва по уравнението:



Технологията на двуразтворната силикатизация включва последователно нагнетяване на воден разтвор на водно стъкло с плътност 1,35-1,44 g/cm<sup>3</sup> и на калциев хлорид с плътност 1,26-1,36 g/cm<sup>3</sup> през система от забити в почвата инжектори. Върху якостта на заздравения масив оказват влияние състава и свойствата на заздравяваната разновидност и състава на разтвора. Двуразтворната силикатизация е

приложима при скали и почви с коефициент на филтрация  $K_f$  от 5 до 80 m/24 h. Основните недостатъци на този метод са:

- Нееднородността на заздравения масив и неголемия радиус на заздравяване, който се постига при разновидности с малък коефициент на филтрация.
- Известна сложност в технологичната му схема.
- Неприложимост на метода при дребнозърнести и прахови пясъци и глинести пясъци.

Недостатъците и ограниченията на двуразтворната силикатизация до голяма степен са преодоленни при **едноразтворната силикатизация**. Този метод се състои в нагнетяване на разтвор на водно стъкло и химически реагенти, предизвикващи след определен период от време втвърдяване на водното стъкло под формата на устойчив гел на силициевата киселина. Втвърдителите са различни неорганични и органични киселини и соли, като най-често използвани са: силикофлуороводородна киселина  $H_2SiF_6$ , натриев бикарбонат  $NaHCO_3$ , алуминиев сулфат  $Al_2(SO_4)_3$ , натриев алуминат  $NaAlO_2$ , фосфорна киселина  $H_3PO_4$ , оксалова киселина  $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$ , акрилова киселина, формаמיד и др. Едноразтворната силикатизация се осъществява чрез забити вертикално или наклонено инжектори, или чрез прокаране на инжекционни сондажи. Основните технологични операции включват:

- а) Подготвителни и спомагателни дейности; приготвяне на разтворите.
- б) Забиване на инжекторите или прокаране и оборудване на инжекционни сондажи.
- в) Нагнетяване на разтвор и втвърдител в почвата или скалата.
- г) Извличане на инжекторите и ликвидиране на инжекционните сондажи.
- е) Контролни дейности за качеството на заздравяване.

Използваното водно стъкло трябва да е с плътност от 1,2 до 1,45 g/cm<sup>3</sup> при заздравяване на пясъчливи почви, а при пропадъчни льосови почви - от 1,1 до 1,2 g/cm<sup>3</sup>. Модулът на водното стъкло  $M_c$ , който представлява отношението между грам молекулите силициев диоксид и грам молекулите

натриев оксид ( $M_C = \%SiO_2 / \%Na_2O \cdot 1,0323$ ) трябва да е между 2,7 и 3,0. Заздравените чрез едноразтворна силикатизация пясъци се превръщат във водоустойчива и водонепропусклива среда, а якостта на едноосен натиск достига стойности от 0,2 до 5 МПа, в зависимост от вида на втвърдителя. Разтворите, от които се получава продукт с ниска якост се използват главно за създаване на уплътнителни противофилтрационни завеси. Силикатизацията на пропадъчен лъос се осъществява, като в почвата се нагнетява разтвор на водно стъкло под налягане 0,2-0,3 МПа, а ролята на втвърдител играе самият лъос. В резултат на взаимодействието между силикатния разтвор и водоразтворимите соли и калциевите йони от поглъщащия комплекс на лъоса се образува неразтворима твърда фаза. Това придава на почвата водоустойчивост и непропадъчност. Очакваният ефект от силикатизация на лъоса се определя от стойностите на сорбционния му капацитет, а водоразтворими соли като гипс и карбонати спомагат за заздравяването, но не играят главна роля в реакцията с водното стъкло. При малък сорбционен капацитет значителна част от инжектираното водно стъкло остава непрореагирала.

Друга разновидност на силикатизацията е **газовата силикатизация**, която се прилага за заздравяване на пясъчливи и лъосови почви. Първоначално в почвата се инжектира разтвор на водно стъкло с плътност 1,1-1,3 g/cm<sup>3</sup>, след което под налягане 0,4-0,5 МПа се нагнетява въглероден диоксид CO<sub>2</sub> в продължение на 2-5 минути. Газовата силикатизация е ефективна при заздравяване на пясъчливи почви с коефициент на филтрация K<sub>f</sub> от 0,2 до 20 m/24 h. Якостта на едноосен натиск на заздравени пясъци е от 0,5 до 2,6 МПа. Прилагането на CO<sub>2</sub> като втвърдител позволява да се постигне по-голям обем на заздравяваната зона в сравнение с едноразтворната силикатизация. Газовата силикатизация дава много добър резултат при заздравяване на лъосови почви с нисък сорбционен капацитет в алкална среда - по-малък от 10 mgеqu/100 g (т.нар. слабо активни лъосове), висока степен на водонасищане S<sub>r</sub> > 0,7 и високо съдържание на карбонати (до 40%). В този случай първоначално се нагнетява въглероден диоксид за предварителна активация на почвата, след което се инжектира силикатен разтвор и след него - отново газ за втвърдяване на разтвора. Заздравяването се

провежда с разтвор на водно стъкло с плътност 1,05-1,15 g/cm<sup>3</sup>, а въглеродният диоксид се нагнетява при налягане до 0,15 МРа. При газовата силикатизация се достига значително по-висока якост на заздравявания масив. В сравнение с едноразтворната силикатизация, якостта е от 5 до 8 пъти по-висока при еднаква плътност и разход на силикатния разтвор.

Друг метод за инжекционно заздравяване е т.нар. **смолизация**. Тя се прилага по-рядко, при песъчливи разновидности с коефициент на филтрация  $K_f$  от 0,3 до 50 m/24 h. Методът се състои в инжектиране на разтвори или водни емулсии на органични полимери (смоли). Синтетичните смоли като основа на инжекционни разтвори трябва да отговарят на следните условия:

- Да имат достатъчно сцепление с минералните частици на почвата.
- Да притежават високо вътрешномолекулно сцепление.
- Да полимеризират в естествени условия при нормални температура и налягане, и при повишена влажност.
- Да свързват значително количество вода при полимеризацията.
- Да са водонепропускливи, еластични, устойчиви на корозия и микроорганизми и да не са токсични.

