



Инж. Младен Захариев,
Хени България ЕООД
Регионален Мениджър
за Източна Европа
Моб. +359 879 95 4724,
E-mail: mladen.zahariev@haeny.com

Eng. Mladen Zahariev,
Häny AG, Switzerland
Regional Manager for Eastern Europe
Mob. +359 879 95 4724,
E-mail: mladen.zahariev@haeny.com

GROUTING SYSTEMS



СЪВРЕМЕННО ОБОРУДВАНЕ ЗА СТРОИТЕЛНИ РАЗТВОРИ

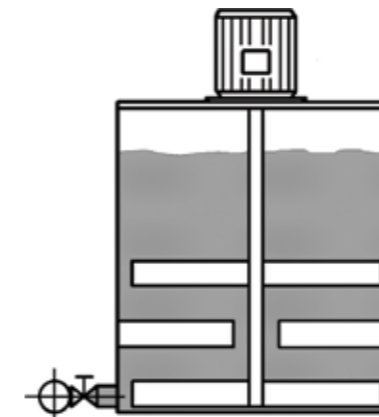
1. РЕЗЮМЕ

Отдавна се счита, че приготвянето и прилагането на строителни разтвори е по-скоро изкуство, отколкото наука. В повечето случаи се знае малко за реакцията на строителния разтвор в почвата, липсват измерителни уреди за регистриране на най-важните параметри, за да има възможност за сравнение и оценка на резултатите. С развитието на оборудването и материалите, фугирането със строителни разтвори все повече се утвърждава като ефикасен метод за третиране на почвени и скални образувания. Настоящата презентация е фокусирана върху оборудването за циментови разтвори.

2. СМЕСВАНЕ

Сместа на разтвора е един от най-важните фактори за успеха или провала на работата по циментирането. Новите материали за циментови разтвори, например ултрафините цименти, също така допринасят за подобряване на екологичното възприемане на процеса на фугиране. Тези материали обаче същевременно изискват съответното оборудване, което да позволи да се изявят оптималните им качества. По същество методите на смесване могат да бъдат разделени в две основни категории:

- Смесване чрез разбъркване
- Смесване чрез създаване на голяма сила на срязване.



Фиг. 1. Лопатков миксер
Figure 1. Paddle Mixer

Смесване чрез разбъркване

В тази категория влизат лопатковите миксери (Фиг. 1), както и непрекъснатите миксери (Фиг. 2). И при двата вида миксери водата, циментът и другите добавки се бъркат, докато те бавно се смесят. В случая силите на срязване са много малки.

CONTEMPORARY GROUTING EQUIPMENT

1. SUMMARY

Grouting was for a long time considered to be an art rather than a science. Much of that had to do with little knowledge of the reaction of the grout in the ground and the lack of measuring devices to record the most important parameters and the ability to compare and evaluate the results. With the developments in equipment and materials grouting is now more and more accepted as an efficient method for the treatment of soil and rock formations. In this presentation the view is focussed on equipment for cementitious grouts.

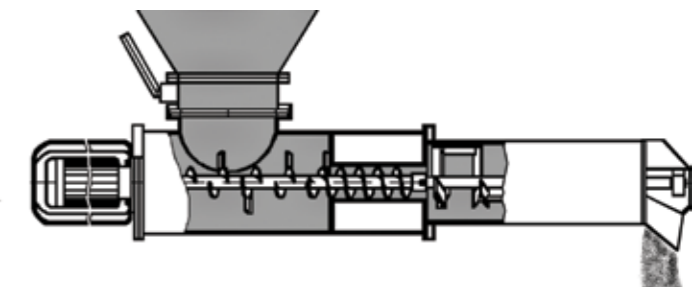
2. MIXING

The grout mix is one of the most important keys to success or failure of a grouting job. New grouting materials such as ultra-fine cements also helped to improve the environmental acceptance of the grouting process. However these materials also call for equipment that will help them to develop their optimum performance. Basically, the mixing methods can be divided into two main categories:

- Mixing by agitation
- Mixing by creating high shear

Mixing by agitation

In this category fall the paddle mixers (Fig.1) as well as the continuous mixers (Fig. 2). In both mixers water, cement and other additives are agitated until they slowly intermix. However the shearing forces are very small.

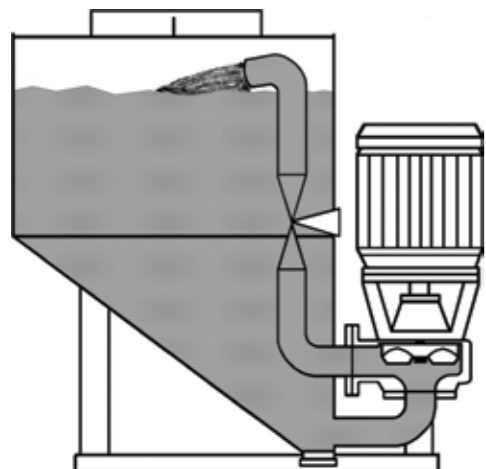


Фиг. 2. Непрекъснат миксер
Figure 2. Continuous Mixer

2.1. Смесване чрез създаване на голяма срязваща сила

При този процес на смесване се използват високоскоростни миксери, известни като колоидни смесители. Те се състоят от смесителен резервоар и смесителна/циркуляционна помпа (Фиг. 3). В тези миксери с големи сили на срязване необходимото количество вода се сипва в смесителния резервоар. След това смесителната помпа създава циркулация на течността, изтегляйки я от дъното на резервоара и изсипвайки я близо до горната му част. След това в горната част на резервоара се прибавят сухите компоненти.

В резервоара материалът се овлажнява предварително, като практически смесването се осъществява чрез помпата, която създава големи срязващи сили. Тези срязващи сили отделят частиците една от друга, което означава, че всяка частица се навлажнява поотделно, като по този начин се избягват коагулацията и бучките.



