

7. УПЛЪТНЯВАНЕ С ВЗРИВНА ЕНЕРГИЯ

1. Уводни бележки

Уплътняването на структурно-неустойчиви строителни почви чрез взривна енергия е ефективен метод за повишаване на тяхната носеща способност, за премахване на пропадъчността, за намаляване на деформируемостта и водопропускливостта. В сравнение с другите динамични методи най-характерното за взривното уплътняване е използването на мощен, достъпен и евтин източник на динамично въздействие.

Методът е предложен от Ю. М. Абелев през 1935 г. и започва да се прилага през втората половина на 30^{-те} години в Русия и САЩ. Впоследствие взривното уплътняване е навлязло в строителната практика на много страни като се използва най-често в промишлено-гражданското, пристанищното и хидротехническото строителство. Теорията и технологията на метода са добре разработени и са изготвени указания и инструкции, в които е регламентирано проектирането, изпълнението и контролните дейности.

В България взривното уплътняване е използвано при строителство в пропадъчен льос.

2. Същност и приложимост на взривното уплътняване

Прилагането на мощните подземни или повърхностни взривове върху почвата предизвиква голямо налягане, разпространяващо се във вид на ударни вълни. Силата на тези вълни съответствува на силата на сеизмични вълни при земетресение от XII степен по MSK, а налягането в достига до 10 000 МПа (Литвинов, 1977), вследствие на което се разрушават структурните връзки между почвените частици. Последните интензивно се преместват една спрямо друга, преориентират се и образуват по-плътна структура. Същевременно отделеният при взривовите газ се разтваря във водата, променя нейния вискозитет и я увелича със себе си. Настъпват структурни изменения в почвата, които водят до намаляване на порестостта и подобряване на нейните якостно-деформационни параметри.

Методът е показал своята ефективност, както при несвързани, така и при слабоуплътнени свързани почви (Иванов, 1967, Воронкевич Ед., 1981 и др.)

При несвързаните почви основното гранично условие за приложение на метода е степента на уплътненост D на почвата:

$$D = \frac{\rho_{d \max} \cdot (\rho_{de} - \rho_{d \min})}{\rho_{de} \cdot (\rho_{d \max} - \rho_{d \min})}$$

където:

$\rho_{d \min}$ - обемна плътност на скелета на почвата в рохкаво състояние

$\rho_{d \max}$ - обемна плътност на скелета на почвата в плътно състояние

ρ_{de} - обемна плътност на скелета на почвата в естествено състояние

Максималните стойности на D определят и началната степен на уплътненост, до която е целесъобразно да се прилага взривното уплътняване. При по-плътни водонаситени пясъци (с $D > 0,70$) дълбочинните взривове не само не водят до уплътняване, но в зоната на непосредствено действие на взривните газове могат да разуплътнят почвата.

При свързаните почви взривното уплътняване е особено подходящо за пропадъчни лъсови почви с относително висок коефициент на филтрация ($k_f > 0,2$ m/d) и ниска обемна плътност на скелета ($\rho_{ds} \leq 1,45$ g/cm³).

При пропадъчните лъсови почви се използва предложението от Литвинов (1977) в началото на 60-те години т.н. ускорен метод за дълбочинно уплътняване, при който енергията на дълбочинните взривове се съчетава с предварително намокряне. Това е т.н. дълбочинно хидровзривно уплътняване. Прилагано е предимно в промишлено-гражданското строителство и при изграждането на някои по-тежки хидротехнически и хидромелиоративни съоръжения.

Разглежданият метод е прилаган и за уплътняване на тинести почви. При изграждане на рудно насипище в северното пристанище на Гданск чрез дълбочинно взривяване са уплътнени $1,5 \times 10^6$ m³ органични тини и тинести пясъци до дълбочина 18 m.

Следователно, взривното уплътняване е прилагано досега при следните почви:

1. При всички несвързани почвени разновидности (и при изкуствени намиви от тях) със степен на уплътненост под 0,65-0,70;
2. При пропадъчни лъсови почви с $k_f > 0,2$ m/d и $\rho_{ds} \leq 1,45$ g/cm³;
3. При водонаситени тинести пясъци и тини като се създават условия за дрениране на водата.

