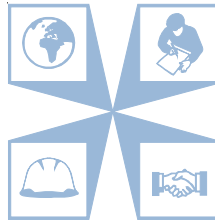
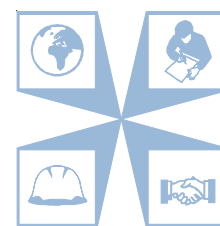


ITALIAN EXPERIENCE OF JET-GROUTING USING (RUSSIAN VERSION PDF)

***Olga Yurkevich,
Student of the Moscow State University of Railway Engineering,
Moscow, Russian Federation***



ИТАЛЬЯНСКИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ



О.П. Юркевич,
студентка МГУПС (МИИТ)
Москва, Россия

60-летнему юбилею фирмы
«ELSE» S.p.a. посвящается

Многолетний и разнообразный опыт использования струйной цементации грунтов в самых различных областях строительства, накопленный фирмой «ELSE» S.p.a. (Милан), хорошо известен далеко за пределами Италии. Предлагаемая Вашему вниманию статья основывается на материалах, собранных автором во время стажировки в этой фирме в июле 2003 г.

ВВЕДЕНИЕ

Струйная цементация («jet-grouting») базируется на использовании энергии высокоскоростной струи жидкости для обработки природных грунтов с целями:

- уменьшения водопроницаемости и увеличения прочности несвязанных песчаных грунтов;
- повышения сопротивления сдвигу и снижения деформативности пылевато-глинистых грунтов;
- замещения органогенных и техногенных грунтов, закрепление которых не позволяет достичь требуемой прочности, проницаемости и долговечности.

В зависимости от конкретных целей обработки грунтов применяется однокомпонентная, двухкомпонентная и трехкомпонентная струйные цементации. Кроме того, могут быть использованы такие специальные приемы, как частичная предварительная промывка обрабатываемых грунтов («pre-washing») или полное их замещение после гидроразмыва и выноса на поверхность цементным раствором или цементным раствором с добавлением мраморной пудры.

Режим предварительного размыва позволяет при обработке повысить соотношение цемент/грунт и, следовательно, прочность закрепленных грунтов, что особенно актуально в глинистых грунтах.

Использование цементно-песчаных растворов для замещения грунтов недопустимо в виду высокой абразивности зерен кварца (быстро изнашиваются и выходят из строя раствороподающие шланги высокого давления).

В последние годы для повышения устойчивости и водонепроницаемости грунтовых плотин и дамб, а также насыпей раз-

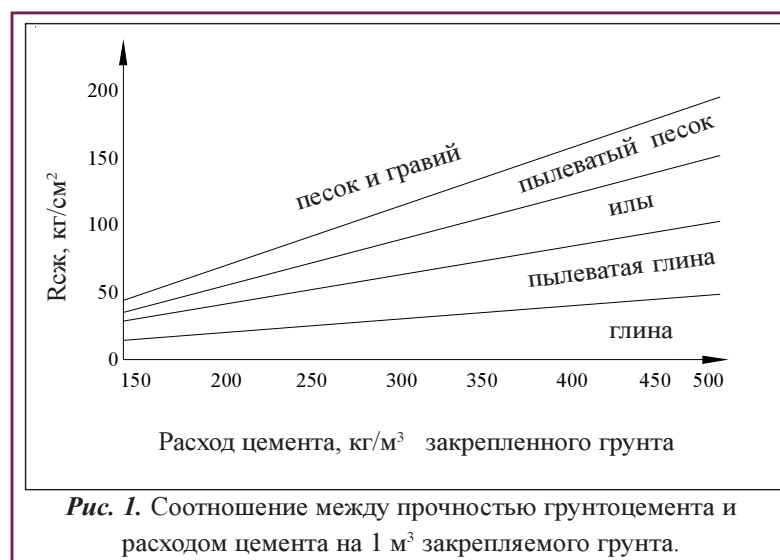


Рис. 1. Соотношение между прочностью грунтоцемента и расходом цемента на 1 м³ закрепляемого грунта.

личного назначения, все чаще используется, так называемая, ламинарная струйная цементация – формирование вертикальных и наклонных панелей из обработанного грунта шириной 2,5-4,5 м и толщиной 5-10 см.

Крайне редко используется супер струйная цементация с диаметрами колонн обработанного грунта до 5 м.

Прочность грунтоцемента или материала, получаемого в результате обработки (струйной цементации) грунта зависит непосредственно как от особенностей грунта, так и от расхода цемента на его закрепление. Упрощенные зависимости между прочностью грунтоцемента и расходом цемента на 1 м³ закрепляемых основных видов грунтов приведены на рис. 1.

Однокомпонентная струйная цементация (рис. 2) характеризуется размывом, перемешиванием и закреплением грунтов исключительно струей цементного раствора. В таком случае возможно достижение диаметра колонны обработанного грунта в пределах 0,4-0,8 м. Как правило, цементный раствор имеет водоцементное отношение В/Ц=0,8-1,0.

Основные параметры однокомпонентной струйной цементации следующие:

- давление подачи раствора – 35-45 МПа;
- расход раствора – 50-150 л/мин;
- скорость подъема монитора – 25-50 см/мин;
- частота вращения монитора – 10-30 об/мин;
- удельная энергия – 6-10 МДж/м.

Двухкомпонентная струйная цементация (рис.3, 4) характеризуется размывом, перемешиванием и закреплением грунтов с помощью двух струй.

