

УДК 622.287.1

д.т.н. Полозов Ю. А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР),  
Лазебник А. Ю.

(АФГТ ЛНУ им. В. Даля, г. Антрацит, ЛНР)

## ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ И УКРЕПЛЕНИЕ НЕСВЯЗНЫХ ГРУНТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ МЕТОДОМ ТАМПОНАЖА

Приведены результаты промышленных испытаний нового метода тампонирувания водопроницаемых грунтов и разуплотнённых пород на примере капитального ремонта плотины Елизаветинского водохранилища в Луганской области с использованием гладкоствольной колонны. Использование гладкоствольной колонны, обеспечивающей минимальный зазор между стенками скважины, в сочетании со структурированными глиноцементными тампонажными растворами позволяет отказаться от крепления инъекционных скважин перфорированными манжетными колоннами и применения пакерующих устройств.

**Ключевые слова:** водопроницаемые грунты, тампонаж, глиноцементные растворы, гладкоствольная колонна, гидроизоляция грунтов, методика расчёта параметров тампонажа.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** В практике эксплуатации насыпных дамб, плотин и других гидротехнических сооружений, как правило, часто возникают аварийные ситуации, связанные с увеличением фильтрации воды через них по зонам разуплотнённых грунтов и пород как в самом теле, так и в подстилающих породах. В таких случаях, во избежание аварий и дальнейшего разрушения дамб и плотин, разрабатываются мероприятия по восстановлению водонепроницаемости грунтов путём применения методов инъекции [1].

В ГОАО «Спецтампонажгеология» была разработана и внедрена в широких масштабах высокоэффективная технология защиты и предупреждения аварийных утечек воды, в т. ч. аварийных, путём сооружения противофильтрационных завес и барьеров на пути их фильтрации. Весьма эффективно технология сооружения противофильтрационных завес и барьеров применялась при ремонте и реконструкции плотин и дамб водохранилищ, шламонакопителей, каналов и других гидротехнических сооружений [2].

Одним из приоритетных направлений повышения качества гидроизоляции и укрепления несвязных грунтов гидротехниче-

ских сооружений методом тампонажа является возможность создания необходимого давления нагнетания тампонажного раствора в проницаемую среду за счёт потерь напора при подъёме тампонажного раствора в зазоре между стенками скважины и бурильными трубами (в случае применения гладкоствольной колонны бурильных труб, обеспечивающей минимальный зазор).

Предложенная технология подтверждается теоретическими расчётами параметров тампонажа с целью гидроизоляции и укрепления несвязных грунтов и обеспечивает упрощение технологии нагнетания за счёт отказа от применения дорогостоящих пакерующих устройств и манжетных колонн [2].

Необходимо подтверждение выполненных аналитических расчётов и лабораторных исследований предложенной технологии в натурных условиях.

**Постановка задачи.** Задачей предложенной технологии гидроизоляции и укрепления несвязных грунтов является подтверждение эффективности использования стабилизированного (затвердевшего) слоя тампонажного раствора в зазоре «стенка скважины–бурильная колонна» в качестве пакерующего устройства вместо установки манжетной колонны.

**Изложение материала и его результаты.**

Основными составляющими данной технологии устранения протоков воды через плотины и дамбы являются:

- заполнение глиноцементным раствором пустот, трещин, поровых каналов, образовавшихся в результате техногенных и суффозионных процессов;

- создание гидроизоляционного экрана в теле дамбы;

- стабилизация и укрепление разуплотнённого материала плотин, дамб, каналов и оснований гидротехнических сооружений.

