

УКРЕПИТЕЛЬНЫЕ ОСНОВАНИЙ ПЛОТИН ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ СПОСОБОМ ЦЕМЕНТАЦИИ

Хасанов Н.М., Саидов М.Х., Джуракулов М.Р.

Таджикский технический университет, им. акад. М.С.Осими

Аннотация: В статье рассмотрены опыты проведения укрепительных цементационных работ в подземных сооружениях и оснований плотин в гидротехническом строительстве. Проведены примеры опытов в строительстве некоторых зарубежных гидроэлектростанций сравнение дополнительной и укрепительной цементации до и после проведения. Имеются основные виды цементационных работ, проводимые при разработке подземных сооружений. Приведены технологии и результаты использования метода инъектирования на примерах проходки напорного тоннеля ГЭС Розелан-Бати (Франция) и результаты применения описанного метода указывает на его эффективность.

Ключевые слова: геологические факторы, трещины, плотины, вывалы, заколы, деформации, укрепления, инъекции, метод, эффективность.

Введение.

В современной практике гидротехнического тоннелестроения укрепительная цементация породы под значительным давлением и на большую глубину является высоконапорных тоннелей и шахтных турбинных водоводов в трещиноватых и недостаточно водопроницаемых породах. Укрепительная цементация принимается также вокруг подземных зданий ГЭС как для консолидации породы, так и в целях снижения инфильтрации.

Методы укрепительная цементация горных пород, является одним из эффективных методов при строительстве подземных сооружений, который широко применяется в практике строительства зарубежных стран, стран СНГ и республики Таджикистан. Широкое внедрение способа укрепительные цементации горных пород в практике строительства объясняется консолидации раздробленных горных пород и уменьшение водопритоков при строительстве подземных сооружений.

Материалы и методы исследования

При проходке участка тоннеля Розелан – Бати (Франция) был применен следующий метод (рисунок 1). В прочных

кристаллических сланцах перед разрушенными породами была сделана рабочая камера длиной 10м, имеющая железобетонную обделку и лобовую стенку. Скала за обделкой была тщательно проинъектирована. Далее работы проводились в два этапа.

Сначала через лобовую стенку были пробурены пучок расходящихся скважин, образующих концентрических конусы и имеющих слабый наклон к оси тоннеля. Скважины бурились на глубину 45м зонами по 5м в угольных сланцах и по 3-4м в породах триаса с замедленным нагнетанием консолидирующих растворов. Всего было пробурено 96 скважин общей длиной 3070 м.

Следует отметить, что сначала в каждую зону нагнетались растворы силиката натрия и бикорбаната натрия под давлением 70 атм. Затем под давлением от 80 до 150 атм. нагнетался цементный раствор. В угольные сланцы нагнетался только цементный раствор под давлением до 70 атм.

Скорость схватывания и прочность отвердившего силикатного раствора зависит от отношения

$$\alpha = \frac{\text{вес бикарбоната}}{\text{объем сликата при } 35^{\circ}\text{C}};$$

где: α – вязкость раствора, определяющая способность проникновения его в грунт, от отношения

$$\alpha = \frac{\text{объем воды}}{\text{объем сликата при } 35^{\circ}\text{C}}.$$

где: α – вязкость раствора, определяющая способность проникновения его в грунт, от отношения

Предварительными опытами были установлены оптимальные величины отношений $\alpha = 0,153$ при времени схватывания 30 мин и $\beta=4\div 8$.

Цементные растворы приготовились с водоцементным отношением 2 на шлаковом цементе марки 250-315. Скважины бурились одновременно четырьмя станками вращательного бурения типа Крелиус.