Фиг. 3А. Схема на миксер с високи срязващи сили
Figure 3A. Schematic of a high shear mixer



Фиг. 3В. Миксер HCM 300 с високи срязващи сили
Figure 3B. HCM 300 high shear mixer

Добрите миксери с високи срязващи сили трябва да имат следните характеристики:

- Смесителната помпа трябва да работи с 1500 до 2000 об./мин.
- Дебитът на смесителната помпа трябва да е достатъчен за създаване на циркулация на цялото съдържание на резервоара не по-малко от 3 пъти в минута. Налягането в смесителната помпа не е от значение.
- Смесителната помпа трябва да създава големи срязващи сили чрез механично срязване (малък допуск между бъркачката и корпуса) (Фиг. 4) или чрез хидравлично срязване (създаване на висока турбулентност в корпуса на помпата) (Фиг. 5).

Стандартните центробежни помпи не са подходящи за целта, тъй като те са предназначени за транспортиране на течности, съдържащи малко или никакви частици, с висока ефективност. Това може да се постигне само при плавен поток през помпата, но при такава помпа трудно се постига ефект на смесване. Най-подходящи са помпите от типа с вдлъбнати завихрящи витла, които създават много силна турбулентция в корпуса на помпата. Такива помпи се износват много по-малко от тези с малък допуск и не се повреждат или за-

2.1 Mixing by creating high shear

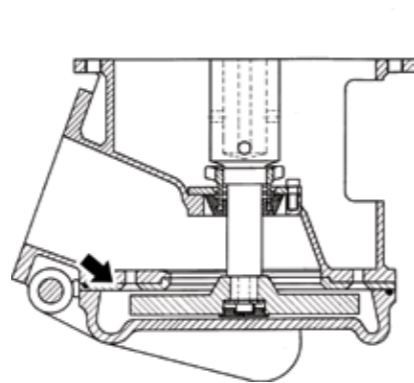
For this mixing process, high speed mixers, commonly known as colloidal mixers are used. They consist of a mixing tank and a mixing/circulation pump (Fig 3). In these high shear mixers, the proper amount of water is filled into the mixing tank. The mixing pump then circulates the liquid by drawing it in from the bottom of the

tank and discharging it near the top. The dry components are then added from the top of the tank.

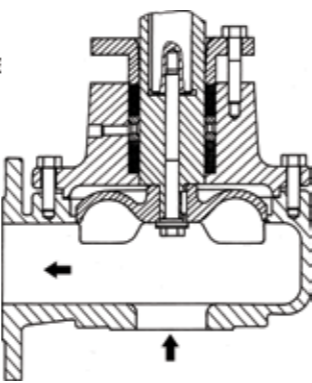
In the tank the material is pre-wetted, the actual mixing is effected by high shearing action in the pump. This shearing action separates each particle from the adjacent ones which means that each particle is individually wetted so preventing coagulations or lumps

A good high shear mixer should have the following features:

- The mixing pump should have 1500 to 2000 rpm.
- The capacity of the mixing pump should be such that the whole tank content is circulated a minimum of 3 times per minute. The pressure of the mixing pump is of little importance.
- The mixing pump should create high shear either by mechanical shear (close tolerances between impeller and casing) (Fig. 4) or by hydraulic shear (creating high turbulence in the pump housing) (Fig. 5).



Фиг. 4. Схема на ACC миксер
Figure 4. Schematic of an ACC mixer



Фиг. 5. Схема на HANY миксер
Figure 5. Schematic of a HANY mixer

Standard centrifugal pumps are not suitable for this purpose because they are designed to convey liquid with little or no particles - at high efficiency. This can only be achieved by a smooth flow through the pump but there is hardly any mixing effect from such pump. Best suitable are pumps with recessed vortex type impellers which create a very high turbulence in the pump housing. These pumps have much less wear than the types with close tolerances and do not get damaged or clogged if larger particles enter into the mixer.

пушват от по-едри частици в миксера.

Миксерите с високи срязващи сили са подходящи за приготвяне на равномерни суспензии с ниски пропорции на вода/цимент до 0,35 (в тегловно отношение). Поради голямата си повърхност ултрафиният цимент изисква доста по-висока пропорция вода/цимент в зависимост от това колко фин е материалът. Необходими са само от 30 до 60 секунди време на разбъркване след подаването на последната порция цимент. След изтичане на оптималното време на разбъркване суспензията на разтвора трябва да се прехвърли в бавно въртяща се бъркачка или в резервоар за съхранение. Тъй като миксерът с високи срязващи сили е оборудван с помпа, сместа лесно може да се прехвърли в бъркачка или резервоар за съхранение, монтирани на същото или дори на по-високо ниво.

Никой друг вид миксери не е така подходящ за разбъркване на бентонит. При време на разбъркване от 4 до 6 минути бентонитовата каша е готова до степен, за достигането на която при смесване в конвенционални смесители обикновено се изисква допълнително време за попиване от 12 до 18 часа. При суспензии на строителни разтвори с бентонит това означава, че всички компоненти могат да се смесят само по време на един-единствен процес. Следователно могат да се избегнат големите резервоари за съхранение на хидратиран бентонит. При вискозни разтвори смесването на потока на входа на смесителния резервоар се оказва по-ефективен начин от един-единствен тангенциален вход (Фиг. 6).

2.2 Смесване на едри частици в миксери с голяма срязваща сила

Миксерите с голяма сила на срязване с помпи с вдлъбнато завихрящо витло са подходящи също така и за разбъркване на пясъчни разтвори. Поради липса на малък допуск износването не е прекалено. Първокласните миксери са оборудвани с витло, изработено от изключително здрав материал, който не може да се обработва дори с инструменти от твърди сплави. Всъщност високото качество на сместа и възможната икономия на материал и на инертни добавки са много голяма компенсация за възможното по-бързо износване на оборудването. Миксерите на добро съвременен ниво могат да третират всички материали в една партида и съответно не се нуждаят от втори барабан за добавяне на пясък.

3. ПОМПИ

Почти също толкова важно като избора на миксер е и грижливото подбиране на помпата за инжектиране на строителен разтвор. Съвременните технологии дават възможност за индивидуално регулиране на налягането и дебита на разтвора в зависимост от конкретните изисквания за работа.

