

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)

Утверждено на заседании  
кафедры инженерной  
геологии, оснований и  
фундаментов.  
«27» сентября 2019г.

**Методы усиления грунтов основания**

Методические указания по изучению дисциплины для  
магистрантов, обучающихся по направлению 08.04.01  
«Строительство»

Ростов-на-Дону  
ДГТУ  
2019

УДК 624.138  
ББК38.58  
Д64

Методы усиления грунтов основания: методические указания по изучению дисциплины для магистрантов, обучающихся по направлению 08.04.01 «Строительство». – Ростов-на-Дону: ООО «ДГТУ-принт». 2019. 20 с.

Методические указания содержат цель и задачи дисциплины, ее содержание. Приведены классификация методов усиления грунтов основания, требования к проекту усиления грунтов, пример расчета технологических параметров и типовые задачи при укреплении грунтов основания. Даны контрольные вопросы, темы рефератов и список литературы.

Составители:  
профессор П.Н.Должиков  
ассистент В.М. Талалаева

Рецензент:  
доцент. В.Ф. Акопян

© Донской государственный  
технический университет,  
2019

## **1. Введение. Цель и задачи предмета**

В промышленном и гражданском строительстве очень часто приходится вести работы в сложных инженерно-геологических условиях. Это обусловлено залеганием слабоустойчивых, обводненных и специфических грунтов в основании. Наряду с этим, все более чаще строители сталкиваются с проблемой реконструкции основания. Одной из главных причин аварийного состояния зданий и сооружений является потеря несущей способности основания фундаментов в результате техногенного воздействия. Поэтому при формировании или реконструкции основания необходимо применение специальных способов усиления и водоизоляции грунтов.

Эта задача является сложной по двум причинам: каждый объект привязан к сугубо индивидуальным инженерно-геологическим условиям; существующие специальные способы формирования искусственных оснований не всегда соответствуют условиям строительства и дают положительный результат.

Для повышения прочности фундамента и основания эксплуатируемых зданий и сооружений и предупреждения развития в их конструкциях деформаций аварийного характера, а также для работ по реконструкции существующих фундаментов и их оснований широко используют разные методы укрепления. Сегодня существует много способов укрепления оснований фундаментов (армирование грунта, водопонижение, замораживание, цементация, силикатизация, химический метод, электросиликатизация, смолизация, термическое укрепление). Фундаменты также могут быть усилены путём цементации или сооружения защитной стены по периметру фундамента, изготовленной из забивных, буронабивных или

буроинъекционных свай и др. Применение каждого метода определяется инженерно-геологическими условиями, требованиями к конструкции основания и наличием материалов и средств, их эффективностью.

Поэтому при подготовке магистров в области строительства профессионально необходимо изучение дисциплины «Методы усиления грунтов основания».

Цель освоения дисциплины: правильно оценивать и использовать в строительстве информацию о сложных инженерно-геологических условиях и методах усиления грунтов основания, обоснованно выбирать технологические схемы и оборудование для укрепления грунтов.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные критерии и методы оценки сложных инженерно-геологических условий;
- методы конструктивного упрочнения грунта;
- методы физико-механического упрочнения грунтов;
- методы физико-химического упрочнения грунтов;
- технологические схемы и оборудование применяемые при упрочнении грунтов основания.

Уметь:

- анализировать и оценивать инженерно-геологические условия строительства объектов ПГС;
- обоснованно выбирать метод упрочнения слабых грунтов и рассчитывать параметры искусственного основания фундамента;
- рассчитывать технологические параметры и экономическую эффективность методов упрочнения грунтов в сложных инженерно-геологических условиях.

Владеть:

- профессиональным мастерством воспринимать и правильно использовать в своей работе инженерно-геологическую информацию и обоснованно применять технические мероприятия по упрочнению грунтов основания, в том числе проектировать технологические параметры и схемы с использованием ПВК.

## **2. Содержание предмета**

При изучении данного предмета обучающийся слушает лекции, выполняет практические работы, самостоятельно работает с литературой и электронными ресурсами, в заключение готовит реферат и сдает зачет. Тема реферата выбирается по контрольным вопросам.

Темы лекций.