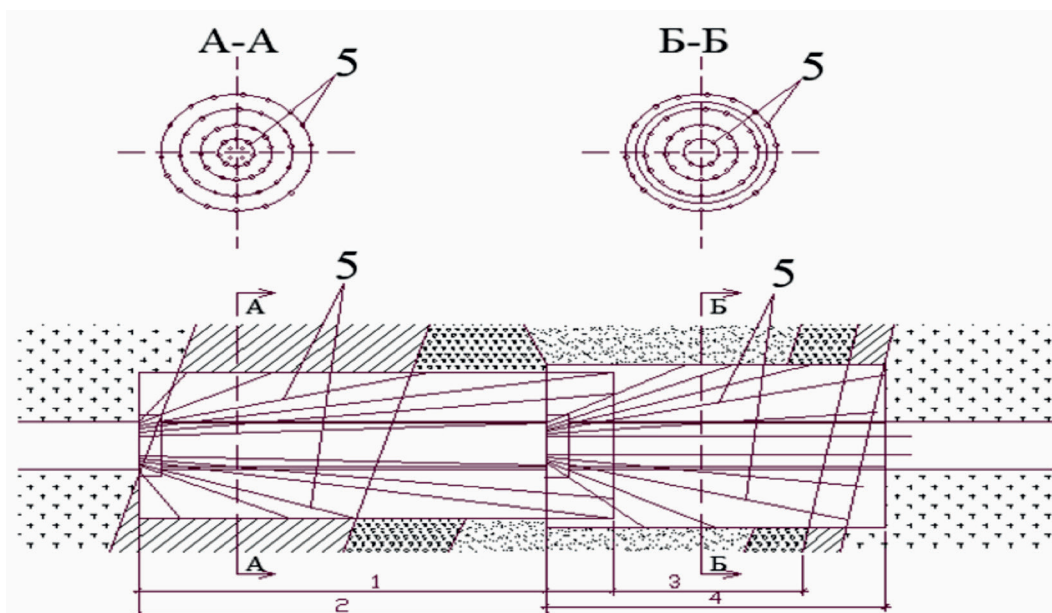


Рисунок 1. Схема консолидации раздробленных пород при проходке тоннеля Розелан-Бати

1-I этап, консолидация на глубину 45м; 2-I этап, проходка участка 46 м; 3 – зона сильно перетертых известняков; 4 –II этап, консолидация и проходка участка 40м; 5- концентрические ряды скважины.

Результаты и обсуждения

Чтобы убедиться в надёжности закрепление породы и образование вокруг будущей проходки консолидированной зоны толщиной не менее 5 м, было пробурено 10 контрольных скважин. После этого было пробурено 8 дополнительных скважин длиной 686м и произведена повторная инъекция глинисто-цементных растворов с глинисто-цементным отношением от 0,3 до 0,75 при водоцементным

отношений от 1 до 2. Консолидации первого участка длиной 46м была закончена за 3 месяца.

После завершения консолидации начались работы по проходке, которые велись следующим образом. Сначала был пройден верхний направляющий ход минимального сечения. С отставанием на несколько метров производилось расширение верхней половины сечения тоннеля с установкой через 0,75м арочной крепи диаметром 5,20м из двутавров №18 и продольных балок из спаренных уголков 100x200. Пространство между арками бетонировались. В конце направляющего хода, который был пройден только на

36м, с тем чтобы впереди забоя оставалась закрепленная толща грунта порядка 9м, была сооружена армобетонная лобовая стенка. Следом за креплением верхней части сечения производилось расширение и крепление нижней половины с установкой нижних элементов крепи полуколец, из таких же двутавров и уголков. Под защитой этого крепления была осуществлена основная обделка тоннеля внутренним диаметром 4,4м толщиной 0,4м с двойной арматурой диаметром 40мм, установленной через 45см.

Разработка угольных сланцев велась частично с помощью мелких взрывов, а консолидированных пльвунов-только отбойными молотками.