3.1. Единична тръба за разтвора

Гореспоменатите характеристики позволяват елиминирането на сложната и ненадеждна система с възвратна тръба. Наля-

High shear mixers are suitable to produce uniform suspensions with w/c ratios as low as 0,35 (by weight). Due to their larger surfaces, ultra-fine cements require much higher w/c ratios, depending on the fineness of the material. Only 30 to 60 seconds of mixing time is required after feeding the last portion of cement. As soon as the optimum mixing time is up the grout suspension should be transferred to a slowly revolving agitator or holding tank. Because the high shear mixer is already equipped with a pump, the mix can quickly be transferred into an agitator or holding tank installed on the same level or even higher. No other mixers are equally suitable to mix bentonite. With a mixing time of 4 to 6 minutes, a bentonite slurry is prepared to a point which normally takes an additional soaking time of 12 to 18 hours after mixing by conventional means. For grout suspensions with bentonite it means that all the components can be mixed in the same process. Consequently the large holding tanks for hydrated bentonite can be eliminated.

For viscous grouts, a mixed flow entrance into the mixing tank has proven to be more effective than a sole tangential entrance (Fig. 6).



Фиг. 6. Миксер с големи срязващи сили и смесен поток на входа.
Figure 6. High shear mixer with a mixed flow entrance.

2.2 Mixing of coarse particles in high shear mixers

High shear mixers with pumps with recessed vortex type impellers are also suitable for mixing sanded grouts. Due to the absence of close tolerances, the wear is not excessive. Top of the range mixers use impellers of an exceptionally tough material which cannot even be machined by carbide tools. However, the high quality of the mix and the possible savings on material and additives, more than compensate for possible higher wear on the equipment. State of the art mixers are capable of handling all materials in one batch and consequently do not require a second drum for the addition of sand.

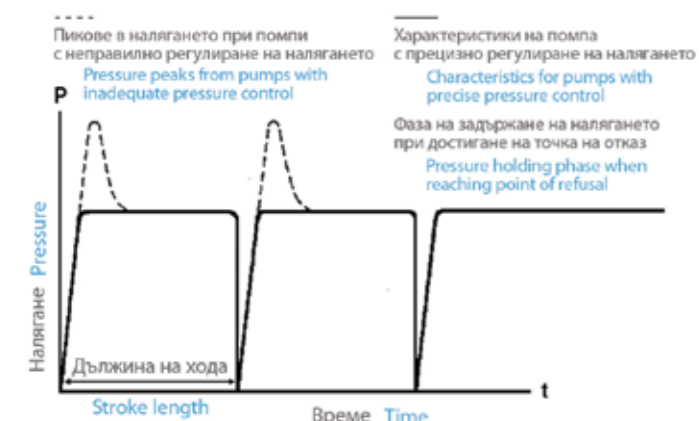
3. PUMPING

Almost equally important as the mixer is a careful selection of the grout pump. Today's technology offers to individually limit the grout pressure and flow rate according to the specific requirement of the job.

гането на разтвора в помпата се контролира автоматично и няма нужда от камера със система от клапани, нито от оператор, който да следи манометъра и съответно да включва клапаните.

3.1.1. Контрол на налягането

За да осигурява движението на разтвора по единична тръба, помпата за разтвора трябва да бъде оборудвана с необходимите контролни средства. Те са най-ефективни, ако са монтирани към предаването на помпата (от чистата страна), а не от страната на тръбата за разтвора. Спорен е въпросът за това дали разтворът да се инжектира с постоянен дебит и налягане, или да се допуснат флуктуации. Очевидно е, че не може да се допусне налягане над определения максимум (Фиг. 7). От друга страна, експлоатационният опит показва, че краткотрайни падове в налягането спомагат за придвижването на частиците на разтвора в по-тесните пукнатини (Фиг. 8). Краткотрайното намаляване на налягането позволява на частиците да се преориентират и да се адаптират към ограничените по размер отвори, докато постоянното налягане предизвиква образуване на прегради (Фиг. 9) и напорна филтрация. Поради това е за предпочитане да се използват бутални или плунжерни помпи, тъй като те са снабдени с прецизни клапани за регулиране на налягането. Тези помпи работят с единична тръба за разтвора и определеното максимално налягане може да се поддържа постоянно в продължение на всякакъв период от време, за да се извърши запълване на цепнатините.



Фиг. 7. Характеристики на налягането на изхода при бутални и плунжерни помпи
Figure 7. Output pressure characteristics of piston and plunger pumps.

3.1.2. Регулиране на дебита

При меки почви големият дебит може да предизвика отмиване и образуване на големи кухини. В такива случаи голямо количество разтвор се инжектира в нежелателни места и по такъв начин някои нужни места остават непокрити. Факторът, който трябва да се има пред вид, е, че колкото по-голяма е скоростта на подаване на разтвора, толкова по-голямо е триенето между суспензията на разтвора и почвата. Такова триене изисква по-високо налягане за пренасянето на течността, което също може да е нежелателно. Така че инжектирането

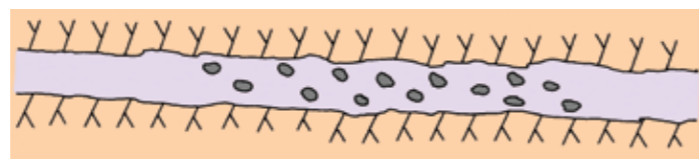
3.1 Single line grouting

The above mentioned features make it possible to eliminate the complicated and unreliable system of return lines. The pressure is automatically controlled by the grout pump and does not require a header with a valve system and an operator to watch the pressure gauge and operate the valves accordingly.

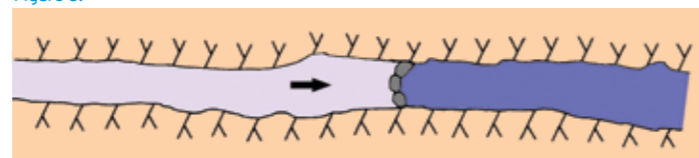
3.1.1 Pressure control

In order to safely grout through a single line, the grout pump must be equipped with the necessary control features. They are most efficient if integrated in the pump drive (clean side) and not in the grout line.