1. Свойства грунтов и геологические процессы в сложных инженерно- геологических условиях. Классификация методов улучшения свойств грунтов.
2. Конструктивные методы упрочнения грунтов. Грунтовые подушки, шпунтовые ограждения, армирование грунтов.
3. Физико-механические способы уплотнения грунтов. Уплотнение и трамбование грунтов, водопонижение.
4. Физико-химические методы упрочнения грунтов. Цементация грунтов: схемы, растворы, оборудование.
5. Химизация грунтов: растворы, схемы, оборудование.
6. Силикатизация однорастворная и двухрастворная. Схемы и оборудование.
7. Электрохимическая обработка грунта: виды, технологические параметры и оборудование.

Темы практических занятий.

1. Определение физико-механических свойств грунтов. Критерий устойчивости.

2. Определение фильтрационных свойств грунтов. Критерии обводненности.
3. Общие требования к проекту укрепления оснований. Водопонижение в грунтах.
4. Параметры армирования грунтов.
5. Замораживание грунтов в строительстве.
6. Расчет параметров уплотнения грунтов. Подпорные стены.
7. Методика расчета параметров цементации грунтов.
8. Примеры цементации грунтов при строительстве объектов.
9. Расчет параметров химического закрепления грунтов.
10. Глинизация и битумизация грунтов.
11. Методика проектирования закрепления грунтов силикатными растворами.
12. Параметры электрохимического закрепления грунтов.
13. Глино-цементация грунтовых оснований. Ресурсосберегающие суспензии при тампонаже и укреплении грунтов.
14. Методы контроля качества усиления грунтов.

### **3. Классификация методов усиления грунтов**

Сложные инженерно-геологические условия характеризуются широким спектром свойств грунтов. С другой стороны, современное строительство выдвигает новые требования к основаниям. Поэтому на протяжении многих лет многочисленные НИИ, ВУЗы, проектные и специализированные предприятия разрабатывали методы усиления и водоизоляции грунтов оснований для решения возникающих проблем строительства.

Сегодня известно около ста методов укрепления и водоизоляции грунтов, применяемых в различных видах строительства. Например, только метод цементации

грунтов имеет более десяти разновидностей. При этом каждый метод имеет строгую область применения по грунтовым условиям. В этой связи разработаны классификации этих методов по различным признакам (вид воздействия на грунт, коэффициент фильтрации грунта, инъекционный раствор и др.). По области применения специальных методов строительства всегда необходимо применять классификацию профессора Ржаницина Б.А. На рисунке 1 приведена наиболее распространенная классификация методов усиления грунтов, где по способу воздействия на грунт они разделены на конструктивные, физико-механические, физико-химические.

#### **4. Общие требования к проекту усиления грунтов**

Основания и фундаменты повышенной несущей способности должны проектироваться на основании:

- инженерно-технологических и гидрогеологических изысканий площадки и данных лабораторных исследований грунтов;
- результатов лабораторных и опытно-производственных работ по химическому закреплению либо армированию грунтов;
- технической документации, отражающей конструктивные особенности зданий и сооружений, их назначение и условий эксплуатации;
- натурных обследований и данных наблюдений за осадками зданий и сооружений;