Различают, так называемые, воздушную систему (рис. 3), когда струя цементного раствора помещается внутри струи сжатого воздуха и за счет этого энергия размыва существенно возрастает, а также водную систему (рис. 4), при которой с помощью отдельной струи воды при обработке грунтов удается использовать режим предварительного размыва. При двухкомпонентной струйной цементации возможно достижение диаметра колонны обработанного грунта в пределах 0,8-1,8 м. Как правило, используется цементный раствор

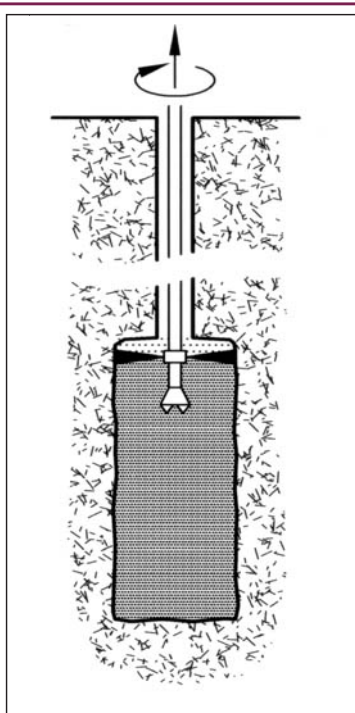


Рис. 2. Однокомпонентная струйная цементация. Схема.

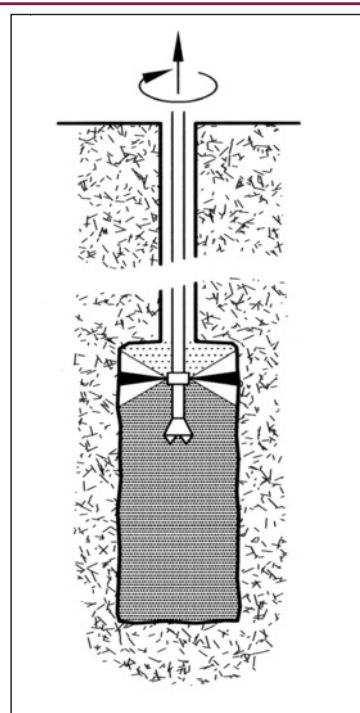


Рис. 3. Двухкомпонентная струйная цементация (воздушная система). Схема.

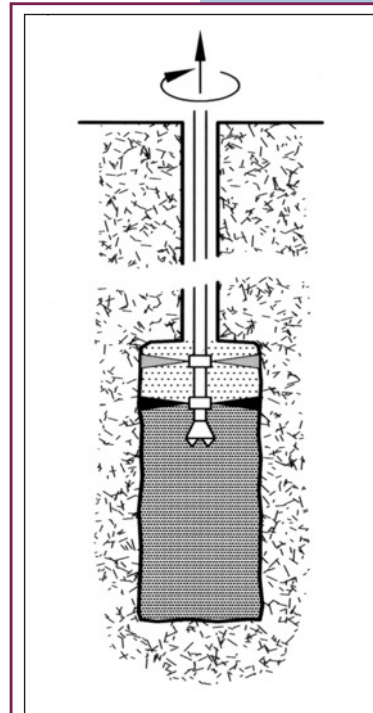


Рис. 4 Двухкомпонентная струйная цементация (водная система). Схема.

при водоцементном отношении $V/C=0,8-1,0$, а при выполнении противофильтрационных завес дополнительно в раствор добавляется бентонитовый порошок в пределах 2% от массы использовавшегося цемента.

Основные параметры двухкомпонентной струйной цементации (воздушная система) следующие:

- давление подачи раствора – 35-45 МПа;
- расход раствора – 100-180 л/мин;
- давление подачи воздуха – 0,7-1,7 МПа;
- расход воздуха – 8-12 м³/мин;
- скорость подъема монитора – 15-25 см/мин;
- частота вращения монитора – 7-15 об/мин;
- удельная энергия – 35-50 МДж/м.

Основные параметры двухкомпонентной струйной цементации (водная система) следующие:

- давление подачи раствора – 5-8 МПа;
- расход раствора – 50-100 л/мин;
- давление подачи воды – 40-60 МПа;
- расход воды – 80-120 л/мин;
- скорость подъема монитора – 4-7 см/мин;
- частота вращения монитора – 3-10 об/мин;
- удельная энергия – 100-150 МДж/м.

Трехкомпонентная струйная цементация (рис. 5) характеризуется размывом, перемешиванием и закреплением грунтов с помощью трех струй. Струя

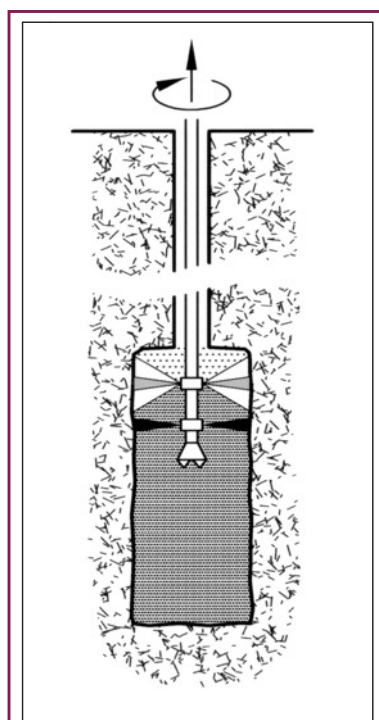


Рис. 5. Трехкомпонентная струйная цементация. Схема.

воды помещается внутрь струи сжатого воздуха и подается через верхнее сопло, что позволяет не только увеличить энергию размыва, но и использовать известный эффект «эрлифта» для выноса на поверхность легких частиц размываемых грунтов. Струя цементного раствора подается через нижнее сопло и служит для перемешивания размывшихся, как правило, тяжелых частиц грунтов. При трехкомпонентной струйной цементации возможно достижение диаметра колонны обработанного грунта в пределах 0,8-2,0 м.

Основные параметры трехкомпонентной струйной цементации следующие:

- давление подачи раствора – 5-8 МПа;
- расход раствора – 50-100 л/мин;
- давление подачи воды – 40-60 МПа;
- расход воды – 80-120 л/мин;
- давление подачи воздуха – 0,7-1,7 МПа;
- расход воздуха – 8-12 м³/мин;
- скорость подъема монитора – 4-7 см/мин;
- частота вращения монитора – 3-10 об/мин;
- удельная энергия – 100-150 МДж/м.