A controversial point is whether the grout should be injected at a constant flow and pressure or whether fluctuations can be tolerated. It is very obvious that any pressure exceeding the specified maximum pressure cannot be tolerated (Fig. 7). On the other hand, experience on the job has shown that short pressure drops help to move the grout particles further into finer fissures (Fig. 8). The short relaxation in pressure allows the particles to reorient and adapt to the restraints size of the voids whereas constant pressure will cause bridging (Fig. 9) and initiate pressure filtration. It is therefore advantageous to use plunger or piston pumps as long as they are equipped with precise pressure control valves. These pumps allow for single line grouting and a specified maximum pressure can be held constant over any length of time to ensure complete filling of voids.



Фиг. 8. Figure 8.



Фиг. 9. Figure 9.

3.1.2 Flow control

A high flow rate in soft ground can lead to the wash out of larger voids. In this case large quantities of grout are pumped into areas where it is not desired, thus possibly leaving the desired areas ungrouted. A factor to be considered is that the higher the velocity of the grout, the higher the friction of the grout suspension in the ground will be. This friction calls for higher pressure to convey the liquid which again may not be desirable. An injection at a moderate flow rate therefore stands a much better chance of producing good results.

на разтвор с умерен дебит представлява по-добра възможност за постигане на добри резултати.

3.2. Пригодност на помпите за строителен разтвор

На пазара се предлага широк спектър от помпи, но само някои притежават всички необходими показатели, за да бъде инжектирането на разтвора един надежден и икономичен процес. Трябва да се обърне внимание на следното:

- Максималното налягане на разтвора трябва да може да се контролира от помпата. Всички регулатори да се намират от страната на предаването (хидравлично), а не от страната на подаване на разтвора, тъй като клапаните не функционират надеждно. Контролните клапани трябва да са с такава конструкция, че едно предварително зададено максимално налягане да може да се поддържа за всякакъв период от време.
- Пълно контролиране на изходящия поток.
- Буталните и плунжерните помпи с директно предаване не позволяват контрол на налягането и дебита, затова не са подходящи за работа със строителни разтвори.
- Абразивните строителни разтвори изискват помпена система, устойчива на износване (например плунжерна).
- Лесно почистване на съоръженията.
- Да са от модел, който не се задръства, клапаните да са с характеристики, позволяващи работа с вискозни и пясъчни разтвори.

3.2.1. Помпи с ексцентрично витло

Помпите с ексцентрично витло (Фиг. 10), наричани също така спирални винтови помпи, червячни помпи, Моно или Моyno помпи, имат предимството, че първоначалната инвестиция е относително малка. Разходите за поддръжка обаче са големи поради износването на статора и ротора. Максималното налягане при тези помпи не е много високо, което ограничава обхвата на употребата им. При повечето модели налягането и дебитът не могат да се регулират, което означава, че е необходима система от клапани в точката на инжектиране и възвратна тръба към резервоара за съхранение. Това е трудоемко и безопасността зависи изцяло от оператора на клапана, на което понякога инженерът не може да повлияе. Този вид помпи са широко разпространени в Северна Америка.

Заклучение

- Ниска инвестиция
- Високи разходи за поддръжка и труд
- Ограничено приложение (налягане).

3.2.2. Бутални помпи

Буталните помпи най-често са двойно действащи възвратни бутални помпи (Фиг. 11). Първоначалната инвестиция е по-

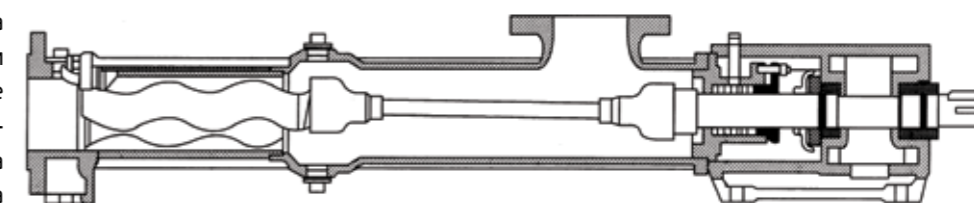
3.2 Suitability of grout pumps

The market offers a wide variety of pumps but only a few comprise all those features to make grouting a reliable and economic process. Attention should be paid to the following points:

- The maximum grout pressure should be adjustable on the pump. All the controls must be on the drive side (hydraulic) and not on the grout side as valves will not function reliably. The control valves should be of such design that a pre-adjusted maximum pressure is held over any period of time..
- Fully adjustable output.
- Piston or plunger pumps with direct drives do not have the ability to control pressure and flow and are therefore not suitable for grouting.
- Abrasive grouts call for a low wear pump system (e.g. plunger).
- Easy cleaning facilities.
- Non-clog type, full area valves to handle viscous or sanded grouts.

3.2.1 Progressive cavity pumps

Progressive cavity pumps (Fig. 10), also called helical screw pump, worm pump, Mono or Moyno pump, have the advantage that the initial investment is relatively small. However the maintenance costs are high due to the wear on stator and rotor. The maximum pressure of these pumps is not very high which restricts their use. Pressure and output are not adjustable for most models which means that a valve system at the point of injection with return line to the holding tank is required. This is labor intensive and the safety fully depends on that valve operator and can at times not be influenced by the engineer. This pump system is still widely used in North America.



Фиг. 10. Схема на помпа с ексцентрично витло
Figure 10. Schematic view of a progressive cavity pump

Conclusion

- Low investment
- High maintenance and labor costs
- Limited application (pressure).