В основу технологии положен принцип инъекции в разуплотнённые зоны специальных тампонажных растворов через пробуренные вертикальные и наклонно-направленные скважины. Физическая сущность процесса инъектирования тампонажных растворов способом «снизу–вверх» с использованием гладкоствольной бурильной колонны заключается в следующем:

- после завершения бурения скважины на полную проектную глубину производится подъём бурового инструмента на величину нижней заходки и осуществляется нагнетание тампонажного раствора;

- первоначально глиноцементный раствор под давлением поступает в зазор между стенками скважины и бурильной колонной, поднимаясь в нём на величину, определяемую давлением нагнетания и реологическими характеристиками раствора;

- в определённый момент, когда давление нагнетания достигает критической величины, недостаточной для преодоления гидравлических сопротивлений при дальнейшей прокачке глиноцементного раствора в зазор между стенками скважины и бурильными трубами, тампонажный раствор стабилизируется, резко увеличивая прочность структуры, и образует в зазоре пробку, работающую как пакерующее устройство;

- дальнейшее нагнетание тампонажного раствора будет происходить в режиме инъектирования в проницаемую среду и формирования вокруг скважины изоляционной завесы с размерами, определяемыми

скважностью (пустотностью) грунтов и реологическими характеристиками раствора и давлением;

- после завершения тампонирующего интервала проницаемых пород бурильная колонна приподнимается на величину следующей заходки, и нагнетание глиноцементного раствора возобновляется согласно проектным расчётам.

Аналитические расчёты необходимой величины пробки из стабилизированного тампонажного раствора в зазоре между стенками скважины и бурильными трубами, способной выдержать проектное давление нагнетания, определяются по уравнению

$$L = 0,25 \cdot (d_{скв} - d_{тр}) \frac{P_n}{P_m}, \quad (1)$$

где  $L$  — длина пробки тампонажного раствора в зазоре между стенками скважины и бурильными трубами, м;  $P_n$  — давление тампонажного раствора, МПа;  $d_{скв}$  — диаметр скважины, мм;  $d_{тр}$  — наружный диаметр бурильных труб, мм;  $P_m$  — пластическая прочность глиноцементного раствора, МПа.

Основные типы тампонажных растворов, применяемых в практике ремонта гидротехнических сооружений, приведены в таблице 1. Водосливная дамба Елизаветинского водохранилища, находящаяся в эксплуатации с 1944 г., в связи с повышенными утечками воды через неё потребовала капитального ремонта. Для определения состояния тела дамбы ООО «УкрНТЭК-экогеодинамика» было выполнено бурение разведочных скважин и проведены комплексные геофизические исследования.

По результатам геофизических исследований в насыпном грунте и подстилающих породах выделены две аномальные зоны ФЗ-1 и ФЗ-2, которые обусловлены разуплотнением грунтов тела дамбы и характеризуются повышенным коэффициентом фильтрации (рис. 1).

Основным водопроводящим слоем являются насыпные грунты — суглинки и аллювиально-делювиальные отложения. Их

водопроницаемость неодинакова. Коэффициент фильтрации изменяется в широких пределах от 0,05 до 0,71 м/сут (табл. 2).

Это определяет снижение поверхности зеркала грунтового потока в местах с более высокой скоростью фильтрации подземных вод. Подстилающие элювиально-делювиальные суглинки значительно менее

проницаемые, коэффициент фильтрации на порядок ниже залегающих над ними аллювиально-делювиальных отложений. Таким образом, элювиально-делювиальные суглинки могут рассматриваться как относительный водоупор, препятствующий перетоку воды из аллювиально-делювиальных отложений в проницаемую карбоновую толщу.