От използваните в практиката синтетични смоли (епоксидни, полиестерни, фенолни, карбамидни, акриламидни и полиуретанови) най-подходящи от икономически съображения са карбамид формалдехидната и фенол формалдехидната водоразтворими смоли. Те полимеризират в естествени условия при наличие на втвърдител киселина или кисела сол, като най-често се използват солна киселина и оксалова киселина. Активната реакция на поликондензация може да протича само в кисела среда при рН от 1 до 3. Използването на киселини за втвърдяване на смолите е един от големите недостатъци на този метод, т.к. е възможно замърсяване на околната среда, корозия на метални части от оборудването, а също и авария при неспазване на правилата за техническа безопасност. Времето за желиране на смолите се регулира с количеството втвърдител и зависи от концентрацията на разтвора, от

температурата и рН на средата. При по-ниски положителни температури желирането значително се забавя. Този ефект е подчертан при фенол формалдехидната смола. В случаите, когато се налага инжектиране на фенолни смеси при ниски температури се прибегва до неколккратно увеличаване на количеството на втвърдителя или до изкуствено загряване на почвата. Това допълнително усложнява и оскъпява метода. Химическият и минералният състав на почвата имат съществено значение за приложимостта на смолизацията. Пясъци, които съдържат глинести частици и органическо вещество не се заздравяват добре с карбамидни смоли. Наличието на карбонати до 3% в пясъци налага предварителната им обработка с 3-5% разтвор на солна киселина, за да се постигне необходимата за втвърдяване кисела среда. При съдържание на карбонати повече от 3% предварително се нагнетява 4% разтвор на оксалова киселина и след това се инжектира карбамидния разтвор. Контролните изпитвания за качеството на заздравяване при смолизацията се извършват не по-рано от две денонощия след завършване на инжектирането. Посочените ограничения и недостатъци на смолизацията я правят твърде рядко използван метод, обикновено само в аварийни случаи и при невъзможност да се приложи някой от останалите методи за инжектиране.

**Битумизацията** се прилага за уплътняване и заздравяване на напукани скали и едрозърнести несвързани почви, като чакъли и едри пясъци. Използват се два технологични варианта: гореща и студена битумизация. **Горещата битумизация** се използва за заздравяване на чакълести почви, с коефициент на филтрация  $K_f$  по-голям от 60 m/24 h и на напукани и окарстени скали, с наличие на агресивни и неагресивни подземни води и ширина на пукнатините по-голяма от 1 mm. Относителното водопоглъщане на скалите  $q$ , заздравявани чрез гореща битумизация, може да е от 0,5 до 100 l/min. При инжектиране на силно напукани и окарстени скали към битума се прибавят пълнители: шлака, торф, парафин и др. Приблизителният разход на битум за един линеен метър от сондажа е 150-600 kg, а количеството на пълнителя е 20-25% от масата на битума. Разстоянието между сондажите се определя от ширината на пукнатините, като при ширина по-голяма от 2 cm,

разстоянието между сондажите е 3-3,5 m, а при ширина на пукнатините 1,0-1,5 mm - това разстояние е 0,8-1,0 m. В процеса на инжектиране налягането се изменя от 0,5 до 2 МРа. След втвърдяване битумът намалява обема си с 8-10%, поради което инжектирането се провежда на няколко етапа. Предимствата на горещата битумизация са:

- Методът може да се прилага при значителни скорости на водния поток, когато използването на цименто-глинести разтвори е практически невъзможно.
- Методът е приложим в случаите, когато съществува опасност от механично или химично изнасяне на цимента извън зоната на инжектиране.
- Методът е особено ефективен за заздравяване на карбонатни скали.

Недостатъци на горещата битумизация са:

- Методът е неприложим при скали и почви с коефициент на филтрация  $K_f$  по-малък от 60 m/24 h.
- Известна технологична сложност на метода, свързана с използване на горещ битум и необходимостта от неговото подгряване в процеса на работа.
- Способността на втвърдения се битум да се деформира пластично и да пълзи под действие на хидростатичен натиск.

**Студената битумизация**, при която се нагнетява битумна емулсия е метод, който се прилага за тампониране и уплътняване на пясъчливи разновидности с коефициент на филтрация  $K_f = 50-100$  m/24h. Зърнометричният състав на почвата е основен фактор, обуславящ проникването на битумната емулсия. При по-едрозърнестите пясъци се увеличава концентрацията на емулсията. Радиусът на разпространение на битумната емулсия при дребнозърнести пясъци е 0,5-1,0 m, а при едрозърнести - 1,5-2,0 m. Други фактори, които оказват влияние върху проникващата способност на емулсията са: концентрацията и вискозитетът, както и степента на водонасищане на почвата  $S_r$ . Равномерно разпределяне на битумната емулсия в почвата се наблюдава само при пълно водонасищане. Студената битумизация се използва за борба с



филтрацията при различни хидротехнически съоръжения. Предимство на метода е, че той е приложим при агресивни води и почви, а неговият недостатък е сложното приготвяне на битумната емулсия, особено достигане на добро хомогенизиране и диспергиране, което до голяма степен обуславя качествено изпълнение на студената битумизация.

#### 6.4. Заздравяване на строителните почви чрез прилагане на физични полета – електрохимично заздравяване, термично заздравяване и замразяване

Методите от тази група се прилагат сравнително рядко, само при сложни инженерногеоложки и хидрогеоложки условия, в случаите когато използването на други методи е невъзможно. Това е така, т.к. тези методи се извършват по твърде сложни и скъпоструващи технологии, изискващи строго спазване на правилата за безопасност.

**Електрохимичното заздравяване** се прилага при слаби водонаситени глинести разновидности, които се характеризират със слабо водоотдаване и водопропускливост и голяма водозадържаща способност. При него се постига необратимо изменение на свойствата на глините чрез прилагане на постоянно електрично поле и подаване на електролитен разтвор. В зависимост от водопропускливостта на глинестите почви се прилагат три разновидности на електрохимичното заздравяване:

- Електроосмотична обработка без подаване на електролитен разтвор.
- Електролитна обработка с подаване на електролитен разтвор.
- Електросиликатизация с нагнетяване на водно стъкло и втвърдител.