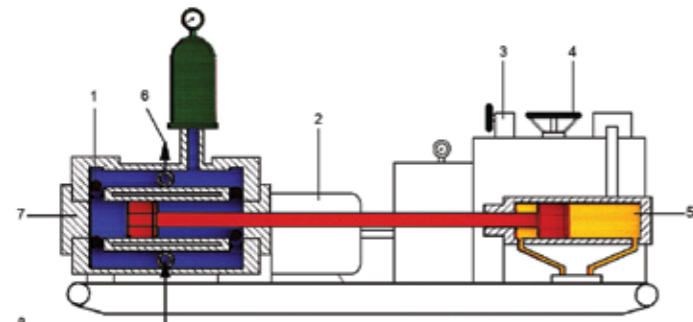
3.2.2 Piston pumps

Piston pumps are mostly double acting reciprocating pumps (Fig. 11). The initial investment is higher than for progressive cavity pumps. The pressure is such that all requirements can be covered. Pressure

голяма, отколкото при помпите с ексцентрично витло. Налягането им е такова, че удовлетворява всички изисквания. При някои от помпите с хидравлично или пневматично задвижване може да се регулират налягането и дебитът. Могат да се изпомпват пясъчни разтвори с дребен размер на частиците. Поради плътното прилепване между уплътнението на буталото и обшивката на цилиндъра обаче при работа с абразивни материали износването е бързо. Друг недостатък е това, че гравитачните клапани са склонни да се задръстват поради малката скорост на разтвора при помпане на вискозни смеси или пясъчен разтвор за по-продължително време при малък дебит.

Заклучение

- Високи инвестиции
- Ниски разходи за труд и поддръжка
- Пълен обхват на налягането
- Склонност към задръстване.



Фиг. 11. Схема на бутална помпа
Figure 11. Schematic view of a piston pump

3.2.3. Плунжерни помпи

Плунжерните помпи представляват най-универсалната група помпи. Те се предлагат като модел с единично действие (Фиг. 12), възвратни с двойно действие (Фиг. 13), както и с двойно действие една до друга. Помпите с единично действие и тези с двойно действие една до друга се предлагат във варианти като хоризонтални и вертикални помпи. Първоначалните разходи са приблизително същите, както при буталните помпи. Обхватите на налягането и дебита на тези съоръжения удовлетворяват всички изисквания. Някои марки предлагат прецизно регулиране на налягането и дебита чрез хидравличната или пневматичната задвижваща система.

Големите предимства на плунжерните помпи са следните:

- Извънредно слабо износване
- Някои марки предлагат плунжери с различни размери за една и съща помпа. Те могат да се сменят само за няколко минути, като се избягва необходимостта да се използват помпи с различни размери.

Това осигурява широк обхват на приложение на помпата при малки разходи.

Някои от плунжерните помпи, такива с единично действие или двойно действащи една до друга, имат бърз ход на зас-

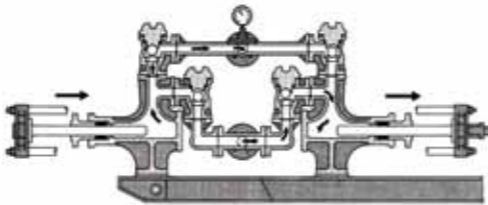
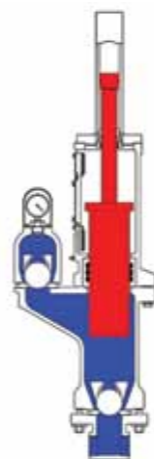
and flow control is available on some hydraulically or pneumatically driven pumps. Sanded grouts of smaller particle size can be pumped. However, due to the tight fit between piston seal and cylinder lining, the wear is increased when grouting abrasive material. Another disadvantage is, that the gravity type valves tend to clog due to the low velocity of the grout when pumping viscous mixes or sanded grout over a longer period of time at low output.

Conclusion

- Higher investment
- Lower maintenance and labor costs
- Full pressure range
- Tendency to clog.

3.2.3 Plunger pumps

Plunger pumps are the most versatile grout pumps and are available single acting (Fig. 12), double acting reciprocating (Fig. 13) as well as double acting side by side. The single acting as well as the double acting side by side versions are available as horizontal or vertical pumps. The initial costs are about the same as for piston pumps. The pressure and flow ranges of these units cover all grouting requirements. Some brands include precise pressure and flow control features on the hydraulic or pneumatic drive system.



Фиг. 13. Схема на двойно действаща възвратна плунжерна помпа
Figure 13. Schematic view of a double acting, reciprocating plunger pump.

Фиг. 12. Схема на единично действаща плунжерна помпа
Figure 12. Schematic view of a single acting plunger pump.

The great advantages of the plunger pumps are:

- Extremely low wear
- Some brands offer different plunger sizes for the same pump. These can be changed in minutes and eliminate the necessity of having various sizes of pumps. This gives the pump a wide range of application at a low power consumption.

Some plunger pumps, single acting or double acting side by side, offer a fast suction stroke which creates a high velocity of the grout in the suction valve. This high velocity flushes the suction valve on every stroke thus eliminating clogging or floatation of the valves when injecting at high pressures or low outputs. Heavily sanded grouts with particle sizes up to 8 mm can easily be pumped with these pumps without the risk of clogging.

мукване, което създава висока скорост на разтвора в засмукващия клапан. Тази висока скорост промива засмукващия клапан при всеки ход, като предотвратява задръстването или плаването на клапаните при инжектиране под голямо налягане и нисък дебит. С такива помпи гъстите пясъчни разтвори с размер на частиците до 8 мм се помпат лесно и без риск от задръстване.

Заклучение

- Инвестиция, подобна на тази за буталните помпи
- Ниски разходи за поддръжка
- Най-универсалната възможна помпа
- Предлагат се вертикални помпи, икономисващи място
- Предлагат се такива с бърз засмукващ ход, които не се задръстват.

3.3. Изпомпване на дълги разстояния

При съвременните технологии на изпомпване разтворът може да се пренася на голямо разстояние. Това може да бъде голямо предимство в случаи, когато не е възможно да се инсталира смесителна инсталация близо до точката на инжектиране, например в тесни тунели или там, където логистиката не позволява транспортиране с превозни средства на готовия разбъркан разтвор. Грижливото изчисление на загубите от триене в точката на полагане на конкретния вид разтвор и капацитетът представляват отправна точка за избор на помпата и за оразмеряване на тръбопровода за пренасяне на разтвора. Правилото „Колкото е по-голям диаметърът на тръбопровода, толкова по-малки са загубите от триене“ не важи, когато се отнася за транспортиране на разтвор. Трябва да се поддържа минимална скорост от 0.8 до 2 м/сек, за да се избегне утаяване.