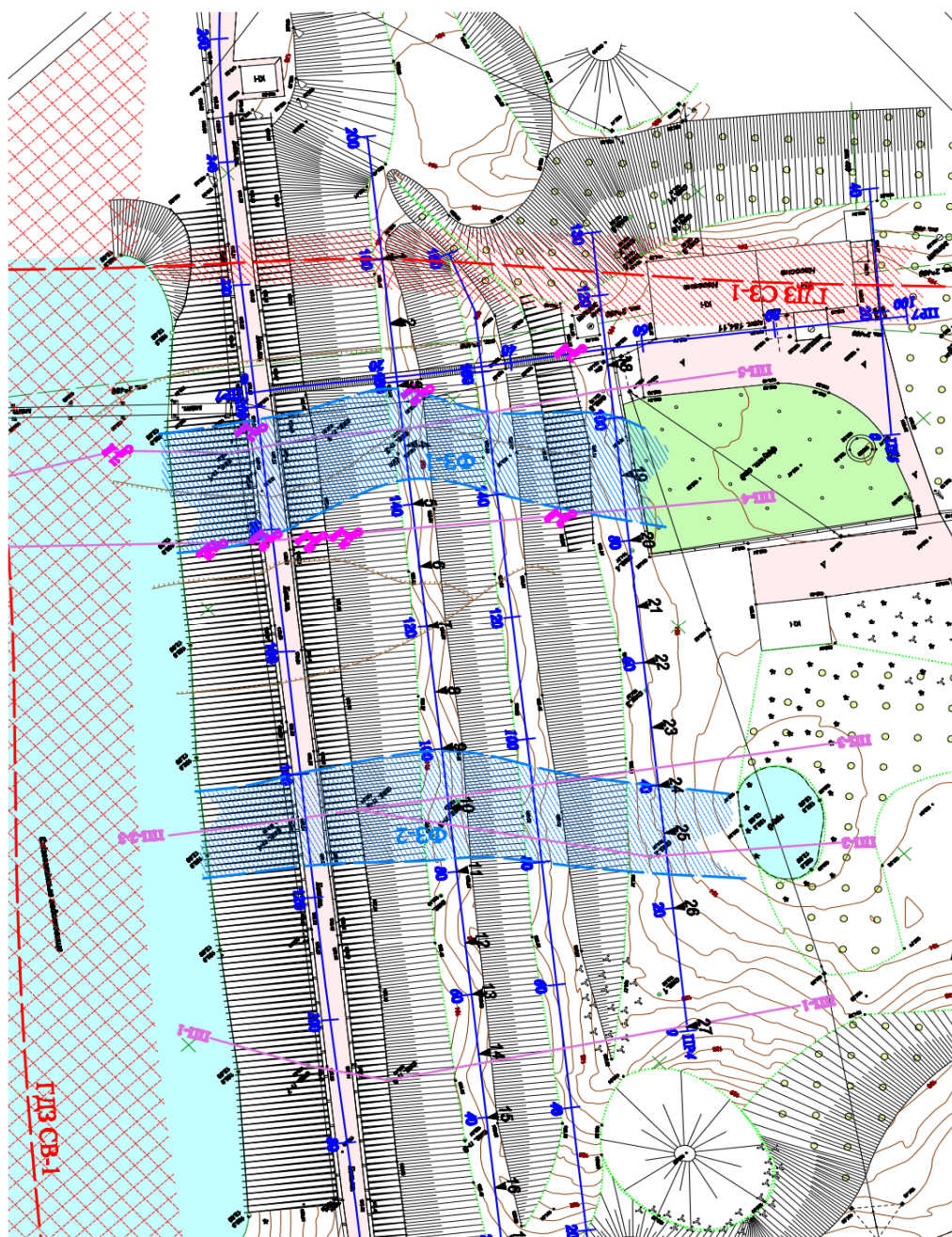


Рисунок 1 Схема расположения водопроводящих зон в теле дамбы  
Елизаветинского водохранилища

Таблица 1

Виды и характеристики тампонажных растворов для сооружения противофильтрационных завес

№	Типы растворов	Назначение растворов	Характеристика растворов			
			Состав	Плотность, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Фильтрация, $K_f$ м/с	Прочность, $P_m$ МПа
1	Глиноцементный	Закладочный Гидроизоляционный	Глина, Цемент, Силикат натрия	1250–1400	$1 \cdot 10^{-10}$ $1 \cdot 10^{-11}$	До 1,0
2	Глино-зольно-цементный	Закладочный, Гидроизоляционный, уплотняющий	Глина, Цемент Зола-унос	1200–1450	$1 \cdot 10^{-4}$ $1 \cdot 10^{-6}$	До 1,0
3	Грунто-цементный	Закрепляющий	Грунт, цемент	1250–2000	$1 \cdot 10^{-4}$ $1 \cdot 10^{-6}$	До 10,0
4	Цементный	Закрепляющий	Цемент	1250–2000	$1 \cdot 10^{-10}$	До 40,0

Таблица 2

Результаты опытно-фильтрационных работ методом экспресс-откачки в контрольных скважинах

Номер скважины	Место проведения	Проницаемые породы	Значение $K_f$ (м/сут)	Интервал, м
Скважина № 1	Примыкание поймы к правому борту	Суглинки (ed <sub>I-II</sub> )	0,051	1,7–8,0
Скважина № 2	Пойма	Суглинки (ad <sub>IV</sub> )	0,712	1,05–8,0
Скважина № 3	Центр поймы	Суглинки (ad <sub>IV</sub> )	0,107	0,42–8,0
Скважина № 4	Пойма	Суглинки (ad <sub>IV</sub> )	0,287	1,13–10,0

Водопроницаемость карбонатных отложений в основании дамбы не изучалась.