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ СТРОИТЕЛЬСТВА

В МЕТРОСТРОЕНИИ

Во время строительства основного и сервисного тоннелей метрополитена под монументом на площади Marquis de Pombal в столице Португалии – г. Лиссабоне на линии между станциями «Rotunda» и «Rato» в августе 1994 г. с помощью одно- и двухкомпонентной струйной цементации произведено предварительное закрепление грунтов в основании монумента (рис. 6, 7).

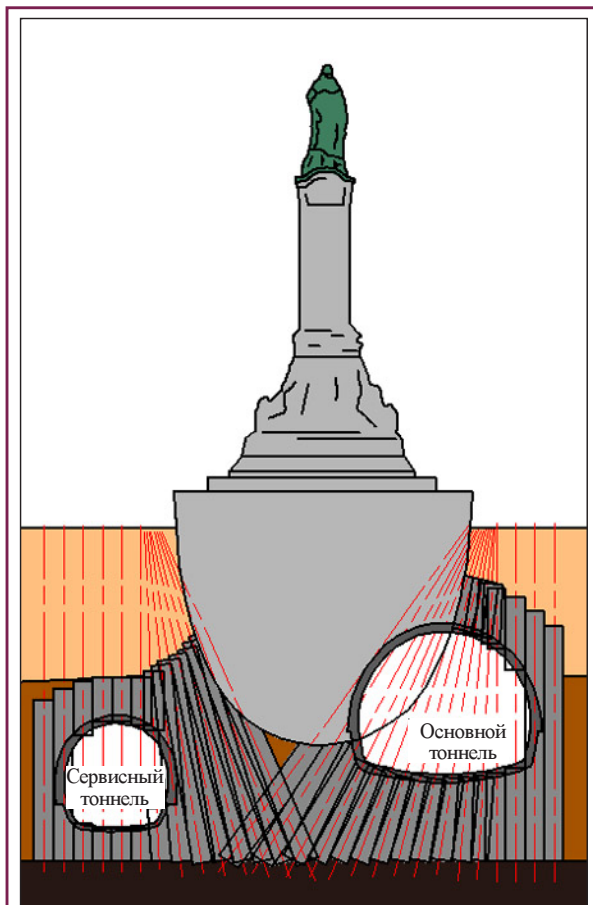


Рис. 6. Струйная цементация грунтов на строительстве основного и сервисного тоннелей метрополитена под монументом на площади Marquis de Pombal в г. Лиссабоне. Принципиальное решение.



Рис. 7. Струйная цементация грунтов на строительстве основного и сервисного тоннелей метрополитена под монументом на площади Marquis de Pombal в г. Лиссабоне. Производство работ.

Для исключения повреждения монумента с помощью струйной цементации выполнено 786 грунтоцементных колонн диаметром 1,00 м по двухкомпонентной (воздушной) системе и 102 грунтоцементные колонны диаметром 0,60 м по однокомпонентной системе. Для этого пробурено 13315 п.м. скважин, из них с помощью двухкомпонентной струйной цементации обработано 6035 п.м. Угол наклона скважин варьировал от 0° до 68°.

В ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ (ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗАКРЫТЫМ СПОСОБОМ)

При строительстве автодорожных тоннелей «Malenchini» (Италия) на автостраде Livorno-Civitavecchia в 1990-1991 г.г. проходка в мягких грунтах осуществлялась под защитой опережающей крепи (зонтиков) в калоттах из грунтоцементных колонн диаметром 0,60 м, армированных стальными трубами диаметром 88,9х10 мм со стороны южного портала и диаметром 76х10 мм – со стороны северного (рис. 8, 9).

Грунтоцементные колонны зонтиков формировались из забоев однокомпонентной струйной цементацией с наклоном скважин в 6% по отношению к продольным осям тоннелей и шагом примерно 60 см. Длина грунтоцементных колонн зонтиков составляла 13 м, а их

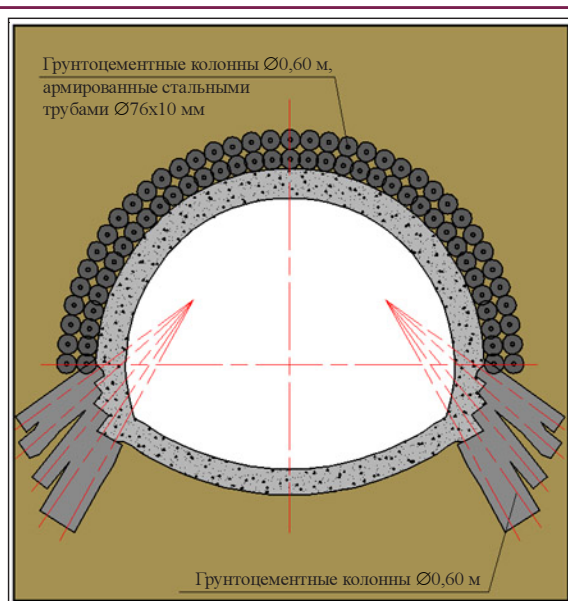


Рис. 8. Струйная цементация грунтов на строительстве автомобильного тоннеля «Malenchini» на автострате Livorno-Civitavecchia. Поперечное сечение в зоне нахлеста грунтоцементных колонн зонтика опережающей крепи.

нахлест с учетом 10 м фронта экскавации – 3 м.

Пяты грунтоцементных сводов из соприкасающихся колонн зонтиков подкреплялись рядами неармированных грунтоцементных колонн диаметром 0,60 м с шагом 60 см и длиной 3,0-3,5 м, наклоненных под углами от 29° до 54° к вертикали.

Северный и южный порталы укреплялись четырьмя рядами грунтоцементных колонн диаметром 0,60 м с шагом 1 м и длиной 18 м, выполняемых однокомпонентной струйной цементацией с армированием упомянутыми стальными трубами. Ряды порталных колонн имели наклон 5%, 10%, 15%, 20%

по отношению к вертикали соответственно. Поверху эти колонны объединялись монолитными железобетонными обвязочными балками (рис. 10).