При приложението на метода при тези почви има редица ограничения. При тежки съоръжения, предаващи голям допълнителен товар и особено, когато строителството трябва да започне веднага след уплътняването взривното уплътняване не е подходящо, защото може да възникне значително допълнително слягане. В зависимост от състава на подобряваната почва, пълна стабилизация на слягането настъпва след 1-2 месеца (при пясъците) до 0,5-1,5 години (при лъсовите почви). При лъоса вследствие снижаване на водното му съдържание до природното може да се получи значително и неравномерно слягане на съоръженията, построени веднага след завършване на уплътняването. Освен това при земетръс съществува опасност от втечняване и протичане на преовлажнения лъос.

Прилагането на взривно уплътняване в участъци с проявени свлачища или на потенциални свлачищни склонове е недопустимо.

При наличие на здания и съоръжения разположени близко до уплътнявания масив, винаги трябва да се определя дали те ще попаднат в зоната на въздействие на взрива. При лъсовите почви, когато взривното

уплътняване е съчетано с предварително намокряне, разстоянието от намокрената площ до съществуващите здания и съоръжения (ако същите са изградени без да е унищожена пропадъчността на целия лъсов масив) трябва да бъде най-малко 3 пъти по-голямо от мощността на пропадъчния слой. Ако не може да се осигури такова разстояние е необходимо да се изгражда противофилтрационна завеса или да се осигури много бързо намокряне на основата.

3. Разновидности на взривното уплътняване

Взривното уплътняване има 3 основни разновидности – повърхностно, подводно и дълбочинно.

При повърхностното взривно уплътняване зарядите се разполагат на повърхността на уплътняваната площ. За да бъде ефективно действието на взрива е необходимо дъното на изкопа (където се поставя взривното вещество) да достигне до нивото на подземната вода, т.е. под зарядите не трябва да има слой от неводонаситена почва.

Приложението на уплътняването на лъос с подводни взривове започва след 1965 г. в бившия Съветски съюз. Установено е, че по този метод се постига ефективно и бързо уплътняване на най-горните 5-7 m от лъоса.

При дълбочинното уплътняване зарядите се разполагат в дренажните сондажи или в отделни взривни сондажи. Зарядите трябва да бъдат поставени на такава дълбочина, че да не се стигне до изхвърляне на земна маса при взривяването и да не се образуват взривни ями.

При пропадъчните почви дълбочинното взривно уплътняване има две разновидности. При първата, енергията на дълбочинните взривове не се използва пряко за уплътняване на почвата, а преди всичко за отслабване и нарушаване на структурните връзки между частиците. Почвата се уплътнява под действие на собственото си тегло. При втората разновидност енергията на взривовете се използва директно за уплътняване на почвения масив.

Първата разновидност се прилага за уплътняване на почва с висок k_f и с ниско ρ_d (под $1,45 \text{ g/cm}^3$). Почвата предварително се овлажнява до границата на протичане, след което взривяването на зарядите се извършва последователно един след друг (или на групи по 3-4 заряда). Многократните динамични удари с неголям интервал помежду им, способствуват за по-пълното разрушаване на структурата на почвата. По този начин слягането се увеличава с 15-20% в сравнение с мигновеното взривяване на всички заряди (Литвинов, 1977). При използването на този способ трябва да се осъществи равномерно овлажняване на целия масив.

Втората разновидност се прилага рядко - при нееднородни пропадъчни почви, глинест лъос и лъсовидна глина с $k_f < 0,2 \text{ m/d}$ и $\rho_{ds} > 1,45 \text{ g/cm}^3$. Взривят се едновременно всички заряди или големи съвкупности от тях (по редове, по нива и т.н.). Това води до значително

увеличаване на сеизмоопасната зона и затова тази схема на взривяване е по-подходяща за незастроени територии.

4. Проектиране, технология и контрол на качеството на взривното уплътняване

В този раздел се има предвид предимно пропадъчния льос, тъй като приложението на метода у нас засега е най-перспективно при него.

Изпълнението на взривното уплътняване включва следните основни дейности: инженерно-геоложки проучвания на съответната площадка; изготвяне на проект за уплътняването; уточняване на отделните параметри на проекта чрез опитно уплътняване; подготовка на площадката; предварително намокряне (ако е предвидено такова в проекта); взривно уплътняване и контрол на неговото качество.