В Бостън успешно беше осъществено изпомпване на разтвор със съотношение вода/цимент 0.7 в тегловни единици на разстояние 3,775 м, по тръба с диаметър 1" и приблизителен дебит 50 л/мин. Максималното регистрирано налягане беше 90 бара. Това стана възможно при интензивно сътрудничество между изпълнителя, доставчика на добавките и производителя на оборудването.

В Париж разтвор за обратно засипване беше изпомпван на разстояние от 1300 м до портала на Тунело-пробивна машина (ТВМ) LOVAT. Беше извършено комплексно тестване на повърхността преди навлизането под земята, за да се проверят направените преценки и изчисления и да се експериментира с различни добавки за стабилизиране на разтвора.

За разширението на хидроенергийна система в Швейцария разтворът за обратно засипване беше транспортиран по тръба с диаметър 2" на разстояние 440 м при денивелация 290 м. Ускоряващият реагент беше изпомпван успоредно и инжектиран през специална дюза в пояса на готови сегменти.

Conclusion

- Investment about the same as piston pumps
- Lowest maintenance costs
- Most versatile pump available
- Space saving vertical pumps available
- Non - clog type with fast suction stroke available

3.3 Long distance pumping

With today's pumping technology, grout can be moved over long distances. This may be of great advantage wherever it is not possible to install mixing facilities close to the point of injection, e.g. in narrow tunnels or where logistics does not allow mixed grout or mortar to be moved in cars. A careful calculation of the friction losses to the point of placement for a specific grout mix and capacity forms the basis for the selection of the pump and for the dimensioning of the grout line. The rule "The larger the diameter of the line, the smaller the friction loss" is not applicable when moving grout. A minimum velocity of 0.8 to 2 m/s should be maintained to prevent sedimentation.

In Boston, a grout with a w/c ratio of 0.7 by weight with has been successfully pumped over a distance of 3,775 m through a 1" pipe at an average flow rate of 50 l/min. The maximum pressure recorded was 90 bar. This achievement was possible through an intensive cooperation between the contractor, the additive supplier and the equipment manufacturer.



Инсталация MCM 2000/726 за помпане на големи разстояния към междуостровния тунел в Бостън, Масачузетс
MCM 2000/726 plant for long distance pumping at the Inter-Island tunnel in Boston MA.

In Paris, a backfill mortar was pumped over a distance of 1,300 m to the gantry of a LOVAT TBM. A full scale test on surface has been performed prior to going underground to verify the assumptions and calculations made and to experiment with different additives for the stabilization of the mortar.

3.3.1. Изисквания към качеството на разтвора при изпомпване на дълги разстояния

За пренасяне на строителен разтвор на голямо разстояние той трябва да бъде модифициран така, че да се избегнат утаяването и разслояването под високо налягане. Съществуват различни добавки, които подобряват способността за изпомпване и повишават стабилността на разтвора. Препоръчително е да се консултирате предварително с доставчика на съответните добавки, за да вземете най-икономично решение, както и да направите тестове, преди да започнете работа.

4. ЗАПИС

За да се гарантират добри резултати при работа със строителните разтвори, е задължително да се спазва програма за контрол на качеството. Тази програма включва предварително тестване на разтвора, както и непрекъснато записване на по-важна информация за процеса на инжектиране.

Тестовите трябва да се провеждат така, за да се прецени дали резултатите от тестовите са посочени ясно, като трябва да включват например тестове за пропускливост, които дават възможност да се сравнят резултатите преди и след полагане на разтвора. Много е важно тестовите да се провеждат винаги точно по същия начин, при едно и също налягане и т.н., за да е меродавно сравнението. Съвременното оборудване осигурява възможност за прецизно водене на записи за налягането и дебита.

За предпочитане е дебитът да се записва с индуктивен дебитомер, който измерва дебита с електронно устройство, не пречи на потока и няма подвижни части. Впрочем изборът на конкретния вид и марка на дебитомера трябва да се направи от специалист, тъй като е важно този измервателен уред да е точен не само в рамките на целия обхват, но и в диапазона от 1 до 5 л/мин. Безспорно вторият критерий трябва да бъде способността да се реагира на бързи промени в скоростта на придвижване на разтвора. Това е особено важно при използване на бутални и плунжерни помпи. Съставът на разтвора не влияе на резултатите от измерването, ако е с минимална проводимост прилб. 5 μS. Повечето химически добавки, които обикновено се използват в строителните разтвори, са съвместими с тези дебитомери. Новите постижения дават възможност при буталните и плунжерните помпи да се записват стойността на дебита и количеството за един ход. Величината на изтласкването лесно може да се калибрира с точност до 5%. Основните предимства на записване на един ход са простотата на системата и ниските разходи, свързани с индуктивните дебитомери.

Налягането трябва да се измерва в близост до точката на инжектиране, за да може да се регистрира действителното налягане без загубите от триене. Датчикът за налягане трябва да се отдели от разтвора посредством мембрана, за да се предпази чувствителният уред. Съществуват такива датчици за налягане, които могат да измерят налягането в отворите на запечатката. Работата с такива датчици обаче, които са свързани с кабели с отворите, изисква голям опит и внимание от страна на оператора. При тестване на пропускливостта, което

For an extension of a hydro-power scheme in Switzerland, back-fill mortar was pumped through a 2" pipe over a distance of 440 m against a head of 290 m. Accelerator was pumped parallel and injected through a special nozzle at the collar of the pre-fabricated segments.

3.3.1 Grout quality requirement for long distance pumping

To move grout over a long distance, it must be modified in a way to prevent sedimentation and separation under high pressure. There are numerous additives which enhance the pumpability and increase the stability of grout. It is recommended to consult your additive supplier at an early stage to work out the best and most economic solution and to possibly run tests prior to starting the work.

4. RECORDING

To assure good results in grouting it is inevitable to follow a quality control program. Such a program consists of preliminary grouting tests as well as on a continuous record of the important data during the injection process.

The tests to be carried out to assess the results of the injections are usually clearly specified and include e.g. Permeability Tests which allow a comparison of results before and after grouting. It is important that these tests are performed exactly the same way, with the same pressure etc. to allow proper comparison. Today's state of the art equipment allows precise recording of pressure and flow.