На строительстве этих тоннелей выполнено 69000 п.м. грунтоцементных колонн зонтиков. При проходке тоннелей опережающая крепь подкреплялась стальными двутавровыми арками из профиля НВ160, устанавливаемыми с шагом 1 м. Затем арки омоноличивались бетоном временной обделки.



Рис. 9. Выполнение грунтоцементных колонн зонтика опережающей крепи во время строительства автомобильного тоннеля «Malenchini» на автострате Livorno-Civitavecchia.



Рис. 10. Вид на северный портал, укрепленный грунтоцементными колоннами, во время строительства автомобильных тоннелей «Malenchini».

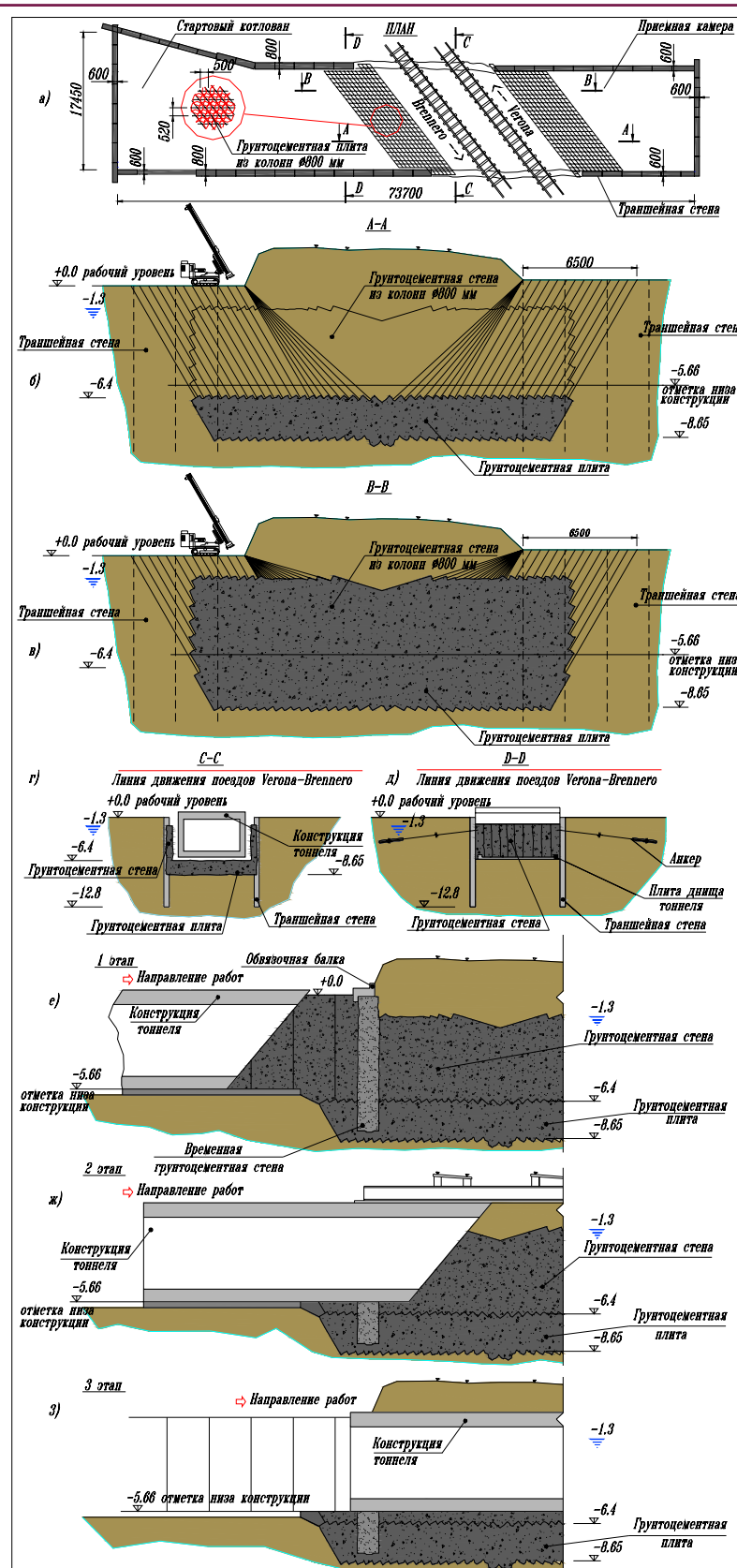


Рис. 11. Использование струйной цементации грунтов на строительстве двухполосного автодорожного тоннеля под насыпью железной дороги, связывающей города Верона и Бренnero. Принципиальные схемы производства цементационных работ и сооружения тоннеля.

В ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ (ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОД ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ НАСЫПЯМИ)

Двухполосный автодорожный тоннель под насыпью железной дороги, связывающей города Verona и Brennero в провинции Bolzano (Италия), соорудили в 1997 г. методом продавливания постоянной монолитной железобетонной обделки без прекращения движения поездов. Продавливание обделки производилось из стартового котлована в сторону приемной камеры, расположенной по обратную сторону ж.д. путей (рис. 11, 12).

Ограждением стартового котлована и приемной камеры служили траншейные стены толщиной 60 и 80 см и глубиной 13 м, временной крепью которых являлись бурино-инъекционные грунтовые анкеры с шагом 2,5 м и несущей способностью 45 т каждый. Было возведено 1920 м² траншейных стен, установлено 1250 п.м. анкеров длиной 9 и 15 м.

Для предотвращения вывалов грунта в процессе продавливания непосредственно под ж.д. насыпью и соосно с траншейными стенами толщиной 80 см выполнялись защитные стены из секущихся грунтоцементных колонн диаметром 0,80 м.

Для исключения недопустимых осадков ж.д. путей в процессе продавливания дополнительно под насыпью в основании строящегося тоннеля была выполнена плита толщиной 2,25 м из секущихся с шагом 0,5х0,52 м грунтоце-



Рис. 12. Струйная цементация грунтов на строительстве двухполосного автодорожного тоннеля под насыпью железной дороги, связывающей города Verona и Brennero, без прекращения движения поездов.