За извършване на уплътняването е необходимо да се осигурят: дренажни материали - едрозърнест пясък, чакъл и баластра; водопроводни тръби с различен диаметър; тънкостенни тръби (металически, пластмасови или етернитови) с диаметър от 50 до 400 mm; най-малко две водни помпи (за да не се прекъсва процеса на намокряне при повреда на едната); спирателна и измерителна апаратура (водомери, вентили и т.н.); водоустойчиви взривни вещества и вода. Освен това са необходими и различни машини – багер, екскаватор, булдозер, самосвали, сонди.

Изготвяне на проекта за взривно уплътняване става на базата на качествени инженерно-геоложки проучвания, които не са лесни при льосовите почви. При тези проучвания трябва да се установят: нивото на подземната вода, мощността на уплътнявания слой, очакваното сумарно пропадане при геоложки и допълнителен товар, тип на основата (I или II тип), наличие на водоупорни и дренажни слоеве, коефициент на филтрация и основни физикомеханични характеристики на почвените разновидности. Трябва да се даде заключение, за вероятността от възникване на свлачища вследствие на динамичното въздействие и за възможните негативни последствия от повдигането на нивото на подземната вода.

Необходимо е проектът да съдържа следното:

1. Размери на изкопа и технологична карта на земните работи;
2. Методика на извършване на предварителното намокряне – разположение на дренажните сондажи, тяхната дълбочина, диаметър и начин на прокарване, количеството дренаж материал, схема на водопроводната мрежа, разход на вода, време за намокряне и т.н.;
3. Проект за взривните работи, утвърден от съответната упълномощена организация. В този проект се посочва: количеството, вида и разположението на зарядите, начина на взривяване, сеизмобезопасното разстояние до съществуващите сгради и съоръжения (ако е необходимо и противосеизмични защитни мероприятия), указания по техниката на безопасност, начини за ликвидиране на невзривени заряди и т.н.;

4. Методика за контрол на качеството на уплътняването – конструкция, брой и разположение на повърхностните и дълбочинните репери, контролни сондажи за определяне на физико-механичните характеристики на почвата след уплътняването;

5. Начин за уплътняване на горния недоуплътнен слой от почвата.

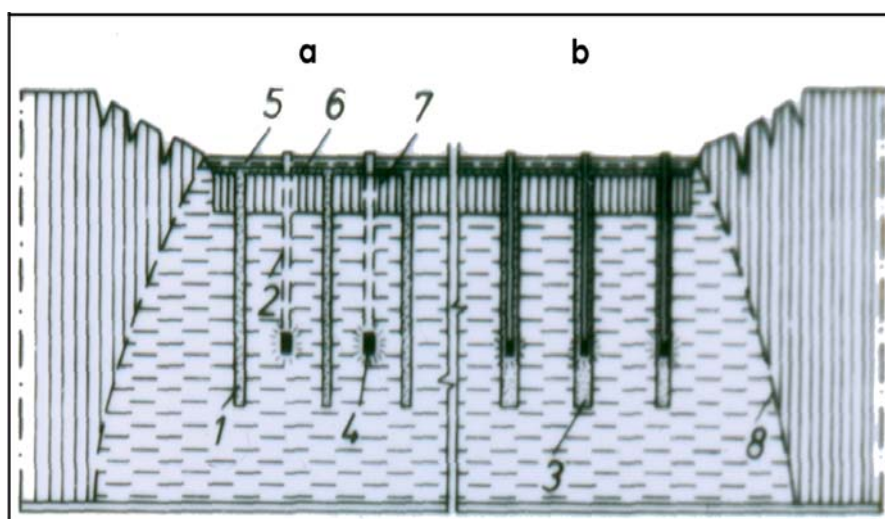
След изготвяне на предварителния вариант на проекта, при големи обекти трябва да се извърши опитно взривно уплътняване. То обикновено се извършва в изкоп с дълбочина 0,8-1,0 m и с ширина не по-малка от 20 m. На базата на получените резултати от опитното уплътняване се изготвя окончателния проект.

Технологията на изпълнение на взривното уплътняване е описана подробно в нормативни документи на бившия Съветски съюз, които бяха използвани и у нас (“Рекомендации по уплотнению просадочных грунтов большой мощности гидровзрывным методом”, 1984; “Пособие по производству работ при устройстве оснований и фундаментов”, 1986 и др.).