**Електроосмотичната обработка** се използва за заздравяване на високодисперсни глинени със съдържание на глинести частици повече от 50% и с коефициент на филтрация  $K_f < 0,005 \text{ m/24 h}$ . Методът се състои в продължително въздействие на постоянно електрическо поле, при което глините необратимо изменят свойствата си вследствие на уплътняване и електрохимични реакции. Интензивността на процесите на електролиза и

преобразуване на веществата в областите на катода и анода е право пропорционална на пропуснатия за дадено време ток. Колкото по-дисперсна е била глината преди електроосмотичната ѝ обработка, толкова тя става по-агрегирана след това. След приключване на процеса на електрообработка, вследствие на различното развитие на електролитните процеси в анодната и катодната област се отделят следните три зони:

1. *Анодна*. Тя е най-осушена и заздравена, с кисела реакция на средата, обменния комплекс на глината съдържа главно катионите на  $H^+$ ,  $Fe^{3+}$  и  $Al^{3+}$ , а в порите са отложени неразтворими соли и железен хидроксид.
2. *Катодна*. Тази зона е най-оводнена и слаба, средата има алкална реакция, а в обменния комплекс на глината преобладават едновалентните йони. Порите са запълнени с карбонати и хидроксида на двувалентни алкалоземни метали.
3. *Междинна незаздравена зона*, в която свойствата на почвата се доближават до изходното си състояние, но и в нея се наблюдават известни изменения вследствие на придвижване на течността от анода към катода.

Разстоянието между електродите обикновено е 0,5-2 m, а ширината на анодната и катодната зони е 20-40 cm.

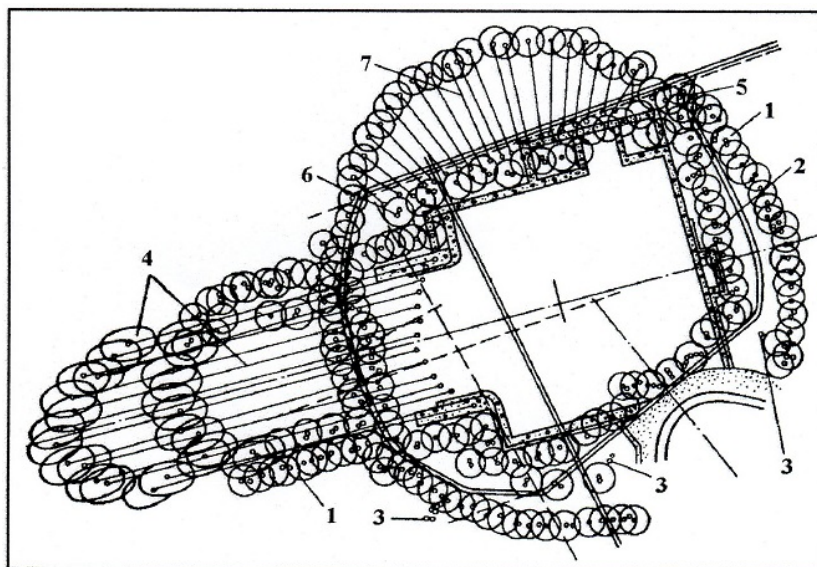
Глинестите разновидности с коефициент на филтрация  $K_f$  от 0,005 до 0,01 m/24 h най-ефективно се заздравяват чрез *електролитна обработка*. Този начин се състои в съвместно действие на електроосмотичните и електрохимичните процеси, протичащи вследствие на пропускане на постоянен електричен ток през почвата и нагнетяване на електролитни разтвори (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, AlCl<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub> и др.) през анода. Доказано, че най-ефективен е електролитният разтвор на калциевия хлорид CaCl<sub>2</sub>, който спомага за увеличаване на съдържанието на калциев и железен хидроксид, а също и за насищане на обменния комплекс на глината с калциев  $Ca^{2+}$  и железни  $Fe^{3+}$  йони. Калциевият и железният хидроксид са циментиращи съединения, които заздравяват почвата. Освен това реагирайки с въглеродния диоксид от въздуха, калциевия хидроксид се превръща в калциев карбонат, който има допълнителен укрепващ

ефект. В резултат на електролитната обработка се намалява способността на глините да набъбват и се увеличава сцеплението и ъгъла на вътрешно триене. Количеството на внасяния в почвата калциев хлорид зависи от минералния състав, от сорбционния капацитет и от водното съдържание на глината, а също от концентрацията на поровия разтвор. При глини с по-голям сорбционен капацитет се изразходва по-концентриран разтвор на калциев хлорид. Използваните в практиката концентрации на вкарвания през анода разтвор на калциев хлорид са от 4% до 20%. При морските тини, които съдържат значително количество водоразтворими соли, добавянето на електролити може да се окаже нецелесъобразно. Препоръчва се да се изразходват 40-50 kWh електроенергия за 1 m<sup>3</sup> от обработваната почва, за да се осигури необходимото заздравяване. Времето за електролитна обработка зависи от вида на почвата, от заздравявания обем и от зададените свойства, които трябва да се достигнат. В практиката са известни случаи на електролитна обработка в течение на половин ден, а също и за период от четири месеца и повече. Максималната якост, която се постига при този начин на заздравяване на глините е 0,6-0,8 МПа. Основни недостатъци на метода са: високата му цена и малкият радиус на заздравяване, който се постига.

За заздравяване на дисперсни почви с коефициент на филтрация  $K_f$  от 0,01 до 0,1 m/24h твърде успешно може да се използва *електросиликатизацията*. При този метод в почвата чрез инжектори-електроди се нагнетява под налягане водно стъкло и втвърдител, който обикновено е калциев хлорид. Едновременно с това се прилага и поле на постоянен електрически ток. Както и при силикатизацията, има две технологични разновидности на метода: *едноразтворна електросиликатизация*, при която през анода се вкарва само водно стъкло или едновременно водно стъкло и втвърдител и *двуразтворна електросиликатизация*, при която през разнополусните електроди се подават разтвори на водно стъкло и калциев хлорид. Методът е особено ефективен при втечняващи се пясъци и при льосови почви. За заздравяване на почви с по-малка пропускливост, като пясъчливите глини например, водното стъкло се нагнетява през катода, а калциевия хлорид - през анода. При почви с по-голяма пропускливост от типа на глинестите пясъци, нагнетяването на разтвори

става по противоположната схема: водното стъкло - през анода, а калциевия хлорид - през катода. Ефектът от заздравяването зависи от минералния състав и дисперсността на почвата, а също от степента на минерализация на водата в порите. Например, разходът на електроенергия е по-голям при глинни, в чийто състав преобладава монтморилонита. Освен това, колкото по-дисперсна е почвата, толкова по-голяма трябва да е концентрацията на електролита-втвърдител. Най-добре се заздравява почвата в анодната и междинната зони, където якостта достига до 0,6 МПа при едноразтворна електросиликатизация и до 0,8 МПа - при двуразтворна. Изразходваната електроенергия е 10-20 kWh за 1 m<sup>3</sup> почва, а времето за заздравяване е от 4 до 48 часа. Качественото изпълнение на електросиликатизацията до голяма степен зависи от схемата на разполагане на инжекторите-електроди.