ментных колонн диаметром 0,80 м, а также временная стена вдоль насыпи со стороны стартового котлована. Кроме того, сами рельсы в зоне проходки тоннеля вывешивались на стальных балках-пакетах.

Все грунтоцементные колонны выполнялись посредством однокомпонентной струйной цементации грунтов. 4307 п.м. колонн было выполнено вертикальными и 7694 п.м. – наклонными, 448 п.м. колонн защитных стен были армированы стальными трубами диаметром 73х8 мм.

В КОММУНАЛЬНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

При сооружении коллектора открытым способом в Милане в коммуне «San Giovanni» (Италия) в 1998-1999 г.г. ограждение котлована выполнялось из вертикальных грунтоцементных свай-колонн длиной 9-11 м, шагом 1 м и диаметром 0,80 м, армированных стальными трубами диаметром 73х9 мм. Посредством однокомпонентной струйной цементации выполнено 12500 п.м. грунтоцементных свай-колонн. Временное крепление ограждения открытого котлована было принято распорным металлическим (рис. 13, 14, 15).

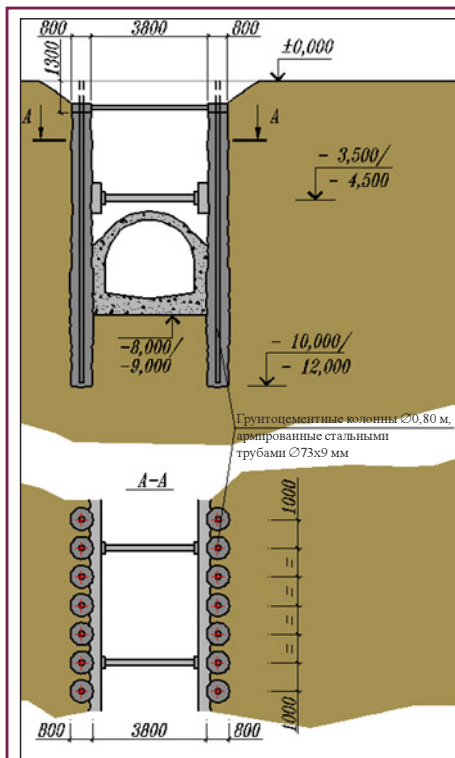


Рис. 13. Ограждение котлована из грунтоцементных свай-колонн на строительстве коллектора открытым способом в Милане в коммуне «San Giovanni». Принципиальное решение.



Рис. 14. Строительство коллектора открытым способом в Милане в коммуне «San Giovanni». Промывка струйного монитора.



Рис. 15. Строительство коллектора открытым способом в Милане в коммуне «San Giovanni».

Вид на ограждение котлована из грунтоцементных свай-колонн (на заднем плане участок закрытого способа строительства коллектора на пересечении с магистралью Ferrovie).

ПРИ СООРУЖЕНИИ НУЛЕВЫХ ЦИКЛОВ ОФИСНЫХ ЗДАНИЙ

В качестве ограждения котлована нулевого цикла нового офисного здания на Via Valenza в Милане в 1987 г. вблизи сохраняемых зданий использовались стены из секущихся грунтоцементных свай-колонн диаметром 0,60 м, армированных стальными трубами диаметром 60,3х6,6 мм (рис. 16, 17) и выполняемых посредством однокомпонентной струйной цемента-

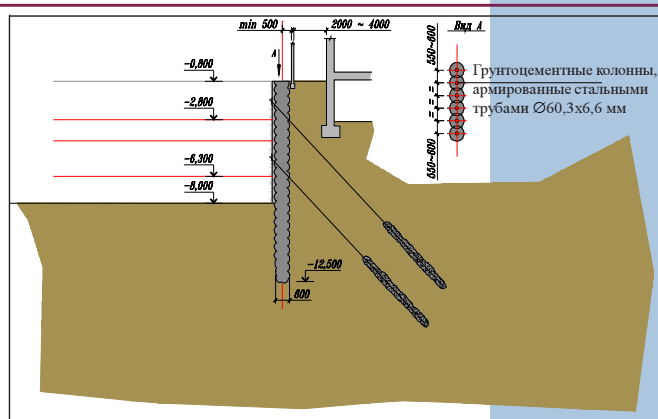


Рис. 16. Ограждение котлована из секущихся грунтоцементных свай-колонн на строительстве нулевого цикла нового офисного здания на Via Valenza в Милане. Принципиальное решение.



Рис. 17. Вид на ограждение котлована из секущихся грунтоцементных свай-колонн на строительстве нулевого цикла нового офисного здания на Via Valenza в Милане во время устройства второго яруса анкерной крепи.

ции. Шаг свай-колонн 0,55-0,6 м. Временное крепление ограждения котлована глубиной 8 м производилось буроналивными грунтовыми анкерами несущей способностью 30 т (верхний ярус при шаге 3,3 м и длине 16,0 м) и 60 т (нижний ярус при шаге 2,2 м и длине 14,0 м).

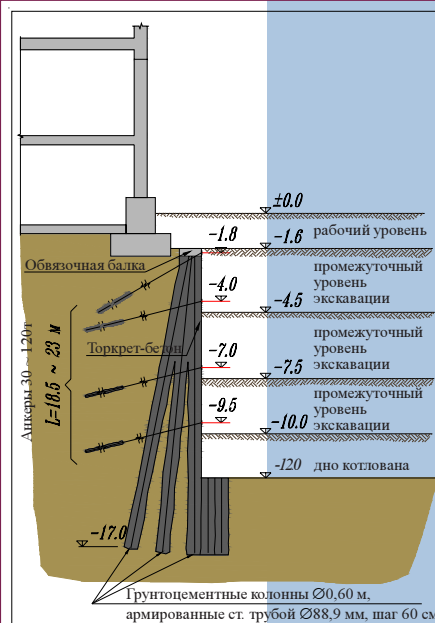


Рис. 18. Использование струйной цементации грунтов на строительстве нулевого цикла административного здания на Via F. Filzi в Милане. Принципиальное решение ограждения и временного крепления котлована.