Основните технологички операции при дълбочинното взривно хидроуплътняване и тяхната последователност са следните:

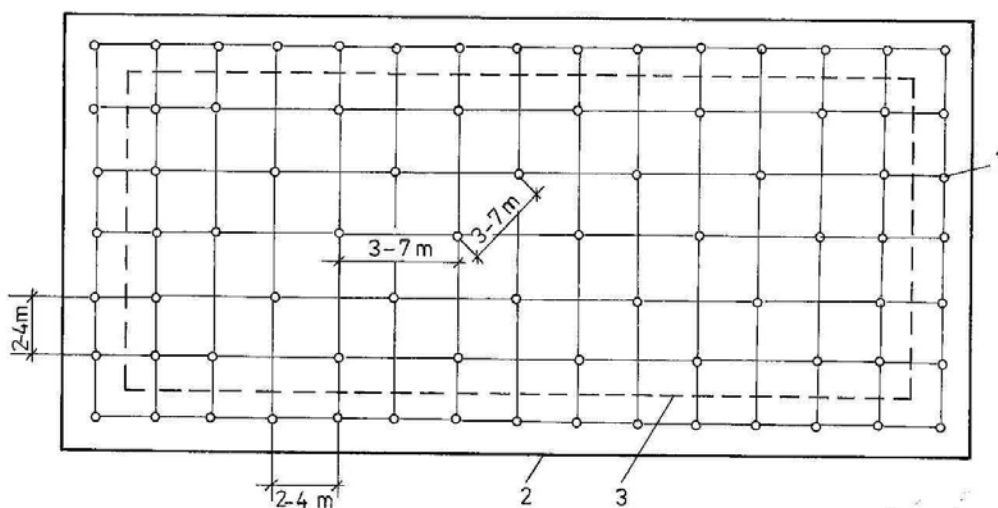
- подготовка на изкопа – размерите на страните му трябва да бъдат с 10-20% по-големи от размерите на бъдещото съоръжение;
- прокарване на дренажните и взривните сондажи (фиг. 7.1.а) или на съвместни дренажно-взривни сондажи (фиг. 7.1.б), както и на сондажите, в които ще се разположат дълбочинните геодезически репери. Дълбочината на дренажните сондажи не трябва да бъде по-малка от 0,7-0,8 от мощността на пропадъчния слой, а разстоянието между тях е 3-7 m във вътрешността на уплътняваната площ и 2-4 m по контурите. Една примерна схема на разположението на дренажните сондажи е показана на фиг. 7.2.;
- засипване на дъното с 10-20 cm слой от дрениращ материал;
- монтиране на водопроводната мрежа;
- поставяне на зарядите и цялостно оборудване на взривните респ. на дренажно-взривните сондажи (фиг. 7.3.);
- изграждане на повърхностни и дълбочинни репери;
- намокряне на уплътняваната основа;
- взривяване на зарядите;
- провеждане на ежедневни измервания на слягането в продължение на 15-20 денонощия след завършване на взривните работи.
- уплътняване на горния недоуплътнен слой. Това може да се извърши чрез повърхностни и подводни взривове, тежка трамбовка или чрез изграждане на почвена или циментопочвена възглавница.

При водонаситени почви технологията на уплътняване значително се опростява, тъй като отпадат операциите свързани с предварителното намокряне на масива.



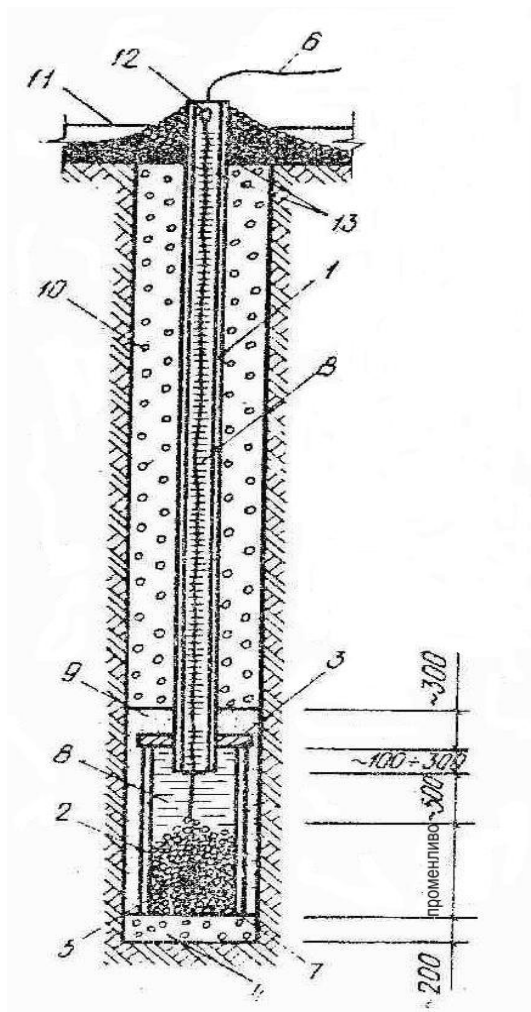
Фиг. 7.1. Схема на дренажните, взривните и дренажно-взривни сондажи: а – уплътняване с отделни сондажи за намокряне и взривяване; б – уплътняване с комбинирани дренажно-взривни сондажи;