**Замразяването** е метод за временно изменение и подобряване свойствата на строителните почви, главно по време на самото строителство. Това е метод за борба с водопитока в минни изработки, тунели и строителни изкопи и за временно заздравяване на втечняващи се пясъци и други неустойчиви почви (Фиг. 72).



Фигура 72. Схема на разполагане на замразяващи сондажи за укрепване на втечняващи се пясъци при изграждане на част от Московското метро (по Воронкевич С. Д.)

1 – първи ред вертикални сондажи; 2 – втори ред вертикални сондажи; 3 – контролни сондажи; 4 – наклонени сондажи за тунела на ескалатора; 5 – ъглови сондажи; 6 – сондажи, разположени в сегментите; 7 – наклонени сондажи под релсовия път

Замразяването е приложимо практически при всички видове водонаситени почви и скали до дълбочина няколко стотици метра, докато при останалите методи за заздравяване тази дълбочина е ограничена. Методът се състои в създаване на водонепропусклива завеса от замразена почва около проектираната изработка. Тази завеса притежава достатъчна якост, за да служи и като подпорна стена, издържаща натиска на скалите намиращи се извън замразявания участък. Якостта на такава стена зависи от нейната дебелина и от температурата на замразената почва. Замразената зона трябва да навлиза с около 2-3 m във водонепропусклив пласт, като по този начин се възпрепятства проникване на подземни води както от стените, така и от дъното на подземната изработка. При отсъствие на водоупорен пласт, или при залягането му на голяма дълбочина от замразявания участък, дъното на бъдещата изработка също трябва да се замрази. Методът се осъществява като по контура на проектираната изработка се прокарат сондажи до необходимата дълбочина, разстоянието между които е 1-2 m. В сондажите се спускат замразяващите тръби, които са със затворено дъно. В тях се поставят тръби с по-малък диаметър, по които се подава охлаждащия солен разтвор (разсол). Техният долен край е отворен и е на около 0,5 m по-високо от дъното на замразяващите тръби. Размерът на тръбите зависи от количеството на охлаждащия разтвор, пропускано за единица време. Подаваният под налягане разсол циркулира през тръбите и охлажда намиращата се около сондажа почва. За охлаждащи разтвори се използват концентрирани солени разтвори, съдържащи  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$  или  $\text{MgCl}_2$ , които се характеризират с ниска температура на замръзване. Приготвените разсоли се охлаждат в специални компресорни хладилни инсталации, използващи изпаряването на течен амоняк, течен азот, фреон и др. Разсолите се охлаждат до температура  $t = -20^{\circ}\div-25^{\circ}$  C. Концентрираният разтвор на калциев хлорид замръзва при температура  $t=-50^{\circ}\div-55^{\circ}$  C. След като соленият разтвор се охлади до необходимата температура, той се пропуска през разсолопроводната система до всеки сондаж и там се нагнетява в замразяващите тръби. Циркулирайки по цялата височина на замразяваната зона, между разсола и почвата става

топлообмен, вследствие на което температурата на разтвора се повишава. След това той отново се връща по обратния път до хладилната инсталация, където отново се охлажда и цикълът се повтаря. След определен период от време, около всеки сондаж се оформя цилиндър от замразена почва. Установено е, че за едно денонощие ширината на замразената зона нараства с около 2,5 cm при песъчливите разновидности и с около 1-1,5 cm - при глинестите. С нарастване на замразената зона цилиндрите се сливат и образуват монолитна стена от замразена почва. Основните фактори влияещи върху скоростта на замразяване на почвите са: зърнометричния състав, степента на водонасищане и отношението между свободната и свързаната вода. По способността си към замръзване почвите се подреждат в следния ред: чакъли, пясъци, песъчливи глини и глини. Най-трудно се заздравяват глините, при които голяма част от водата е свързана. Якостта, която се достига е значителна и се изменя от 0,9-1,0 МПа при глинестите разновидности до 13 МПа - при песъчливите. След приключване на минно-строителните дейности в подземната изработка, замразената почва постепенно се размразява по естествен път. Само в отделни случаи (при дълбоки минни изработки), когато съществува опасност за неравномерно размръзване и създаване на повишен неравномерен натиск върху крепежа, се провежда изкуствено размразяване чрез нагнетяване на загрят разсол в замразяващите тръби. Инженерногеоложката характеристика на замразявания участък трябва да съдържа данни за: литоложкия и зърнометричния състав на разновидностите, условията на залягане, дебелината, водното съдържание, плътностните и топлинните характеристики на почвите, общата засоленост и състава на солите във водата и почвите, дълбочината на залягане на подземните води, скоростта им на движение и химичния състав. Замразяването има някои недостатъци, като :

- Процесът на замразяване се осъществява за сравнително дълъг период от време, от порядъка на 1-3 месеца.
- Работи се със сложно и обемисто оборудване, за чийто монтаж също е необходимо време.