Однокомпонентная струйная цементация грунтов также широко использовалась во время строительства нулевого цикла административного здания в Милане на Via F. Filzi в 1991-1992 г.г. Ограждения котлована глубиной 12 м и с основными габаритными размерами в плане 33,8х40,75 м выполнялось из трех рядов грунтоцементных свай-колонн длиной 11/15 м и диаметром 0,60 м, армированных стальными трубами диаметром 88,9х10 мм и подкреплялось дополнительными 2-3 рядами аналогичных колонн изнутри будущего котлована ниже отметки его дна (рис. 18). Выполнялось также усиление грунтового основания под фундаментной плитой кустами аналогичных секущихся колонн. Всего на этом объекте выполнено 32000 п.м. грунтоцементных колонн. Временное крепление ограждения котлована производилось четырьмя ярусами буронагнетательных грунтовых анкеров с несущей способностью от 30 т до 120 т.

ПРИ СООРУЖЕНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЗАВЕС

Для исключения водопритока во время строительства подземной автостоянки на Via Puccini в Милане (1993-1996 г.г.) с промежуточной отметки дна котлована или с глубины 18,0 м от поверхности внутри контура ограждения котлована из траншейных стен толщиной 60/80 см выполнялась горизонтальная противofильтрационная завеса (ПФЗ) толщиной 2 м.

Использовалась двухкомпонентная струйная цементация (воздушная система). Противofильтрационная завеса формировалась из 1140 п.м. секущихся грунтоцементных колонн диаметром 1,80 м, выполняемых в шахматном порядке с шагом 132х150 см (рис. 19, 20).

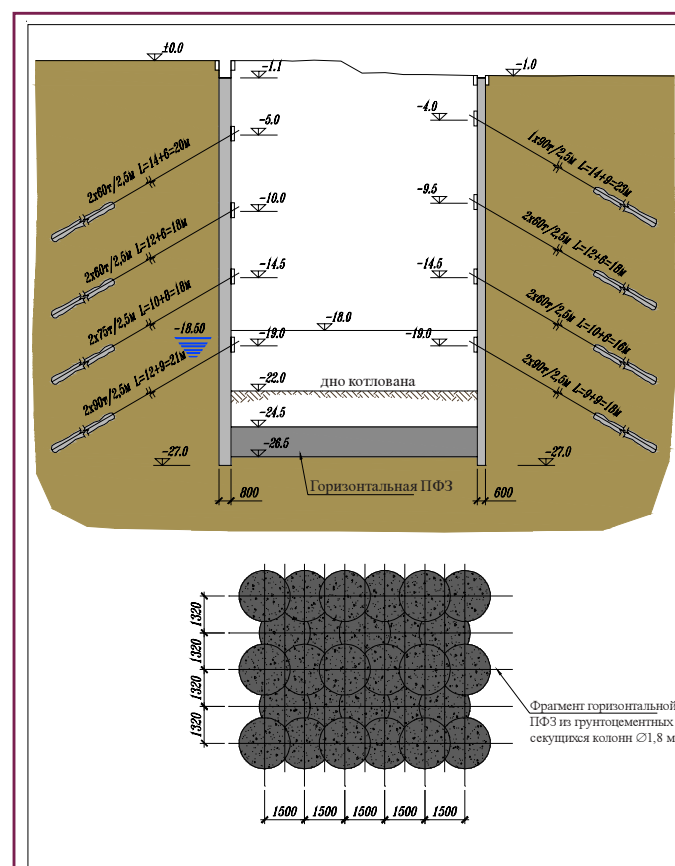


Рис. 19. Строительство подземной автостоянки на Via Puccini в Милане. Принципиальное решение горизонтальной противofильтрационной завесы из секущихся грунтоцементных колонн.



Рис. 20. Строительство подземной автостоянки на Via Puccini в Милане. Устройство горизонтальной противofильтрационной завесы с промежуточной отметки дна котлована (-18,0 м).

На этом объекте было возведено 3600 м² траншейных стен глубиной 27 м, установлено 21230 п.м. буринъекционных грунтовых анкеров длиной от 16 до 23 м и с несущей способностью от 60 до 90 т.

ПРИ СООРУЖЕНИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЗАВЕС

Для повышения водонепроницаемости грунтовых дамб в Италии широко применяется

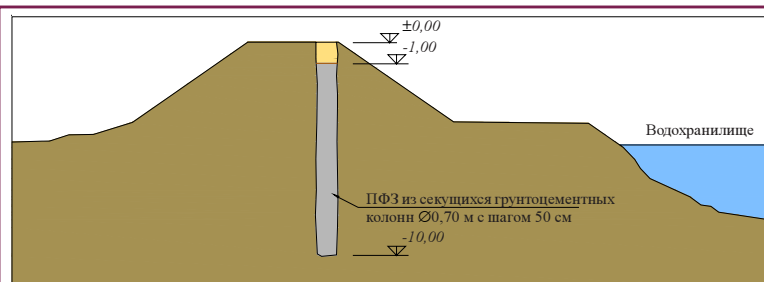


Рис. 21. Вертикальная противофильтрационная завеса из секущихся грунтоцементных колонн. Схема.

устройство вертикальных противофильтрационных завес (ПФЗ), выполняемых с гребней дамб однокомпонентной струйной цементацией, как это показано на рис. 21. Вертикальная противофильтрационная завеса в данном случае сформирована из секущихся неармированных грунтоцементных колонн диаметром 0,70 м и шагом 50 см.

ПРИ УСТРОЙСТВЕ ФУНДАМЕНТОВ АНТРЕСОЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

На берегу одного из красивейших альпийских озер Италии Комо в крайне стесненных условиях возведена автомобильная двухполосная дорога антресольного типа (рис. 22, 23).