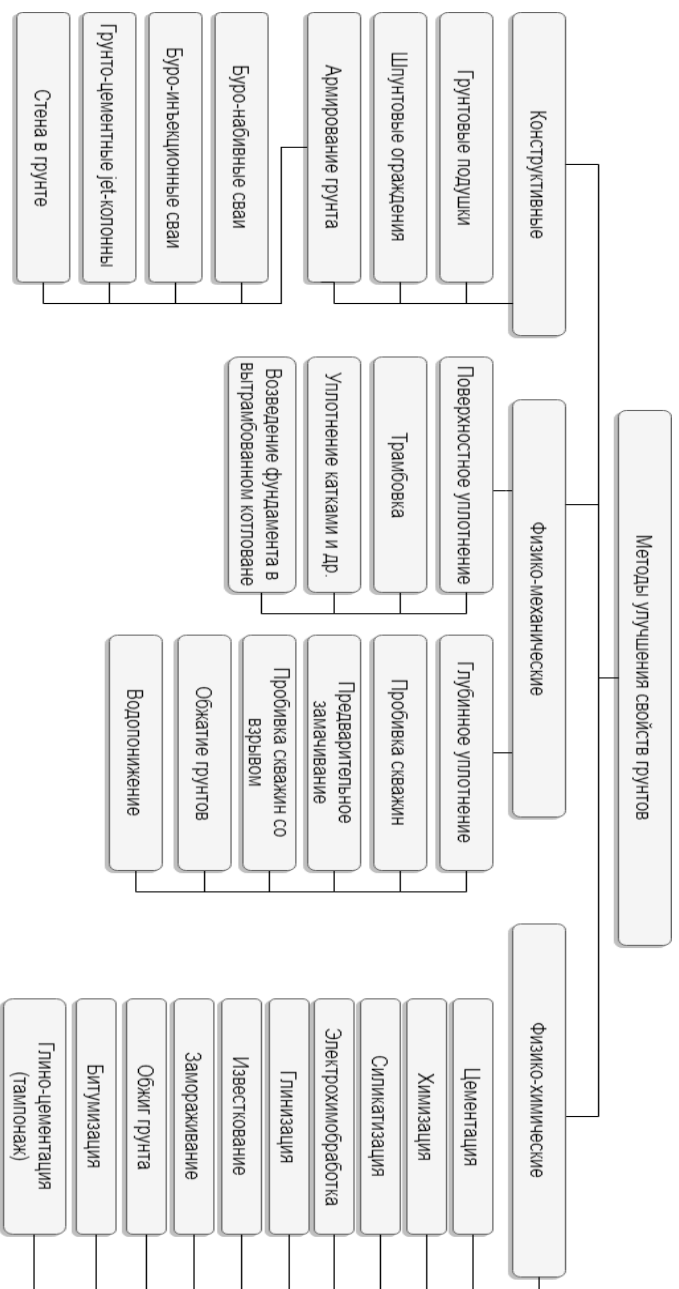


Рис.1. Классификация методов усиления грунтов.



- данных о наличии реагентов, материалов, оборудования и технической возможности выполнения работ;
- действующих нормативных документов (СНиП 2.02.01, 2.02.03, 3.02.01, СП 50-101, 50-102, 22. 13330 и др.)

Проект укрепления грунтов основания фундаментов должен содержать:

- данные о нагрузках и воздействиях на грунты основания;
- пояснительную записку с описанием принятого способа закрепления, параметров крепящих растворов, конструктивной схемы усиления грунтов основания и опытных работ;
- параметры закрепления, определенные по данным лабораторных либо полевых исследований;
- графическую часть, включающую план расположения зон закрепления или армозащитных элементов, мест бурения скважин и погружения инъекторов с нанесением направленных гидроразрывов; геологические разрезы с указанием положения инъекторов по глубине и радиусов закрепления; количество заходов и их размеры; места выполнения контрольных инъекций; примечания, отражающие особенности проекта;
- результаты расчета основания из армированного или закрепленного грунта по предельным состояниям, согласно СНиП 2.02.01 и СП 50-101 для системы «сооружение-фундамент-основание», с учетом свойств закрепленных и незакрепленных массивов;
- подсчет объемов работ и расхода материалов;
- описание производства работ, контроля качества и техники безопасности;

- сметную документацию;
- данные общего характера по вспомогательным работам и мероприятиям, обеспечивающим производство работ в зимнее время.

В силу узкоспециализированного характера технологии закрепления грунтов проектирование, проект производства работ, контроль качества и приемка могут совмещаться в едином проекте укрепления грунтов.

При разработке проектов применяются различные конструктивные схемы закрепления и армирования грунтов в основании зданий и сооружений в зависимости от типа их фундаментов, грунтовых условий, способа закрепления и решаемых задач.

Основание повышенной несущей способности должно быть запроектировано с условием исключения недопустимых неравномерных осадок сооружения при замачивании грунта в пределах деформируемой зоны или просадочной толщи.

Выбор способа и конструктивной схемы закрепления или армирования должен производиться на основании технико-экономического сравнения возможных вариантов проектных решений, обеспечивающих наиболее полное использование прочностных и деформационных характеристик грунтов, с учетом наличия необходимого оборудования, материалов и местного опыта строительства. Состав контролируемых показателей, предельные отклонения, объем и методы контроля качества должны соответствовать обязательным требованиям СНиП 3.02.01, СП 50-101, 50-102, 22.13330 и другим по улучшению строительных свойств грунтов основания зданий и сооружений способами инъекции химических растворов, армирования вспененными цементогрунтовыми растворами

через инъекционные трубки, устанавливаемые в теле фундамента, армирования сваями-инъекторами и буронабивными элементами.