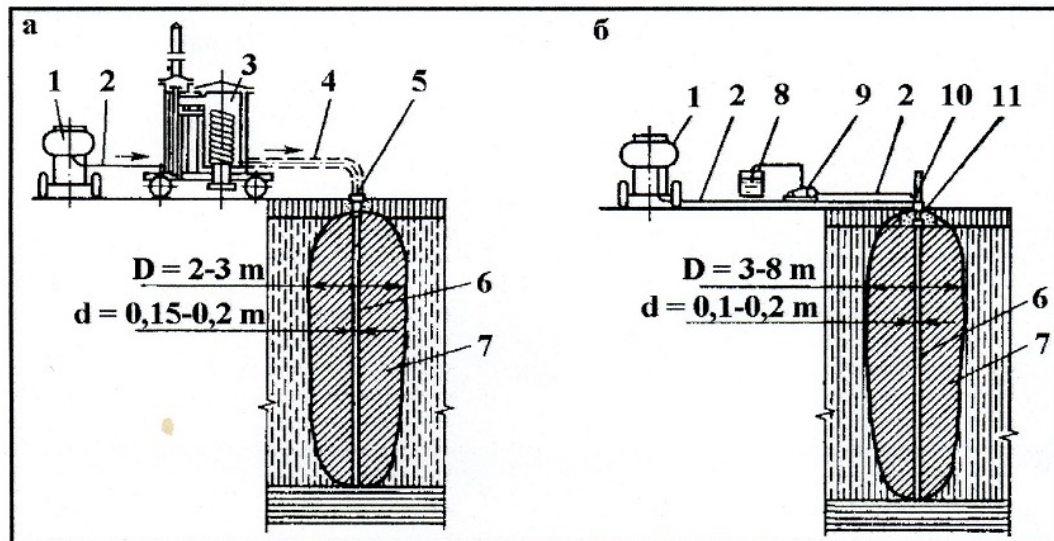
- Използват се опасни за здравето вещества и високи налягания, за което се изисква прецизна работа и много точно спазване на правилата за техническа безопасност.
- Сравнително високата цена.
- Възможна е поява на подувания и деформации в процеса на размразяване.
- Временния характер на заздравяването.

Някои от тези недостатъци може да се избегнат при прилагания напоследък по-съвременен и по-опростен технологичен вариант на замразяването, при който вместо разсол се нагнетява течен азот, амоняк и др. Замразяващият ефект на тези вещества е много по-голям. Те циркулират през замразяващата тръба и се изпаряват, вследствие на което се формира цилиндър от замразена почва. Температурата на изпарение на течния азот например е  $t = -195,8^{\circ} \text{C}$ . При такива ниски температури образуването на замразената зона става за около 10 пъти по-кратко време, постига се много по-ниска температура на замразената почва, а също се работи с по-просто оборудване, без обемисти хладилни инсталации.

При **термичното заздравяване** се използва въздействието на положително температурно поле върху структурата и свойствата на почвата. Понастоящем този метод се прилага главно за унищожаване на пропадъчността на лъсови почви (Фиг. 73). Правени са опити и за термично заздравяване на втечняващи се пясъци.

Заздравяващият ефект се обуславя от протичането на многообразни и сложни физически, физико-химически и химически процеси, като основните от тях са: дехидратация на частиците и тяхното агрегиране; преобразуване на структурата; дисоциация на карбонатите, частично разрушаване на алумосиликатите и образуване на аморфен  $\text{SiO}_2$ ; формиране на нови вещества от типа на калциеви силикати и алумосиликати, притежаващи хидравлическа свързваща способност; разтопяване и кристализация. В зависимост от температурата на изпичане преобладават едни или други процеси. Термичното заздравяване е целесъобразно да се прилага при почви с висока газопропускливост. Към

тях се отнасят лъсовите почви, които се характеризират със сравнително ниско естествено водно съдържание, макропорестост и висока обща порестост, което обуславя и тяхната висока газопропускливост.



Фигура 73. Схема на дълбочинно термично заздравяване на пропадъчни лъсови почви (по Воронкевич С. Д.)

а – първи вариант, чрез нагнетяване в почвата на предварително загрят на повърхността въздух; б – втори вариант, чрез изгаряне на гориво в сондаж, затворен в горната си част; 1 – компресор; 2 – тръбопровод за студен въздух; 3 – агрегат за загряване на въздуха; 4 – термоизолиран тръбопровод от топлоустойчива стомана; 5 – капак; 6 – сондаж; 7 – термично заздравена зона; 8 – контейнер за течно или газообразно гориво; 9 – помпа за подаване на топъл въздух под налягане в сондажа; 10 – дюза; 11 – херметически затварящ се капак в горната част на сондажа

Приложението на метода е технически и икономически оправдано в следните случаи :

- За заздравяване на земна основа на големи новостроящи се съоръжения в пропадъчен лъос (високи комини, тежки резервоари, водонапорни кули, многоетажни сгради и др.).
- За преустановяване на деформациите на вече пропаднали сгради и съоръжения.

Понастоящем се прилагат два основни варианта на термично заздравяване. Първият се състои в нагнетяване в предварително прокарани сондажи на горещ въздух, нагрят до температура  $t = +600^{\circ} \div +900^{\circ} \text{C}$  в специални стационарни или преносими нагревателни



агрегати на повърхността. Загряването на почвата става чрез проникване на топлия въздух в порите ѝ и протичане на топлообмен. За подобряване на условията за проникване на нагретия въздух, в сондажа постоянно се поддържа допълнително налягане от 0,1-0,2 МРа чрез нагнетяване на сгъстен въздух. Това повишава ефективността на метода. За да се поддържа това налягане обаче, е необходимо да се гарантира пълната херметизация на затварящия горната част на сондажа капак. При този вариант на термичното заздравяване се постига радиус на заздравяване около 1-1,5 m. Дълбочината на обработване е до 10-15 m. Вторият вариант се осъществява чрез изгаряне на газообразно, течно или прахообразно твърдо гориво в самия сондаж. Прокарват се сондажи, които преминават през цялата мощност на пропадъчната зона. В тях горивото се впръсква през специални дюзи и едновременно с това се подава сгъстен въздух. Освен въздуха необходим за поддържане на процеса на горене, в сондажа се подава и допълнително количество студен въздух за регулиране на температурата на продуктите на горене. Нагряването на масива около сондажа се извършва както чрез непосредствено топлопредаване, така и чрез конвекция на горещите газове в порите и пукнатините на почвата. Максималната температура на газовете в сондажа е от 1200<sup>0</sup> С до 1400<sup>0</sup> С. Посредством един сондаж с диаметър 10-20 cm за около 5-10 дни може да се постигне термично заздравяване на лъсоча почва в диаметър 2-3 m и на дълбочина 10-15 m. Почвата в тази зона е загубила напълно пропадъчността си, не се размеква, а якостта ѝ се е увеличила 2-3 пъти. Установено е, че при нагряване на лъоса до 300<sup>0</sup>-600<sup>0</sup> С стойностите на относителното пропадане са близки до нула, което означава, че пропадъчните свойства са напълно ликвидирани. За увеличаване на ефекта от термичното заздравяване в продуктите на горене или в нагряваната почва се внасят различни химични добавки. За изграждане на стени и блокове от термично заздравена почва сондажите се разполагат близо един до друг, така че радиусите им на заздравяване да се застъпват. Обикновено радиусът на заздравената зона варира от 0,75 m до 3 m. Правени са единични опити за заздравяване на плаващи пясъци чрез нагряването им посредством електрически ток, като е постигнат положителен ефект.