На основе опыта проходки первого участка было решено пройти второй участок в один прием тем же методом со следующими изменениями. Толщину консолидированного грунта в верхней половине тоннеля было решено принять равной 7м, а в нижней 4м. Число скважин было принято 72 с размещением их в восьми рядах; общая длина составила 2161м. глубина зон цементации было уменьшена до 2,5 м. Время схватывания силикатных растворов было уменьшено до 15мин, а коэффициенты μ и β были приняты соответственно 0,16 и 6. Цементные растворы применялись только с добавкой глины при глинисто-цементной отношении 0,25. После нагнетания в основные скважины было пробурено 19 контрольных и 8 дополнительных для усиления консолидации сомнительного участка.

Проходка второго участка велась так же, как и первого с той только разницей, что к расширению нижней половины сечения приступили лишь после окончания расширения и закрепления верхней половины на всей длине, так как опыт работы на первом участке показал неудобство работы с уступом [2].

Силикаты играют значительную роль в создании водонепроницаемости бла-

годаря заполнению силикатным гелием. Кроме того, они увеличивают сцепление. Большим преимуществом силикатов является возможность нагнетания их при относительно малом давлении по сравнению с цементными растворами.

Влияние силикатизации на инъекцию цементных растворов играет второстепенную роль. Силикатизация позволяет избежать слишком быстрого обжатия воды.

При цементации применение глинисто-цементных растворов представляет более эффективным. При нагнетании под большим давлением цементные растворы, проникая в более слабые прослойки обжимают, породы.

Цементный камень, таким образом, играет роль не только водонепроницаемого элемента. Он отжимает воду уже засиликатизированных масс породы, уплотняет её и увеличивает сцепление, благодаря чему порода делается также водонепроницаемой и более прочной.

Однако не следует, рассматривать примененный метод закрепления слабых грунтов как универсальный для всех аналогичных случаев. В каждом частном случае необходимо предварительно тщательно изучить местные условия и характеристики пород: их гранулометрию, физико-механические свойства, химический состав, давление грунтовых вод и т.д.

Вопрос с максимальным допускаемым давлением цементации является весьма важным. Если давление превысит критическое для данных структуры скального массива и глубины, возможны нарушения в массиве, возникновение в нем трещин, поднятие пластов, а иногда и самой плотины, если цементация ведется после её частичного возведения. Поэтому к назначению максимальных давлений следует подходить весьма осторожно. Большое значение проведения до начала основных цементационных работ так называемой опытной цементации.

В дополнение к цементационным за-весам считается обязательной площад-ная цементация всей площади основания плотины на глубину от 5 до 10м. Напри-мер плотины строящейся Рогунская ГЭС будет самой высокой в мире плотиной из грунтовых материалов – 335м. Длина плотины по гребню – 612м. В плотину предстоит уложить 71,3 млн.м3 грунта. плотина включает в себя наклонное ядро из обогащенной щебенисто – суглинистой смеси фильтры из дробленного и отсо-ртированного галечникового материала и упорной призмы камнем. По подошве ядра предусматривается площадочная

цементация на глубину 8м. Котлован под ядра покрывается бетоном толщиной 20см. По контуру ядра предусмотрена двухрядная глубинная цементационная завеса на глубину 50м.

Укрепительная цементация, который производится для заполнения раствором зазоров и пустот между обделкой и по-родной стенки, между обделкой и под-порной стенки, между стальной облицов-кой и бетоном.

В таблице 1 приведены фактические данные по заполнительной цементации некоторых тоннелей [1].

Таблица 1

Объект	Диаметр, м	Толщина обделки (минимальная), м	Характеристики пород	Тип временной крепи	Наибольшая давления нагнетания, атм	Шаг скважины	Расход раствора 1 м ² поверхности обделки
Строительный тоннель 1-го яруса Чарвакской ГЭС	11	0,8	Известняк трещиноватый, коронку	Арочная с затяжкой	6-12	2-5шт, 2.5м	0,274
Строительный тоннель Сарсанского гидроузла	4.4x6.4	0,3	Тудлоб-рекчий	Арочная с затяжкой	3	-	0,25
Деривационный тоннель Ингурской ГЭС	9.5	0,5	Известняк	Арочная анкерная	6	6-7шт, 2м	0,115
Напорные тоннели Капчагайской ГЭС (две первые нитки)	8	0,8	Порфирит	Анкерная	4	2-3шт, 3м	0,057
Подводящий тоннель Атбалинской ГЭС	5	0,25	Известняк крепкий	Анкерная крепкий	2	2-3шт, 3м	0,014