Здесь также использовалась однокомпонентная струйная цементация, а грунтоцементные фундаментные сваи-колонны диаметром 0,60 м и шагом 80 см

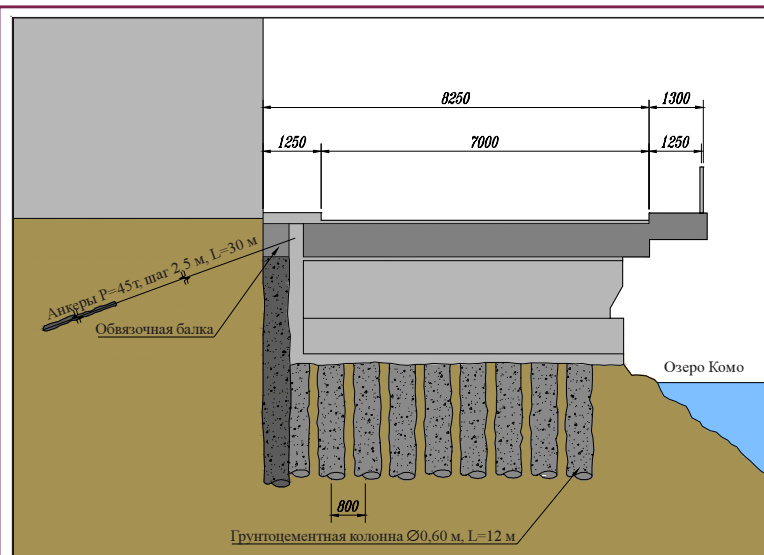


Рис. 22. Строительство автомобильной дороги антресольного типа на берегу озера Комо. Принципиальное решение конструкции и фундаментов.

армировались стальными трубами.

В МОСТОСТРОЕНИИ

Можно привести большое количество примеров использования струйной цементации при строительстве опор новых мостов, а также усилении грунтовых оснований опор во время реконструкции старых мостов в Италии. Характерный же пример применения однокомпонентной струй-



Рис. 23. Вид на строящийся участок автомобильной дороги антресольного типа.

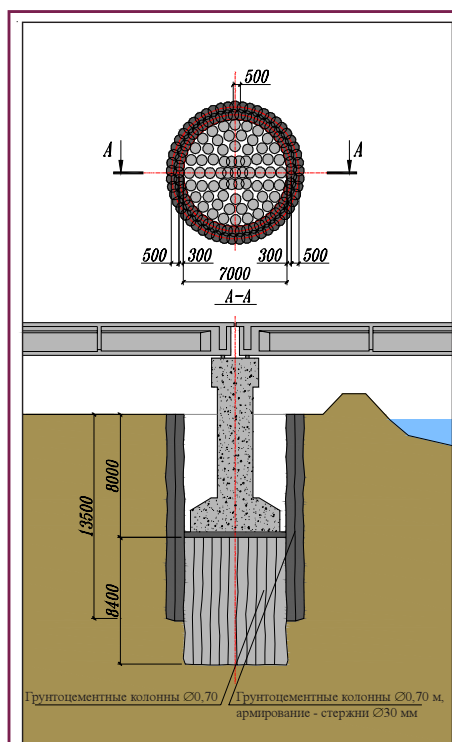


Рис. 24. Использование струйной цементации грунтов во время строительства опор моста «sull'Adda» в Италии.

ной цементации во время сооружения опор нового моста приведен на рис. 24.

ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ

Самым свежим примером подобного использования струйной цементации в Италии служит реконструкция всемирно известного театра «Ла Скала»* в Милане (рис. 25) в 2002-2003 г.г.

Здесь ограждение котлована из одного ряда микросвай диаметром 305 мм с шагом 50 см, армированных стальными трубами диаметром 244,5х14,2 мм выполнено способом врезки в грунтоцементную стену из секущихся колонн диаметром 1,20 м с шагом 50 см. Такая конструкция ограждения котлована призвана была придать дополнительную жесткость стенам из микросвай. Возведение колонн производилось двухкомпонентной струйной цементацией (воздушная система).

Кроме того, по этой же технологии были выполнены дополнительные стены, состоящие из грунтоцементных секущихся колонн диаметром 1,80 м, головы которых находились на уровне -16 м от поверхности и примыкали к микросваям с внутренней стороны котлована по 2-м сторонам (со стороны ул. Верди и театра), которые

имели две функции:

- разгружающую функцию как контрфорсы, чтобы усилить ограждение из микросвай;
- функцию вертикальной противофильтрационной завесы, исключающей просачивание воды внутрь котлована через микросваи ниже отметки -17 м, когда разработка грунта достигнет дна котлована на отметке - 18,6 м.

Для разгрузки фундаментной плиты в наиболее нагруженных ее зонах как в глубокой подземной части (или непосредственно под новой сценой ниже отм. -18,30 м), так и для усиления фундаментной плиты мелкого заложения (за пределами новой сцены ниже отм. -5,70 м) выполнялись фундаментные грунтоцементные колонны диаметром 1,20 м.

В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Во время строительства четырехочкового гидротехнического тоннеля-сифона для последующего устройства пересекающихся мелиорационных каналов в регионе Ломбардия (Италия) в 2003 г. широко использовалась как однокомпонентная, так и двухкомпонентная струйные цементации (рис. 26, 27).



Рис. 25. Струйная цементация грунтов при строительстве подземной части новой сцены реконструируемого театра «Ла Скала» в Милане (на заднем плане сохраняемая часть здания театра – зрительный зал).

Первоначально производился отвод в сторону русла существующего канала и лишь затем на его месте возводился рядом тоннель-сифон. Параллельно возводилась одна из ветвей нового канала, располагавшаяся над сифоном практически перпендикулярно его продольной оси. После завершения строительства тоннеля-сифона, русло старого канала подключалось к тоннелю-сифону, затем возводилась другая ветвь нового канала.