1. – дренажен сондаж; 2. – взривен сондаж; 3 и 4. – взривни гърнета; 5. – дренажен материал по дъното на изкопа; 6. – повърхностна геодезическа марка; 7. – слой, който остава неуплътнен след взривяването; 8. – граница на уплътнената зона.



Фиг. 7.2. Схема на разположението на дренажните сондажи

1. – дренажен сондаж; 2. – контур на изкопа; 3 – контур на проектираното съоръжение;



- 1. - стоманена тръба с диаметър 120-150 mm за спускане на взривното вещество;
- 2. – взривно гърне;
- 3. – капак;
- 4. – бетон;
- 5. – взривно вещество;
- 6. – детониращ шнур;
- 7. – взривна камера;
- 8. – забивка от вода и пясък;
- 9. – пясъчна засипка;
- 10. – засипка от дренажни материали
- 11. – ниво на водата в котлована;
- 12. – отверстие за спускане и изваждане на тръбата;

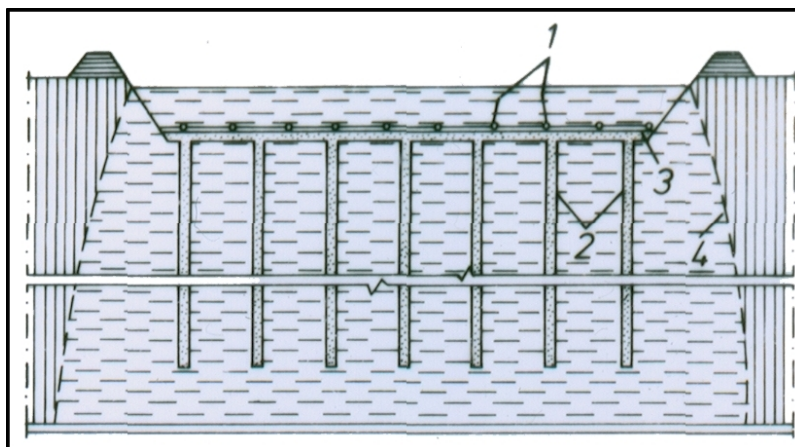
Фиг. 7.3. Конструкция на дренажно-взривен сондаж

При уплътняване чрез подводни взривове зарядите се разполагат и взривяват във водна среда (фиг. 7.4.). Нивото на водата в изкопа трябва да бъде около 1,3-1,5 m, като под зарядите е необходимо да има не по-малко от 1 m воден слой, а над тях – около 0,3-0,4 m. Водният слой под зарядите осигурява равномерност на взривното въздействие върху почвата, а този над тях служи за гасене на взривната енергия насочена нагоре. Зарядите се разполагат в квадратна или шахматна мрежа през 0,6-1,2 m като теглото им е от 0,5 до 1,5 kg . Дълбочината на уплътняване зависи от почвените условия и от количеството на зарядите като обикновено достига до 3-5m (в редки случаи до 7 m).

Изпълнението на повърхностното взривно уплътняване включва: подготовка на изкопа, разполагане на зарядите в квадратна или шахматна мрежа, поставяне на повърхностни репери и извършване на взривните работи. Сферата на приложение на повърхностното уплътняване е твърде

ограничена поради посоченото по-горе изискване да няма под зарядите слой от неводонаситена почва, т.е. дъното на изкопа да достига до нивото на подземната вода. Освен това в сравнение с подводното взривно уплътняване, повърхностното е с по-малък ефект. Качеството на уплътняване е по-лошо, тъй като се нарушава непрекъснатостта на най-горния почвен слой, т.е. образуват се взривни ями.