Из таблицы видно, что тоннели с временной арочной крепью с затяжкой имеют большие поглощения растворов. Это объясняется тем, что имеющиеся пустоты за затяжкой крепи не могут быть заполнены бетоном во время бетонирования. В тоннели с анкерной крепью поглощения раствора невелики, так как имеющиеся переборы заполняются бетоном во время бетонирования (кроме замка свода).

В технологии ведения работ по дополнительной цементации намечается, и осуществляются следующие основные изменения по сравнению с ранее существующей:

1. Скважины 2-й очереди заглубляются в скалу на 0,3-0,4 м одновременно с заполнением пустот между бетоном и скалой, этим достигается заполнение крупных трещин, имевшихся в породе или образовавшихся там, в процессе проходки выра-

ботки, особенно в напорных тоннелях, в которых не предусматривается укрепительная цементация.

2. Состав цементно-песчаного раствора для высоконапорных тоннелей (при больших пустотах за обделкой) подбирается не только по прочности, но и по необходимой величине его модулю упругости.

3. При цементации скважин рядов 2-ой очереди применяется повышенные давления (до 8-12 атм).

Укрепительная цементация горных пород производится с целью улучшения упругих и противодиффузионных свойств пород обжатия обделки и её частичной изоляции от агрессивных грунтовых вод.

В таблице 2 приведены фактически данные по укрепительной цементации тоннелей.

Таблица 2

Объект	Глубина скважин, м	Шаг скважин	Давление цементации (наибольшее), атм	Расход цемента на 1 м ³ закрепленной скалы, кг
Напорный тоннель Чарвакской ГЭС (правая нитка) напор 100-135 м. Основная цель цементации увеличения коэффициенты упругого отпора	2,4	12 шт, 3 м	1,5	2,33
Строительный тоннель I-го яруса Чарвакской ГЭС. Напор грунтовых вод 75 м. Основная цель цементации увеличения коэффициенты упругого отпора	4,2	9 шт, 6м	15	1,47
Напорный тоннель Капчагайской ГЭС. Две нитки. Напор 46 м. Основная цель цементации увеличения коэффициенты упругого отпора пород.	3	10 шт, 3м	8	12,0
Строительный тоннель Ингурской ГЭС	10	17 шт, 2 м	15	17,0
Подводящий тоннель Атбашинской ГЭС. Напор 20м. Основная цель цементации увеличения коэффициенты упругого отпора пород	3	6 шт, 3 м	7	0,92

Из таблицы 2 глубина зоны цементации в тоннелях составляют более 0,8 диаметра выработки, но не менее зоны уплотнения пород вследствие проходки и взрывных работ. Однако в некоторых тоннелях, например в строительстве Ингурской ГЭС глубина цементации завышена и могла бы быть сокращены.

Величины давления цементации, хотя превышает внутренний напор в сооружениях, но во многих случаях занижена, например, в тоннелях Атбашинской, Чарвакской и Капчагайской ГЭС, где давление необходимо и возможно было увеличить до 20-30 атм.

При строительстве подводного тоннеля длиной 2680м гидроэлектростанции мощностью 54 МВт на р. Рио Эюме, проходящего в весьма разнообразных геологических условиях, с целью определения возможного сокращения длины участков с железобетонной обделкой и требуемого объема цементации были проведены: исследования микро-сейсмическим методом по всей длине тоннеля, позволившие установить участки нарушенных пород и спроектировать соответствующие обделки; исследования сейсмо-акустическим методом после окончания обделки и первичной цементации; повторная цементация на выявленных исследованиями участках слабых пород.