Ограждение котлована при сооружении тоннеля-сифона выполнялось из трех рядов секущихся грунтоцементных свай-колонн диаметром 1,20 м

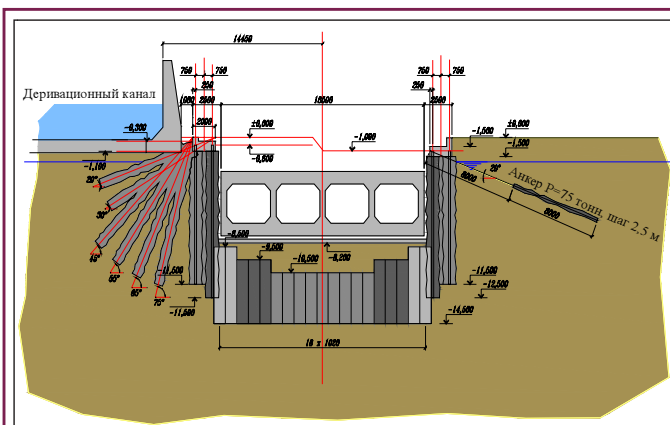


Рис. 26. Строительство четырехочкового гидротехнического тоннеля-сифона в регионе Ломбардия. Принципиальные решения.

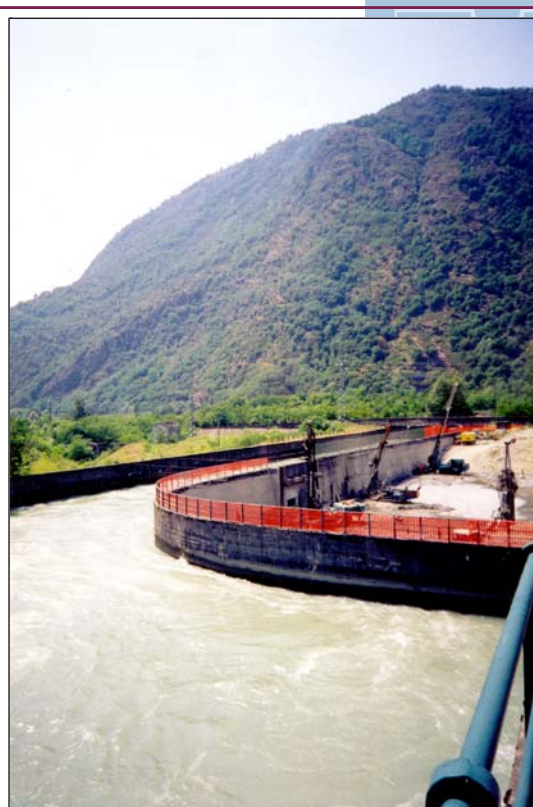


Рис. 27. Строительство четырехочкового гидротехнического тоннеля-сифона в регионе Ломбардия. Выполнение грунтоцементных свай-колонн ограждения и веерных анкерных свай крепления котлована вблизи отведенного канала.

с шагом 1 м и межосевым расстоянием между рядами 0,75 м. Грунтоцементные колонны смежных рядов выполнялись в шахматном порядке. Армирование грунтоцементных свай-колонн осуществлялось стальными трубами диаметром 88,9x10 мм.

В пределах контура ограждения котлована под днищем тоннеля-сифона устраивалась противифльтрационная завеса арочного типа толщиной от 4 до 6 м из секущихся грунтоцементных колонн диаметром 1,60 м, выполняемых в шахматном порядке с шагом 1,02х1,18 м.

Со стороны отведенного русла существующего канала с целью укрепления его грунтового основания и в качестве крепи ограждения котлована тоннеля-сифона выполнялись веерные анкерные грунтоцементные сваи-колонны диаметром 0,80 м с шагом 2 м.

Каждый веер включал 6 грунтоцементных свай-колонн, армированных стальными трубами и выполненных под углами 20°, 30°, 45°, 55°, 65° и 75° к горизонтали.

Стена с противоположной стороны от отведенного русла, а также торцевые стены ограждения котлована из секущихся грунтоцементных свай-колонн, закреплялась временными буроинъекционными грунтовыми анкерами длиной 16 м, шагом 2,5 м и несущей способностью 75 т.

Все стены затем объединялись по верху монолитными железобетонными обвязочными балками.

**ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ НАСЫПЕЙ И ДАМБ,
ПОВЫШЕНИЯ ИХ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ**

В последние годы для укрепления насыпей и дамб все чаще используется в Италии ламинарная струйная цементация. В отличие от вышеописанных способов струйной



Рис. 28. Опытная панель в грунте, выполненная ламинарной струйной цементацией.

цементации, при ламинарной в процессе обработки грунтов буровая штанга с закрепленным монитором на ее конце не вращается вокруг своей оси, а лишь поднимается поступательно снизу – вверх (в таком случае отсутствует турбулентность струи). Так в грунте формируются не колонны, а панели (рис. 28).

Обработка грунтов ламинарной цементацией выполняется с гребней насыпей и дамб в их толще под углами к вертикали, более крутыми, чем углы наклона их откосов. При этом формируются в грунте наклонные диафрагмы, смыкающиеся под гребнями насыпей и дамб. При необходимости для дамб со стороны зеркала воды в их основании устраиваются еще и вертикальные противофильтрационные завесы из секущихся грунтоцементных колонн, выполняемых вышеописанным способом. Тогда одна из наклонных диафрагм, выполняемых ламинарной струйной цементацией после устройства вертикальной противофильтрационной завесы плотно сопрягается своим основанием с ней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вышеприведенными примерами из опыта итальянской фирмы «ELSE» S.p.a. область использования струйной цементации далеко не исчерпывается, да и сама фирма за многие годы выполнила огромный объем цементационных работ на многих, в том числе и уникальных объектах строительства в Италии и за ее пределами, включая Россию.

Общеизвестно, что струйная цементация давно и широко используется для закрепления оползневых склонов, усиления фундаментов зданий и сооружений. Поэтому в рамках этой статьи подобные примеры не рассматривались, а акцент сознательно сделан на тех областях использования, в которых струйная цементация пока не нашла должного применения или вообще еще не применялись в России.

* - О.П. Юркевич, Реконструкция театра «Ла Скала»// Подземное пространство мира. 2003. № 6.