При водонаситените пясъци тези ями веднага след взрива се самозапълват, като плътността на почвата в тях остава по-малка в сравнение с околната уплътнена почва.



фиг. 7.4. Принципна схема на уплътняването от повърхността с подводни взривове

1 - взривни заряди; 2 – вертикални пясъчни дренажи; 3 – повърхностен пясъчен дренаж; 4 – граница на навлажнената зона.

Контролът на ефекта на уплътняването се извършва по два начина:

1. чрез измерване на слягането на повърхностните и дълбочинните репери, което трябва да продължи до настъпване на условна стабилизация на основата - слягане не повече от 10 mm на седмица;
2. чрез определяне на плътността на почвата през 1-2 m по цялата мощност на уплътнявания масив.

Както при всички методи за уплътняване, така и при взривното, качеството на уплътняването се приема за удовлетворително, ако средната плътност на почвата по цялата основа съответствува на зададената в проекта. Допуска се от всички определения на плътността до 10% да бъдат с $0,05 \text{ g/cm}^3$ по-малки от проектната плътност.

5.Опитът от приложение на взривното хидроуплътняване в България.

Уплътняване с подводни взривове

В началото на 70-те години на миналия век това уплътняване е приложено при изграждане на лявото крило на яз. Ковачица – Ломско,

което попада върху льос с дебелина на пропадъчната зона 7,5 m и размер на пропадането при геоложки товар $\delta_{np.\gamma}=0,25$ m.

Уплътняваната площ е била разделена на три полета №1, №2 и №3, оградени с диги, в които е поддържан воден стълб от 1,2 m. При полета №1 и №2 е направено уплътняване без взрив, като водният стълб е поддържан в течение на 3 месеца. Реализирано е пропадане от няколко сантиметра. Затова при участък 3 е било направено уплътняване с подводни взривове, след 8 дневно водоналиване (Евстатиев и Руменов, 1972). Постигнато е пропадане на повърхността от 18 до 22 cm, увеличаване на ρ_d от 1,47 до 1,57 g/cm³ и намаление на пропадането от геоложки товар от 3,35 % на 0,05 %. На 1 m³ уплътнена основа са изразходвани около 400 литра вода.

Дълбочинно взривно уплътняване

След едромашабен експеримент в района на ТЕЦ “Русе” е приложено при фундиране на два жилищни блока в гр. Русе и на бетоновия разпределител на помпената станция “Малък Преславец” – Силистренско.

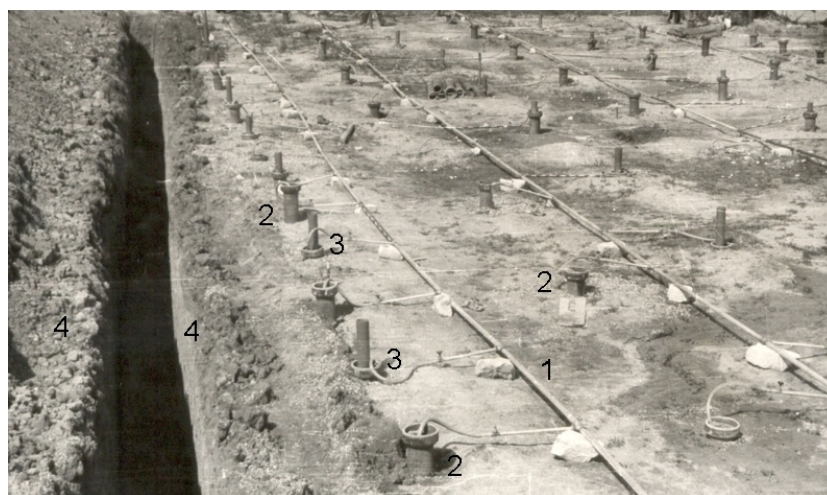
Приложенията включват следните основни дейности:

- Изготвяне на проект за взривни работи, съдържащ необходимите мерки за безопасност;
- Изграждане на плитък изкоп и на ограничителен шлиц срещу разпространението на пукнатини (фиг. 7.5);
- Прокарване на дренажни и взривни сондажи на 3 до 7 m един от друг и до дълбочина 15 – 20 m, взривните сондажи са оборудвани с тръба, съдържаща метално гърне в долния си край. Част от сондажите са взривно-дренажни (фиг. 7.6.);
- Намокряне на основата с дренажните сондажи (обикновено за 7 – 10 дни) или посредством дренажни сондажи и повърхностно заливане на площадката (фиг. 7.7), контрол на водното съдържание;
- Поставяне на зарядите в сондажите (водоустойчив тротил, 5-6 kg на заряд, изграждане на почвена тапа в най-горните 3 метра от сондажа; Спиране на подаването на водата и взривяване на зарядите (фиг. 7.8) с геофизичен контрол на сеизмичните въздействия върху околните съоръжения;
- Геодезически, сондажни и лабораторни изследвания за доказване на ефекта от уплътняването.

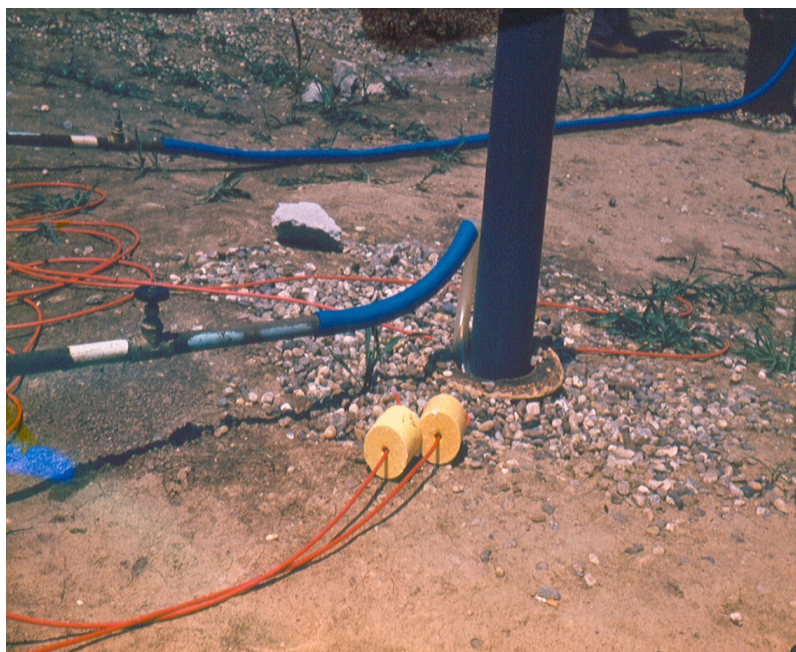
Приложенията на метода са осъществени при льосова основа от II тип, т.е. пропадъчна от собственото си тегло при намокряне. Сондажите са направени със сонди УРБ – 2А и ЛБУ.

Слягането на повърхността на терена достига до 110 – 120 cm, като се постига значително увеличение на плътността на почвата (фиг. 7.9). Обемната плътност на скелета ρ_d на льоса от пропадъчната зона се увеличава над 1,55 g/cm³, което го прави непропадъчен.

Сътресенията предизвикани от взривовете на близко разположените сгради са в границите на допустимите и в нито една от тях не бяха констатирани напуквания.



Фиг. 7.5. Изглед на площадка за изграждане на висок блок в гр. Русе, на която е приложено взривно хидроуплътняване на лъос. 1 - тръбопровод; 2 – дренажни сондажи; 3 – дренажно – взривни сондажи; 4 - шлиц срещу разпространение на пукнатини – вляво от шлица преминава градския водопровод.