The flow is preferably recorded by an inductive flow meter which measures the flow electronically and has an unobstructed passage with no moving parts. However the selection of the proper type and brand of flow meter should be left to the specialist as it is important that the meter is accurate not only in the full scale range but also in the range of 1 to 5 l/min. The second criteria is certainly the ability to cope with quick velocity changes of the grout. This is especially important when piston or plunger pumps are being used.. The composition of the grout has no influence on the measuring results as long as it has a minimum conductivity of approx. 5 μS. Most chemical additives commonly used in grouting are compatible with these flow meters. Recent developments have made it possible to record flow rates and quantities by stroke impulses from piston or plunger pumps. The value of an impulse can be easily calibrated to within 5%. Prime advantages of stroke recording are the simplicity of the system and its low costs relative to inductive flow meters.

The pressure should be measured close to the point of injection to have the actual pressure recorded without any friction loss. The pressure transducers should be separated from the grout by a diaphragm to protect the sensitive instrument. There are pressure transducers available to measure the grout pressure in the hole at the packer. However the handling of such transducers with cables running down the hole require a lot of experience and care from the grouting crew. For permeability tests, which are usually carried out by an experienced engineer, the "down the hole" pressure recording method is more widely applied.

се прави обикновено от опитен техник, методът за регистриране на налягането „в отворите“ намира широко приложение.

4.1. Обикновен уред за отчитане на налягането и дебита

Съвременните обикновени полуавтоматични уреди за отчитане на налягането и дебита по принцип включват датчик за налягане, индуктивен дебитомер, електронна карта за запис и зануляващ се брояч за цялото количество. Общото количество и други допълнителни параметри, например датата, часът, номер на инжектирания отвор, етапът, проектът за сместа и т.н., трябва да се отбележат на ръка и да се приложат към диаграмата.

4.2. Уред за отчитане на налягането и дебита с обработка на данните

Вече е възможно да се отчитат налягането и дебитът в 6 или повече тръбопровода за разтвор поотделно. Сигналите от дебитомерите и/или тласъкът на буталото при бутални и

плунжерни помпи могат да се обработват от такива уреди. Величината на тласъка може да се калибрира поотделно за всяка една от помпите. Отчетите за всяка партида разтвор (Фиг. 21), както и обобщените резултати (Фиг. 22) могат да се разпечатат.



Фиг. 20. Уред HFR 006 за отчитане на налягането и дебита на 6 тръбопровода за разтвор
Figure 20. HFR 006 Pressure and flow recorder for 6 grout lines.



Фиг. 21. Разпечатване на отделните партиди инжектиране на разтвор
Figure 21. Print-out of individual grouting sequences.



Фиг. 22. Разпечатване на обобщени данни за инжектирането на разтвора
Figure 22. Print-out of grouting summary.

4.3. Управление на помпата чрез контрол от отчитащите уреди

Най-усъвършенстваните уреди позволяват и задаване на параметрите, например максималното количество, максималното налягане и минималния дебит за всяка отделна помпа.

4.1 Simple pressure and flow recorder

Today's simple, semi-automatic pressure and flow recorders commonly consist of a pressure transducer, an inductive flow meter, a chart recorder and a re-settable counter for total quantities. The total quantity and other additional parameters such as date, time, grout hole no., stage, mix design etc. have to be recorded manually and attached to the graphic chart.



Фиг. 19. Уред HIR 001 за отчитане на налягането и дебита
Figure 19. HIR 001 Pressure and flow recorder

4.2 Pressure and flow recorder with data processing

It is now possible to record pressure and flow of 6 or more grout lines separately. Signals from flow meters and/or stroke impulses from plunger or piston pumps are processed by this recorder. The value of the impulses can be separately calibrated for each pump.

Records for each grouting sequence (Fig. 21) as well as summaries (Fig. 22) can be printed out.

4.3 Pump control governed by recorders

The more sophisticated recorders also allow the setting of parameters such as maximum quantity, maximum pressure and minimum flow rate for each grout pump. Whenever one of the preset parameters is reached, the pumps will automatically be shut down. The automatic pump control is especially advantageous when running several grout pumps parallel. The safety is considerably increased and it takes a lot of pressure off the operator, not having to permanently observe several pumps simultaneously.

При достигане на зададената стойност на някой от параметрите помпата се изключва автоматично. Автоматичният контрол на помпата е особено удобен при паралелна работа с няколко помпи. Безопасността нараства значително и това спестява много усилия на оператора, който не трябва непрекъснато да следи всички помпи едновременно.

5. АВТОМАТИЧНИ ИНСТАЛАЦИИ ЗА СТРОИТЕЛНИ РАЗТВОРИ

При съвременните технологии има възможност инсталациите да се монтират в контейнери, които осигуряват максимална мобилност и се нуждаят от минимален обслужващ персонал. Напълно автоматизираните инсталации за строителни разтвори за фугиране и мембранни стени, които имат производителност до 50 м³/час, произвеждат бентонит от най-високо качество или суспензия за облицовка на стени (Фиг. 23).



Фиг. 23. Напълно автоматизирана смесителна инсталация за производство на суспензия за мембранни стени. Напацитет: 50 м³/час
Figure 23. Fully automated mixing plant for slurry wall suspension. Capacity: 50 m³/hr

Инсталация за строителен разтвор, поместена в контейнер, с автоматизирано смесване и две помпи и пълно отчитане, за дълбоко смесване, произвеждаща повече от 20 м³/час.



Фиг. 25. Инсталация за смесване на почви за проект на магистрала в Банкок, Тайланд
Figure 25. Soil mixing plant for Highway project in Bangkok, Thailand.

Платформи с инсталации в контейнери с до 6 помпи за консолидация и изолиране против инфилтрация. Процесът на смесване е напълно автоматизиран и всеки отделен тръбопровод за разтвор се следи от уреда за автоматичен контрол на помпата.

5. AUTOMATED GROUT PLANTS

With modern technology, plants can be built into containers which offer a maximum of mobility and a minimum of operating personnel. Fully automated mixing plants for slurry or diaphragm walls with an output of up to 50 m³/hr are responsible for the supply of steady top quality bentonite or slurry wall suspension (Fig 23).