При выборе составов тампонажных растворов для изоляции фильтрационных зон в теле дамбы Елизаветинского водохранилища необходимо было учитывать, что грунты представлены переслаиванием суглинков и аллювиально-делювиальных отложений, обладающих высокой пористостью. Применение цементных растворов с различными реагентами из-за высокой водоотдачи и нестабильности не обеспечивает надлежащего проникновения их в породу. В результате вблизи стенки тампонажной скважины образуется пробка из цементных частиц, резко возрастает давление нагнетания, и процесс инъецирования прекращается.

Для изоляции несвязных грунтов был рекомендован глиноцементный раствор. Такие растворы приготавливают на основе исходного глинистого раствора с плотностью до 1200–1230 кг/м<sup>3</sup> и содержат до 10 % сухого цемента и до 1 % структурообразователя [3]. Благодаря низкой водоотда-

че растворы удовлетворительно проникают в грунт, т. е. позволяют формировать вокруг нагнетательной скважины изоляционную завесу с заданными параметрами.

Минимальная величина пробки из структурированного глиноцементного раствора в зазоре между бурильными трубами Ø 50 мм и стенками скважины Ø 76 мм согласно данным расчётов по уравнению (1) составляет 2,5 м.

С целью повышения противофильтрационных и прочностных характеристик грунтов дамбы и создания гидроизоляционного экрана по внутреннему борту дамбы в зоне ФЗ-1 был запроектирован комплекс буровых и тампонажных работ, включающий:

- бурение с поверхности земли скважин малого диаметра;
- нагнетание в них тампонажного раствора.

Тампонаж разуплотнённых грунтов тела дамбы в районе выявленной ООО «УкрНТЭК-экогеодинамика» фильтрационной зоны ФЗ-1 проводился путём

инъектирования глиноцементных тампонажных растворов через 11 тампонажных скважин, пробуренных с поверхности дамбы, как показано на рисунке 2.

Параметры гидроизоляционной завесы в каждой из выявленных проницаемых зон, включая размеры контура распространения тампонажного раствора вокруг скважин, количество скважин и режимов нагнетания раствора рассчитывались по технологии комплексного метода тампонажа [3]. Схемы формирования изоляционных завес приведены на рисунке 2:

I этап — бурение скважин с нечётными номерами: скв. 11, скв. 9, скв. 7, скв. 5, скв. 3, скв. 1;

II этап — бурение скважин с чётными номерами: скв. 10, скв. 8, скв. 6, скв. 4, скв. 2.

Бурение тампонажных скважин осуществлялось самоходной буровой установкой УРБ-2А2. Конструкция скважин следующая:

– интервал 0,0–4,0 м — диаметр бурения 112 мм с последующим креплением обсадными трубами диаметром 108 мм;

– интервал бурения 4,0–17,0 м — диаметр бурения 57 мм до забоя.

Формирование изоляционных завес в отдельной скважине осуществлялось по зажимной схеме способом «снизу–вверх» в интервалах глубин 16–13 м, 13–10 м, 10–7 м и 7–4 м. Очередность тампонажа скважин — согласно методу «сгущения скважин», т. е. на первом этапе через одну скважину с последующим смыканием гидроизоляционной завесы на втором этапе.