## 6.5. Някои приложения на методите за подобряване на земната среда за екологични цели

В последните години използването на различни методи и технологии за подобряване на земната среда постоянно се разраства. В чуждестранната литература се разглеждат все повече случаи на прилагане на традиционните способности за подобряване, както и на някои специално разработени модификации за ограничаване вредното въздействие на отпадъците върху околната среда, при обезвреждането на площадки за съхраняване на опасни материали и при изграждане на санитарен тип сметища.

Методът за **уплътняване на строителните почви** напоследък намира широко приложение при съхраняването на отпадъци и за ограничаване на вредното им въздействие върху околната среда. Извършва се с цел да се намали обемът на твърдите битови отпадъци, при изграждане на екрани и покрития от глина, както и за уплътняване на ежедневно полаганото почвено покритие върху отпадъците в сметищата. **Уплътняването с валяци** на битови отпадъци води не само до нарастване на плътността и якостта им, но и до увеличаване на количеството съхраняван материал, като в резултат на това се удължава срокът на експлоатация на сметището. Конструирана е и подходяща техника от фирмата „Caterpillar”, посредством която нараства уплътнителния ефект чрез раздробяване на отпадъците по време на обработването им. Ефектът от уплътняването с валяци обикновено достига до дълбочина 1-2 m, поради което за уплътняване на материал на по-голяма дълбочина се прилага **тежка трамбовка**. Вече се използват трамбовки с маса 27-36 t, пускани от височина 30 m и повече. Доказани са възможностите за уплътняване на твърди битови отпадъци с тежка трамбовка, вследствие на което празният обем в едно сметище нараства от 8% до 15%. Този начин на уплътняване намалява и евентуалните слягания при вече закрити сметища, преди да е започнало някакво строителство върху тях. Трамбовка с маса 20 t е използвана и за уплътняване на ниско радиоактивни отпадъци на площадка в Южна

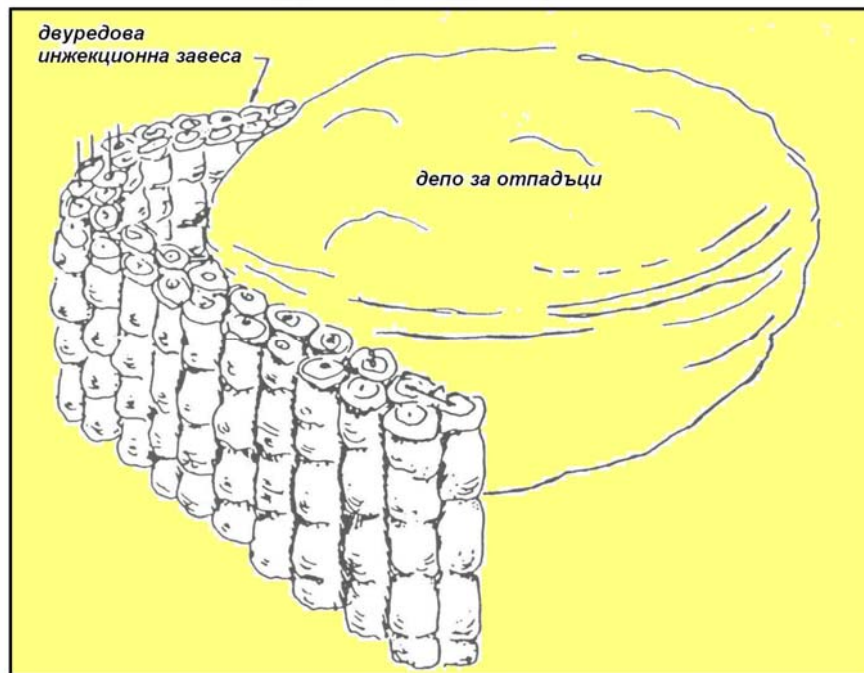
Каролина, САЩ, където отпадъците са съхранявани в дълбоки 6 m траншеи, а най-горният слой от 1,2 m е от почвено покритие.

**Предварителното натоварване и претоварващите насипи,** които често се използват при меки, слаби почви, в резултат на което очакваното слягане се свежда до минимум, имат подобно приложение и при закриване на сметища, преди изграждане на окончателното покритие. Предварителното натоварване предизвиква слягане на материалите в сметището и намалява размера на възможните слягания след поставяне на окончателното покритие. Сляганията на материала от сметището, особено неравномерните, понякога предизвикват напукване и разрушаване на покритието, като може да се допусне и нежелателно изтичане на замърсители в околната среда. Най-често се изгражда допълнителен земен насип, което ускорява процеса на слягане. Материалът, използван за предварително натоварване, може впоследствие да се вложи при изграждане на окончателното покритие. На сметище в Минесота, САЩ, е бил поставен претоварващ насип само върху площите, където дебелината на отпадъците е надхвърляла 1 m. Той е престоял 12 месеца, след което е направено окончателното изравняване на площадката.

**Инжекционно заздравяване и уплътняване.** Едно от екологичните приложения на инжектирането е създаване на инжекционни завеси (Фиг. 74) за изолация на отпадъците или уплътняване дъната на сметища. Проблем при тази технология е, че инжектирането на разтвори не може достатъчно добре да се контролира, така че да се гарантира цялостно свързване. Инжекционните сондажи трябва да се застъпват добре, за да се избегне получаването на празнини в защитната преграда. Разстоянието между сондажите най-често е 1,3-2,5 m, а изградените завеси включват поне два реда инжекционни сондажи, като за предпочитане са три реда.