Containerized grout plants with automated mixing and two pumps and full recording for deep mixing with an output of up to 20 m³/hr or more.



Фиг. 24. Инсталация за смесване на почви за приготвяне на разтвор за две сондажни устройства
Figure 24. Plant for soil mixing for the supply of grout for two drill rigs.



Фиг. 26. Колона от смесена почва
Figure 26. Mixed soil column.

Platforms or containerized plants with up to 6 grout pumps for consolidation and permeation grouting. The mixing process is fully automated and each grout line is monitored with automatic pump control feature of the recorder.

6. SUMMARY

The state of the art in grouting technology not only demands more expertise of consulting engineers and contractors but also equipment that can meet these requirements. The choice of the suitable mixing, pumping and recording systems plays an important part in the successful execution of a grouting project. In the past few years major progress has been achieved in the develop-



Фиг. 27. Напълно автоматизирана инсталация за строителен разтвор, поместена в ISO контейнер 20' с претегляне на партидата, 4 помпи и пълно отчитане
Figure 27. Fully automated Grout Plant in 20' ISO Container with weigh-batching, 4 grout pumps and full monitoring.

6. ОБОБЩЕНИЕ

Модерните технологии за строителни разтвори изискват не само повече опит от страна на инженерите консултанти и изпълнителите, но също така и съответното оборудване, което да задоволи тези изисквания. Изборът на подходящи системи за смесване, изпомпване и регистриране на параметрите е важна част от успешното изпълнение на проекта за инжектиране. През последните години беше постигнат голям напредък в разработването на нови и по-добри материали за строителни разтвори, които са по-безвредни за околната среда. Тези материали обаче изискват оборудване, което да съответства на новите технологии за инжектиране.

От съществено значение са миксерите, в които се разбъркват материалите за разтвора така, че да достигнат оптималните си характеристики. Например няма смисъл да се смесва ултрафин цимент в лопатков или непрекъснат миксер, тъй като хидратацията на циментовите частици в тези миксери не е достатъчна. За такъв материал, както и за разтвори на базата на обикновен Портланд цимент, трябва да се използва миксер с големи срязващи усилия (колоидален миксер), за да се гарантира пълна хидратация на всички частици и да се избегне образуване на бучки от сух цимент. В такива миксери се произвеждат хомогенни и стабилни суспензии, които не се утаяват лесно и които освобождават излишната вода, като тя отива в почвата, вместо да се разтварят в нея.

Също толкова важни са помпите за разтвори, които трябва да могат да изпомпват всякакви разтвори, от редки суспензии до доста вискозни и пясъчни разтвори, при точно зададени стойности на максималното налягане и дебита. Предлагат се различни помпени системи, всяка от които има предимства и недостатъци. Най-важно обаче е да се избере система, която да задоволява нуждата от прецизен контрол на налягането и дебита.

Друг важен фактор е записът на данните за проекта за инжектиране, което е абсолютно необходимо при анализа на успеха или провала на даден метод. Възможността да се разгледат записите за два сравнявани проекта е неопределима. Записът на данните може да се води на ръка или с прибори, които варират от обикновени устройства за отчитане на налягането до напълно компютризиран бази данни за всички важни параметри.

ment of new and better grouting materials that are more compatible with the environment. These materials however, require equipment which is adapted to the new grouting technologies. Of significant importance are the mixers which have to prepare the grouting materials in such a way to reach their optimum characteristics. E.g. it does not make sense to mix ultra-fine cement in a paddle or continuous mixer as the resulting hydration of the cement particles in such mixers is insufficient. For these materials as well as for ordinary Portland Cement based grouts, high-shear mixers (colloidal mixers) should be used to assure full hydration of all particles and to prevent lumps of dry cement. In these mixers, homogenous and stable suspensions can be produced which do not tend to settle out of suspension and which displace free water in ground rather than getting diluted by it.

Equally important are the grout pumps which must be capable of pumping different grouts, from thin suspensions to fairly viscous and sanded grouts, at exactly predefined maximum pressure and flow rate. There are a variety of pump systems available, each having its advantages and disadvantages. Important however is the choice of a system which complies with the demand for precise pressure and flow control.

A further important factor is the recording of data about a grouting project which are essential in the analysis of success or failure of a specific method. The ability to look into records of comparable projects are invaluable. The data collection can be done manually or with equipment which ranges from simple pressure recorders to fully computerized data logging of all important parameters.

Литература: / References:

Хълсби, А. С. (1990), Строителство и проектиране на циментов разтвор, Ню Йорк, Джон Уили и синове.
Houlsby, A.C. (1990), "Construction and design of Cement Grouting", New York, John, Wiley & Sons.

Уидман, Р. ISRM (1996), Предписания за инжектиране в скали, Елсвър сайънс ООД.

Кутцнер, С. (1991), Инжектиране в почви за строителството, Щутгарт Енке Мюлер, Р. (1993), Уреди за модерните технологии за инжектиране. Протоколи от международна конференция по инжектиране в скали и бетон, Залцбург, Австрия, 11-12 октомври, стр. 185-193.

Widmann R., ISRM (1996), "Commission on Rock Grouting", Elsevier Science Ltd. Kutzner, C. (1991), "Injektionen im Baugrund," Stuttgart Enke Müller R. (1993), "Geräte für die moderne Injektionstechnik", Proceedings of the International Conference on Grouting in Rock and Concrete, Salzburg, Austria, October 11-12. Pp. 185-193.

Клуг, Д. Р., Гаус С. и Пейдж Т. Л. (1999), Инженерна система за инжектиране, разработена за междуостровния тунел в Бостън, Масачузетс. Протоколи от конференцията „Бърза направа на изкопи и тунелно строителство“, Орландо, Флорида, 21-23 юни, стр. 439-454.

Klug D. R., Gause C. and Page T. L. (1999), "An engineered Grouting System developed for the Inter-Island Tunnel Boston, Massachusetts", Proceedings of the Rapid Excavation and Tunneling Conference, Orlando, Florida, June 21-23, pp. 439-454