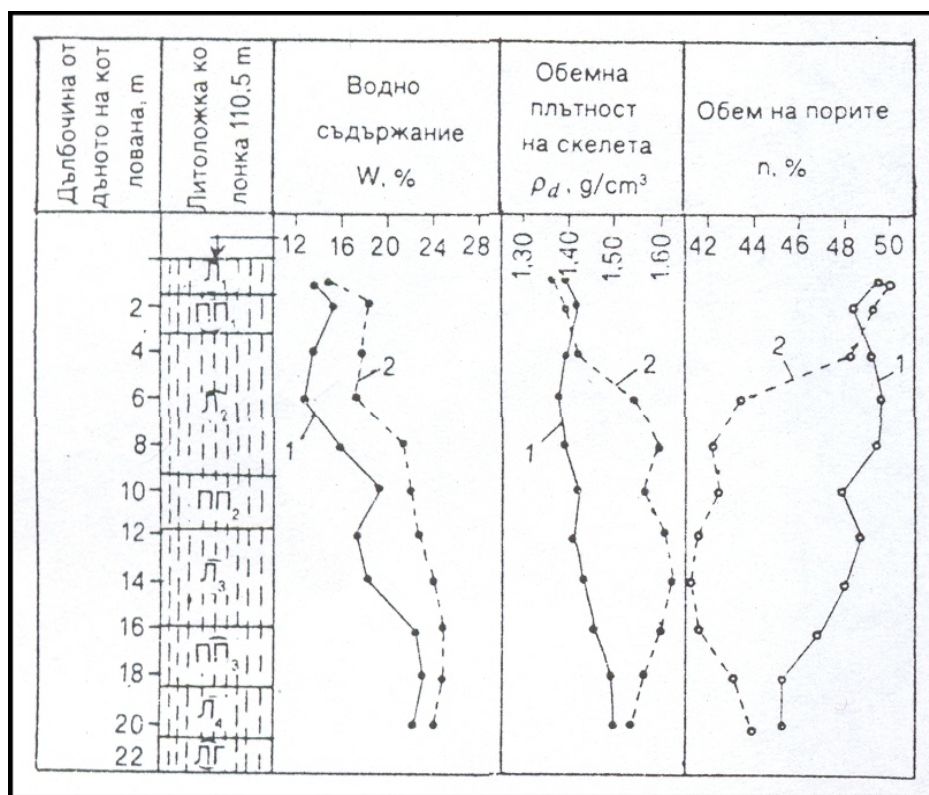
Фиг. 7.6. Дренажно-взривен сондаж – горен край.
 Вижда се тръбата завършваща в долния си край с взривно гърне и две тротилови шапки, нанизани на детониращ шнур, които ще се спуснат в гърнето



Фиг. 7.7. Уплътняване чрез повърхностно и дълбочинно намокряне на основата



Фиг. 7.8. Изглед на площадката по време на взривяване на дълбочинните заряди.
Отделя се голямо количество газ, който играе важна роля за бързото уплътняване. Под високо налягане той се смесва с водата, понижава нейния вискозитет и ускорява консолидацията.



Фиг. 7.9. Водно съдържание и плътност на лъса от площадката “Малък Преславец”: 1- преди взривното хидроуплътняване; 2 – след взривното уплътняване.

Вижда се голямото увеличение на ρ_d и намалението на n след уплътняването, което прави лъса непропадъчен

Разглежданият метод е доказал техническата си целесъобразност и ефективност, както в чужбина, така и у нас. Основните му предимства са следните:

- практически дълбочината на уплътняване е неограничена, тъй като взривните заряди могат да се разположат на всяка дълбочина;
- За уплътняване на подводни наживи взривният метод е единствено приложим;
- уплътненият масив е много еднороден по плътност. Това се определя от избиращата способност на взрива – действието му е най-голямо върху най-слабите слоеве и участъци от почвата;
- взривното уплътняване е надежден способ. При правилно разположение на зарядите няма опасност да се пропусне някоя прослойка или участък;
- разходите и времето за уплътняване (на 1 m^3 почва) са по-малки в сравнение с всеки друг метод за дълбочинно подобряване на почвите;

- за изпълнението на взривното уплътняване не е необходимо сложно и скъпо оборудване.

Методът има следните недостатъци:

- подобряването на якостно -деформационните параметри на почвата не е така голямо, както при други методи (например, силикатизация, хидроструйна технология, почвени пилоти);
- необходимо е много стриктно спазване на правилата по техниката на безопасност;
- в застроени територии приложението на взривното уплътняване е затруднено поради необходимостта от отчитане на сеизмичния ефект;
- в технологично отношение методът не е сложен, но за качествено му изпълнение е необходим екип от разнородни специалисти – инженер-геолог, специалист по взривно дело, сондьори, геофизик, геодезист. Организирането на специализирано звено от такива специалисти е възможно при голям обем на уплътнителните работи. За малки обекти при сегашните условия у нас това е много трудно.