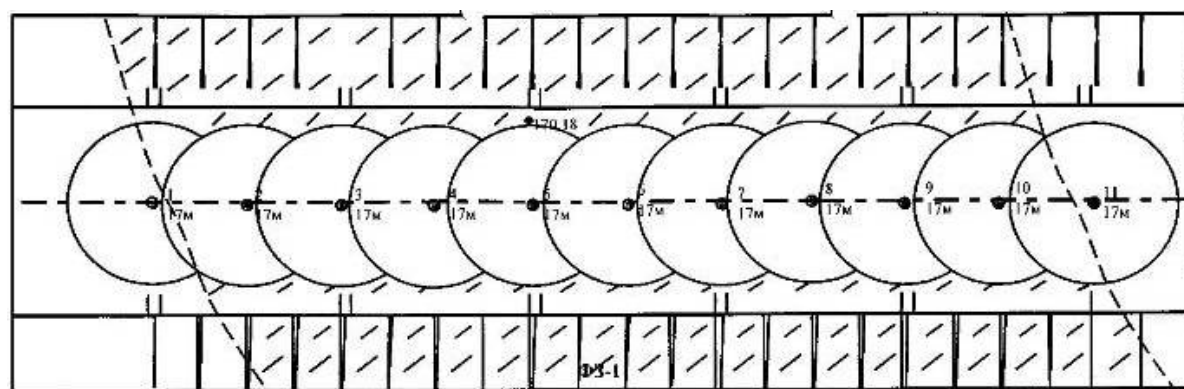
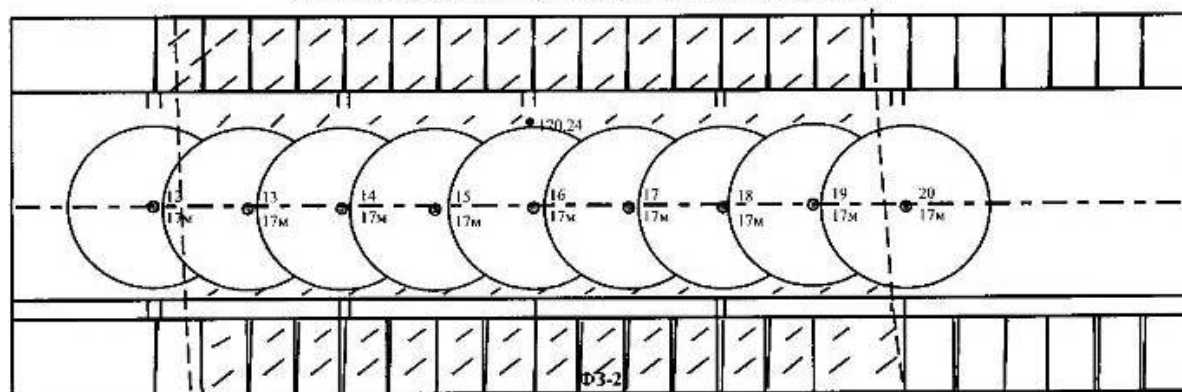


Схема формирования гидроизоляционной завесы в зоне Ф3-1



●  $\frac{1-20}{17\text{ м}}$  — номера тампонажных скважин  
17 м — глубина скважины

○ Контур распространения

Рисунок 2 Схема формирования гидроизоляционной завесы в водопроницаемых зонах Ф3-1 и Ф3-2

Нагнетание тампонажного раствора в скважины продолжалось до достижения расчётного конечного давления нагнетания, появления остаточного давления, а также в случае выхода тампонажного раствора на поверхность земли или в соседние скважины.

Приготовление и нагнетание тампонажного раствора осуществлялось с использованием высокопроизводительного мобильного оборудования, включающего цементно-смесительные машины УС-6/30, цементировочные агрегаты УНБ-160/40. Нагнетание глиноцементного раствора производилось по новой технологической схеме с использованием гладкоствольной колонны бурильных труб. В данной схеме строго гарантированное нагнетание глиноцементного раствора в каждый конкретный интервал (заходку) обеспечивалось пробкой самого раствора в зазоре между стенками скважины и бурильными трубами.

Как показывает анализ результатов тампонажных работ, при нагнетании расчётного объёма тампонажного раствора в каждый из проницаемых интервалов, исключая нижний, не наблюдалось выхода раствора через устье скважины на поверхность.

Это свидетельствует о надёжности герметизации скважины на период нагнетания раствора даже под давлением, превышающим расчётные величины в 3–5 раз и достигавшим 4–5 МПа.