Сравнение динамических модулей упругости до и после цементации показало общее улучшение, упругих свойств скальных пород. Потери воды на всем протяжении тоннеля составили всего 8 л/сек [2].

Результаты ранее проводимых исследований механических свойств скальных массивов в основаниях ряда плотин до и после укрепительной цементации таковы в разных геологических условиях.

В бортах плотины Розелан, сложенных кристаллизованными сланцами, скорость распространения сейсмических волн до цементации 2750 м/сек, а после цемента-

ции 3800 м/сек, что свидетельствует о значительном повышении модуля упругости массива.

В напорной тоннеле Розелан-Бати после проведения глубокой (до 4м) укрепительной цементации в три приема, сначала при 6м, затем при 25 и при 85 атм; динамические модули упругости скалы в непосредственной близости к обделке повысились от 40-70 до 100-110 тыс. кг/см². На расстоянии 2м от обделки заметного повышения модуля не наблюдалось.

В основании плотины Д1Авек, сложенном кварцитами и сланцами, модули упругости в одних зонах повысились после цементации с 125 до 140-170, а в других с 50 до 150 тыс.кг/см².

В основании плотины Сан Кассьен, сложенном гнейсами, деформации под нагрузкой 100 кг/см² составили:

-по вертикали до цементации, произведенной при давлении от 10 до 40 атм в различных точках 0,59;1,76;3,56;1,45 мм и после цементации соответственно 0,20;0,62;2,38 и 0,74 мм.

-по горизонтали до цементации 0,94; 0,74; 1,69; 1,08 а после цементации соответственно 0,62; 0,31; 1,01 и 1,34 мм.

Все эти данные убедительно говорят о значительном эффекте цементации с точки зрения улучшения деформативных свойств оснований.

Цемент для тампонажных растворов может быть любых марок, однако целесообразнее применять цементы марок 400-500.

Для облегчения нагнетания и уменьшения расслоиваемости раствора и возможность сроков схватывания в раствор вводят специальные добавки, придающие им требуемые свойства.

Первичные нагнетание производят пневматическим нагнетателями под давлением 0,5 МПа. Контрольные нагнетания цементного раствора за обделку производят раствора насосами высокого давления [3].

Отсюда можно сделать следующие выводы:

- силикаты играют значительную роль в создании водонепроницаемости благодаря заполнению силикатным гелием, и они увеличивают сцепление большим преимуществом силикатов, являющейся возможность нагнетания их при относительно малом давлении по сравнению с цементным раствором. Силикатизация позволяет избежать слишком быстрого обжата воды;

- при цементации применение глинистого-цементных растворов представляется более эффективным. При нагнетании под большим давлением цементные растворы, проникая в более слабые толщи прослойки, обжимают породу;

- цементный камень играет роль не только водонепроницаемого элемента. Он отжимает воду из уже засиликатизированных масс породы, уплотняет её и увеличивает сцепление, благодаря чему породы делается также водонепроницаемым и более прочной.

- однако не следует, рассматривать примененный метод при проходке участка тоннеля Розелан- Бати (Франция) для закрепления слабых грунтов как универсальный для всех аналогичных случаев. В каждом частном случае необходимо предварительно тщательно изучить местные условия и характеристики пород: их гранулометрию, физико-механические свойства, химический состав, давление грунтовых вод и т.д;

- консолидации скального массива вокруг подземных сооружений и оснований плотин строящейся ГЭС-ы в Республики Таджикистан можно предусмотреть большие работы по устройству цементированных завес и цементации породы за обделками сооружений и плотин, чтобы предотвратить фильтрацию воды, чтобы избежать значительного их давления и горного давления на обделку подземных сооружений.