Успешно е прилагана летяща пепел от ТЕЦ като инжекционен разтвор за укрепване конструкция на сметища и отпадъкохранилища от въгледобивната дейност. Инжектирането на драгирани материали в депата за битови отпадъци увеличава устойчивостта им, а прилагането на канализационни утайки повишава биологичната активност, с което се

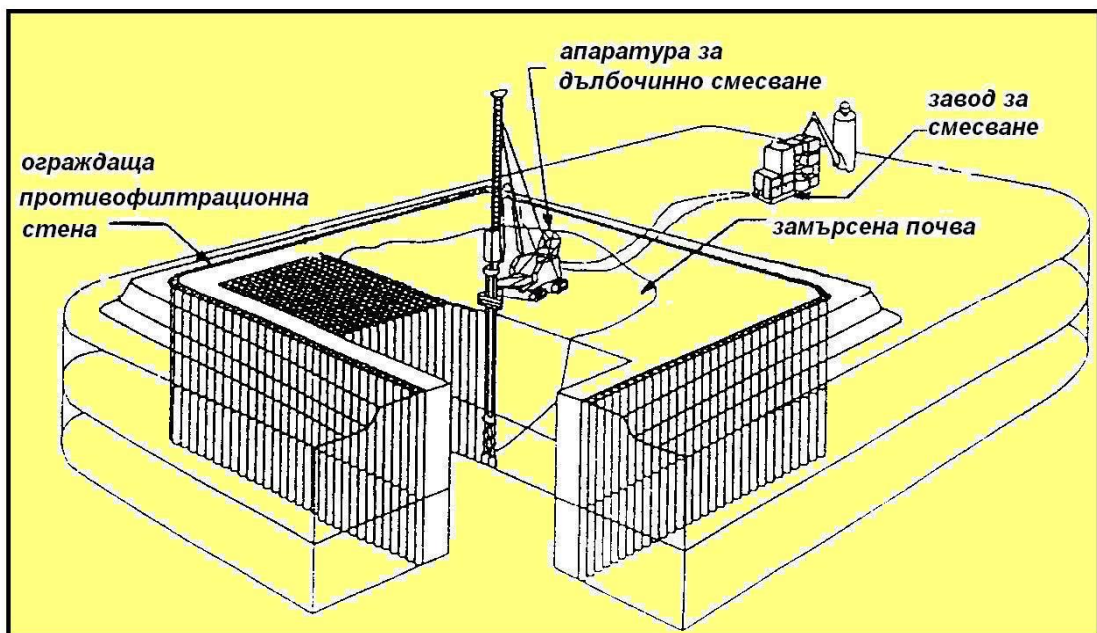
осигурява повече биомаса за отделяне на метан. Инжектирането на цимент, вар, пепел от ТЕЦ или някаква смес от тези материали повишава рН на обработвания масив и може да се прилага за пречистване на място на хвостохранилища и депа от минно-добивната промишленост. Чрез повишеното рН се контролира киселинността на минните води и се постига утаяване и задържане на някои метали.



Фигура 74. Инжекционна завеса за изолация на отпадъци

**Хидроструйното инжектиране** е един по-нов метод, при който под въздействие на струя под много високо налягане се разрушава структурата на почвата и така се подготвя за смесване със свързващи вещества, или за изнасянето ѝ на повърхността. Този метод може да се използва за изграждане на предпазни стени около дадена замърсена площадка и за запечатване дъната на депа за отпадъци, с цел напълно да се изолира замърсяването. Раздробената почва може да се изнесе на повърхността и там да бъде обработена и пречистена от замърсителите. Материалът, след като е пречистен, може да се използва отново за обратна засипка. По този начин се изнася и замърсена почва, намираща се под съществуващи сгради и съоръжения. Хидроструйното инжектиране е успешно приложено за почистване на площадка в Германия, замърсена с феноли.

**Смесване със свързващи вещества.** Традиционното смесване на дисперсните почви със свързващи вещества от типа на: цимент, вар, битум и някои синтетични полимери, се използва за създаване на изкуствен материал с предварително проектирани свойства. Чрез тези методи може да се обработва на място замърсена почва и материали от депа за отпадъци и хвостохранилища. Внасянето на реагентите за заздравяване, биодеградация и киселинна/основна неутрализация се осъществява по два начина. **Смесването на повърхността** става предимно със селскостопанска почвообработваща техника. По този начин са смесвани цимент и летяща пепел от ТЕЦ с отпадъчни шламове от нефтеното сондиране. Понякога към шламовете се добавят органофилни глини, които адсорбират органичните вещества, влияещи негативно на процеса на втвърдяване. **Дълбочинното смесване** изисква специална апаратура, но дава възможност за третиране на замърсени почви на място на съответна дълбочина (Фиг. 75).



Фигура 75. Изграждане на противофилтрационна стена и обработка на замърсена почва на място чрез прилагане на метода за дълбочинно смесване (DMM)

Различните реагенти се внасят в почвата чрез въртящ се шнек. Обработването на една площадка се постига чрез застъпване на

отделните стълбове обработена почва. Друго приложение на дълбочинното смесване е изграждане на прегради за прекъсване потока на подземните води и за преустановяване пренасянето на замърсители. Преградната стена се оформя чрез смесване на свързващите вещества с почвата по линия от застъпващи се колони, която огражда замърсената площадка.

**Заздравяване чрез прилагане на физични полета.** При **термичното заздравяване** се използва въздействието на положително температурно поле върху структурата и свойствата на почвата. При екологичните приложения на този метод, нагряването може да се осъществи както при средни температури ( $150^{\circ}$ - $250^{\circ}$ C), така и при значително по-високи ( $\geq 1000^{\circ}$ C). Нагряването при средни температури води до извличане на пара, с което се повишава количеството замърсител, преминаващ в летливо състояние и възможността за извличането му чрез вентилация на почвите. Остъкляването е друг вариант на термична обработка, при който се прилагат по-високи температури. Преди да започне разтопяване на почвата, в процеса на нагряване, органичните замърсители в нея излитат или изгарят. Неорганичните замърсители (например, металите) остават в почвата и стават част от разтопената маса, която впоследствие се охлажда и втвърдява. Описани са редица случаи за очистване на замърсени материали по този начин, включително твърди вещества, утайки и течни отпадъци.

**Замразяването**, както и при традиционните си приложения, се препоръчва само като временна мярка, докато се намери по-дълготрайно решение. Този метод най-често се използва за защита на подземните води от разпространение на замърсители.

**Електроосмозата** може да се прилага за извличане на води и замърсители от финодисперсни почви. Чрез прилагане на електрическо поле и превръщане на сондажите в електроди, водният поток от обработвания масив се насочва към катода. Този метод се препоръчва в САЩ от Агенцията за опазване на околната среда (EPA) за очистване на

площадки, замърсени с опасни отпадъци. Някои изследвания доказват, че чрез електроосмотично и електрокинетично въздействие успешно се отстраняват разтворени органични и неорганични замърсители в почвата. Електроосмотичната обработка може да увеличи и ефективността на глинените екрани, изградени като предпазна мярка срещу изтичане на филтрат при сметищата за битови отпадъци.