При тампонаже нижнего проницаемого интервала 13–16 м по скважинам №№ 4, 5,

7, 9 и 10 на начальном этапе наблюдались выходы тампонажного раствора через устье скважин. Это свидетельствует о том, что глиноцементный раствор хорошо распределяется по зазору, образуя в нём пробку до устья скважины, которая выдерживает давления, превышающие расчётные, и обеспечивает процесс инъекции грунта тела дамы. Объём нагнетания тампонажного раствора в скважины первой очереди составил  $45 \text{ м}^3$ , а в скважины второй очереди —  $37,5 \text{ м}^3$ . Общий объём нагнетания тампонажного раствора  $82,5 \text{ м}^3$ .

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Использование предложенного метода нагнетания глиноцементного тампонажного раствора в практике укрепления и водоизоляции проницаемых пород и грунтов позволяет значительно повысить эффективность таких работ за счёт отказа от применения обсадных труб, манжетных колонн или пакерующих устройств.

Высокие структурно-механические свойства стабилизированного тампонажного раствора обеспечивают надёжную изоляцию зазора между стенками скважины и бурильной колонной на время нагнетания раствора под давлением, необходимым для формирования изоляционной завесы в данном конкретном интервале вокруг скважины. В то же время он не препятствует приподнятию бурового инструмента для проведения нагнетания в вышележащую заходку.

### Библиографический список

1. Адамович, А. И. Закрепление грунтов и противодиффузионные завесы [Текст] / А. И. Адамович. — М. : Энергия, 1980. — 318 с.
2. Полозов, Ю. А. ГОАО «Спецтампонажгеология» на современном этапе и новые направления развития комплексного метода тампонажа [Текст] / Ю. А. Полозов // Современные проблемы шахтного и подземного строительства. — Донецк : Норд-Пресс, 2006. — Вып. 5. — 225 с.
3. Тампонаж обводненных горных пород [Текст] : справочное пособие / Э. Я. Кипко, О. Ю. Лушников, Ю. А. Полозов и др. — М. : Недра, 1989. — 318 с.

© Полозов Ю. А.

© Лазебник А. Ю.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. СГ ДонГТУ Литвинским Г. Г., к.т.н., доц., зам. декана АФГТ ЛНУ им. В. Даля Савченко И.В.

Статья поступила в редакцию 09.10.18.

**д.т.н. Полозов Ю. А.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР), **Лазебнік О. Ю.** (АФГТ ЛНУ ім. В. Даля, м. Антрацит, ЛНР)

### **ГІДРОІЗОЛЯЦІЯ І ЗМІЦНЕННЯ НЕЗВ'ЯЗНИХ ҐРУНТІВ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД МЕТОДОМ ТАМПОНАЖУ**

*Наведено результати промислових випробувань нового методу тампонування водопроникних ґрунтів та розуцільнених порід на прикладі капітального ремонту греблі Єлизаветинського водосховища в Луганській області з використанням гладкоствольної колони. Використання гладкоствольної колони в поєднанні зі структурованими глиноцементними тампонажними розчинами дозволяє відмовитися від обсадки ін'єкційних свердловин перфорованими манжетними колонами і застосування пакеруючих пристроїв.*

**Ключові слова:** тампонаж, глиноцементні розчини, гладкоствольна колона, гідроізоляція ґрунтів, методика розрахунку параметрів тампонажу.

**Doctor of Tech. Sc. Polozov Yu. A.** (DonSTU, Alchevsk, LPR), **Lazebnik A. Yu.** (Anthracite Department of Mining and Transport of Lugansk National University after Vladimir Dahl, Anthracite, LPR)

### **WATERPROOF AND STRENGTHENING THE LOOSE SOIL OF HYDRAULIC STRUCTURES BY GROUTING**

*There have been given the industrial testing results of a new method for grouting the permeable soil and unpressed rock on the example of major repairs of dam of the Yelizavetinskoie reservoir in Lugansk region using the smooth-bore column. Use of the smooth-bore column providing the minimum clearance between the walls of hole in combination with structured clay cement grouting mortar allows to reject the injection holes bracing with perforated collar columns and using the drillstring anchors.*

**Key words:** permeable soil, grouting, clay cement mortar, collar column, waterproof of soil, design procedure of grouting parameters.