Литература

1. Горные и взрывные работы в гидротехническом строительстве. Сборник материалов производственно-технического совещания по организации и технологии строительства подземных гидротехнических сооружений. Тула. 1973 г.
2. Проектирования и строительство больших плотин. Издательства. «Энергия» Москва. 1966 г.
3. Насонов И.Д. и др. Технология строительства подземных сооружений. М. Недра. 1992 г.
4. Картозия Б.А., Федунец Б.И., Шуплик М.Н. и др. Шахтное и подземное строительство. Том1. М, Изд-во, Академии горных наук, 2001. - 607 с.
5. Хасанов Н.М., Хасанов М.Н. Влияние сейсмических воздействий взрывов на устойчивость гидротехнических сооружений // V Международная (XI Всероссийская конференция) Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020. 25-26 ноября. ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова». -С.230-237
6. Хасанов Н.М., Сулейманова М.А., Якубов А.О. Устойчивость гидротехнической тоннели Нурекской ГЭС при сейсмическом воздействии // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2018. № 1 (41). -С. 276-284.
7. Хасанов Н.М., Сулейманова М.А. Выбор методов предварительного укрепления и снижения водопроницаемости грунтов и горных пород в зонах тектонических нарушений Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. 2016. № 1-1 (192). С. 202-205.
8. Мостов В.М. Прогрессивные методы строительство гидротехнических тоннелей в скальных породах // Москва, Оргэнергострой, 1957 г

9. Хасанов Н.М. Ятимов А.Дж. Обеспечение устойчивости горных выработок в глубоких горизонтах массива горных пород // VII - МНПК «Перспективы развития науки и образования», Душанбе, ТТУ. 2014. -С. 150-152.

МУСТАҲКАМГАРДОНИИ АСОСИ САРБАНД БО УСУЛИ СЕМЕНТКУНОНӢ

Хасанов Н.М., Саидов М.Х., Чуракулов М.Р.

Аннотатсия: Дар мақола таҷрибаи корҳои мустаҳкам намудани сементатсионии иншоотҳои зеризаминӣ ва асоси сарбанд дар сохтмони иншооти гидротехникӣ дарҷ гардидааст. Муқоиса намунаи таҷрибаҳои сохтмони баъзе стансиҷаҳои электрикии оби хориҷи барои бетонрезии иловагӣ ва мустаҳкамкунӣ оварда шудааст. Инчунин, намудҳои асосии корҳои сементатсионӣ мавҷуданд, ки ҳангоми коркарди иншооти зеризаминӣ анҷом дода шудааст. Технология ва натиҷаҳои истифодаи усули пуркунӣ дар мисолҳои гузариши нақби фишори НБО-и Розелан-Бати (Франсия) оварда шудаанд ва натиҷаҳои табиқи усули тавсифишуда самаранокӣ онро нишон медиҳанд.

Калидвожаҳо: факторҳои геологӣ, тарқишҳо, сарбанд, чаппашавиҳо, деформатсия, мустаҳкамгардонӣ, пуркунӣ, усул, самаранокӣ.

STRENGTHENING OF DAM BASES OF HYDRAULIC STRUCTURES BY GROUTING METHOD

Khasanov N.M., Saidov M.H., Dzjurakulov M.R.

Annotation: The article deals with the experience of strengthening grouting works in underground structures and dam bases in hydrotechnical construction. Examples of experiments in the construction of some foreign hydroelectric power plants have been carried out comparing additional and strengthening grouting before and after. The basic types of grouting works carried out during the development of underground structures are presented. The technologies and results of using the injection method by examples of driving the pressure tunnel of the Roselan-Bati hydroelectric power station (France) and the results of using the described method indicate its effectiveness are given.

Key words: geological factors, fractures, dams, dumps, zakoly, deformations, strengthening, injections, method, efficiency.

Сведение об авторах: Хасанов Н.М. – д.т.н., и.о. проф кафедры «Основания, фундаменты и подземные сооружения» Таджикского технического университета им. М.С. Осими; Саидов – к.т.н., доцента кафедры «Теоретическая механика и сопротивление материалов» Таджикского технического университета им. М.С. Осими; Джуракулов М.Р. – к.т.н., и.о. доцент кафедры «Материалы, технология и организация строительство» Таджикского технического университета им. М.С. Осими.