**Някои специфични методи, прилагани с екологична цел.**  
**Тънките бентонитови стени** ограничават влиянието на отпадъците и предпазват от разпространението на замърсители към съседни участъци. Методът се използва за направа на дълбоки траншейни дренажи, служещи за преграда на пътя на замърсителите. При изграждане на такива стени е най-добре основата им да се захваща във водоупор под площадката, но е възможно и да са “висящи”, т.е. да не се захващат във водоупорния пласт. Технологията на строителство е сравнително проста и евтина, като обикновено изкопаната пръст се смесва с бентонит и се насипва обратно в траншеята за оформяне на стената. Използваната смес се характеризира с ниска водопропускливост ( $\leq 1 \times 10^{-9}$  m/s), а в стената могат да се поставят и геомембрани, които допълнително да намалят водопропускливостта и да служат като преграда за миграция на газове. При “висящите” стени трябва подземните води от района да се изпомпват. При строителство на траншейни дренажи е прилагано внасяне на биоразграждащ се полимер в суспензията, което поддържа траншеята отворена. След това тя се запълва обратно с пясък или чакъл, изпълняващи функцията на дрениращ материал след разграждане на суспензията.

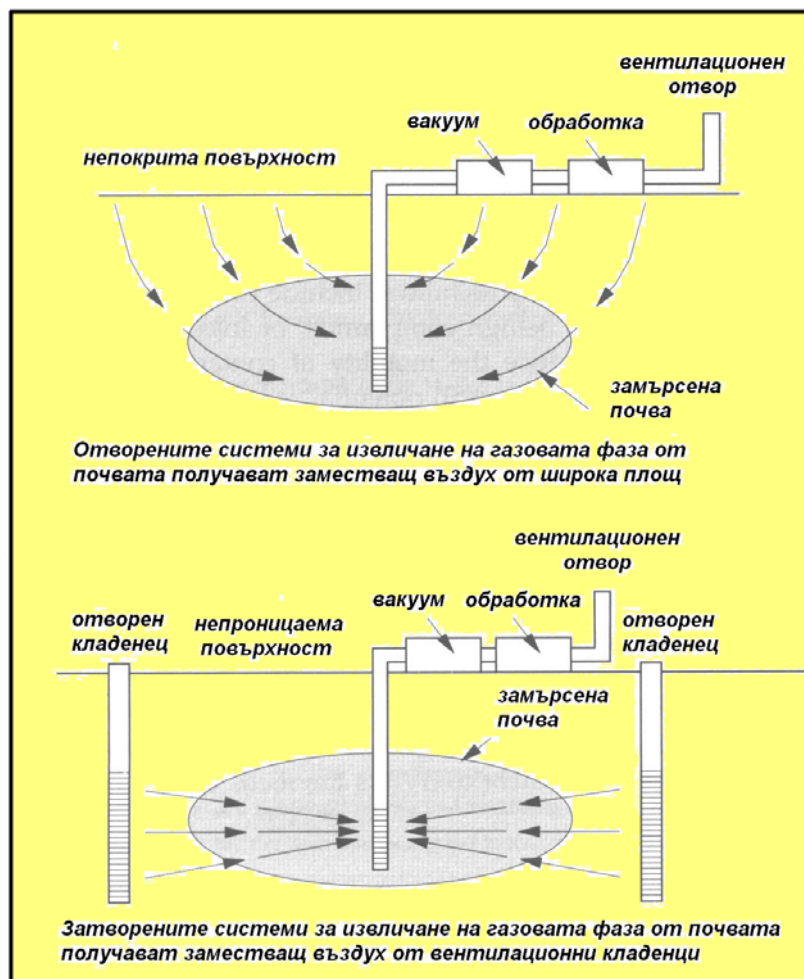
На завод за полупроводници в САЩ е изградена 30 m дълбока стена, която изцяло огражда площадката, така че замърсителите нямат възможност да мигрират към съседни площи. Стената е направена от изкопана от траншеята почва, смесена с 2% бентонит. От извършените опити за определяне коефициента на филтрация при лабораторни и при реални условия е установено, че средната му стойност за цялата стена е  $2 \times 10^{-10}$  m/s.

**Изграждането на хидрогеоложки кладенци и дренажи** се прилага и с екологични цели, основните от които са: изнасяне и пречистване на подземните води; понижаване нивото на подземните води преди да е започнало замърсяването им; задържане разпространението на замърсители в подземните води и др. В хидрогеоложките сондажи могат да се инжектират и различни вещества и реагенти, които увеличават дебита и подобряват качествата на водата. Отстраняването на някои замърсители става по-ефективно, ако се инжектират пенообразуващи повърхностно-активни вещества ПАВ, пара или гореща вода. На площадка, замърсена с консерванти за дърво е изследвана ефективността от проведена аеробна деградация на замърсителите. Във водоносния хоризонт е нагнетен разтвор на водороден перексид, за да се увеличи концентрацията на кислород в него. Инжектирани са и азот и фосфор, които спомагат растежа на микроорганизмите. Получените резултати са доказали, че методът може да се утвърди за решаване на подобни проблеми по почистване на замърсени площадки. Подобно на нефтодобивната индустрия, се прилага **допълнително натрошаване на скалния масив**, с цел да се увеличи дебита и извличането на замърсители от него. Използват се както взривни методи, така и хидравлично разломяване.

**Извличането на пара от почвите** е аналогично на добива на подземни води, но вместо вода се извлича газовата фаза (Фиг. 76). Методът се нарича още **подземна вентилация** и се прилага за отстраняване на летливи органични замърсители от ненаситената зона. Ефективността му се повишава чрез инжектиране на горещ въздух в почвите.

Технологията е използвана и при сметища за битови отпадъци за отстраняване на въглеродния диоксид и метана, за да се избегне миграцията им и евентуални повреди на покриващия слой и изолиращия екран.





Фигура 76. Система за извличане на газовата фаза от почвите

В нашата страна засега съществува реална възможност при някои екологични задачи да се използват утвърдени в строителната ни практика технологии, като например методите за уплътняване. За някои по-съвременни методи у нас липсва необходимата техника и апаратура, но с приобщаването ни към Европейския съюз ще се наложи и тяхното въвеждане.