## **5. Пример расчета технологических параметров усиления грунтов методом цементации**

На участке строительства жилого дома изыскания показали залегание неустойчивых и обводненных грунтов в пределах сжимаемой толщи под фундаментом.

Инженерно-геологические условия:

- ИГЭ-1 – суглинок четвертичный, влажный, мощностью  $h_1=3\text{м}$ ;

- ИГЭ-2 – крупнозернистый неогеновый обводненный песок мощностью  $h_2=5\text{м}$ ; пористость  $n=0,3$ ; коэффициент фильтрации  $K_f=20\text{м/сут}$ ;

- ИГЭ-3 – плотные неогеновые глины мощностью  $h_3=3\text{м}$ .

Гидродинамические исследования в скважинах показали, что удельное водопоглощение составляет  $q=50\text{ л/ (мин.м.кПа)}$ .

Исходя из инженерно-геологических условий, для упрочнения и водоизоляции песка принимается метод цементации. По таблицам определяем, что необходимо применить портландцемент М400 при показателе В/Ц=1:1. При количестве цемента  $Ц=0,756\text{ т/м}^3$  получим плотность цементного раствора  $\rho=1,5\text{ г/см}^3$ , динамическое напряжение сдвига  $\tau_0=25\text{--}30\text{ Па}$ , время схватывания 4-6 часов, выход цементного камня -70%.

Выбираем схему инъекции – циркуляционную; насос с расходом  $Q=15\text{ л/мин}$ , давлением  $P_H=0,6\text{ МПа}$ , максимальное время инъекции  $t=6\text{ ч}$ . Схема инъекции

цементного раствора в обводненный грунт приведена на рисунке 2.

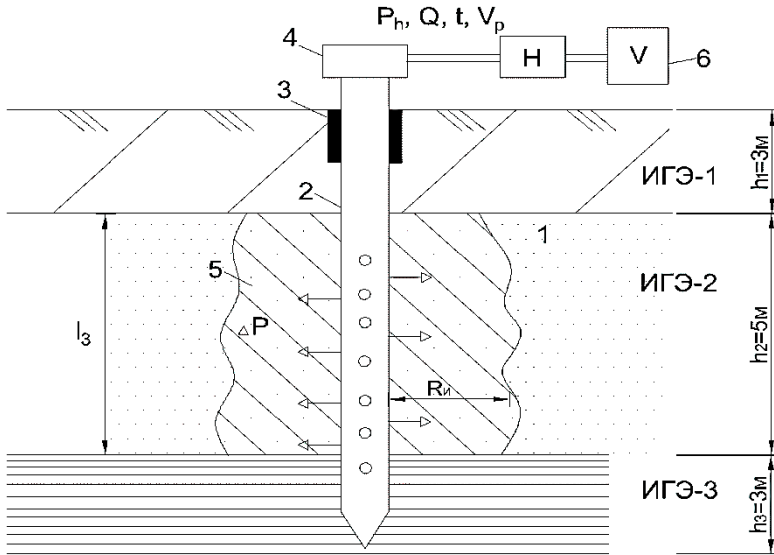


Рис.2. Схема иньекции цементного раствора в обводненный грунт: 1 – песок; 2 – иньектор; 3 – пакер; 4 – наголовник; 5 – зона закрепления; 6 – иньекционный комплекс.

Определим радиус иньекции цементного раствора:

$$R_{и} = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{\pi \cdot H \cdot n \cdot k_n}} = \sqrt{\frac{15 \cdot 10^{-3} \cdot 60 \cdot 6}{\pi \cdot 5 \cdot 0,3 \cdot 0,85}} = 1,16 \text{ м},$$

где  $k_n$  – коэффициент неравномерности заполнения пор.

Для обеспечения площадного распространения раствора выбираем шахматную схему расположения иньекторов.

Находим расстояние между инжекторами:

$$a = 1,73 R_{\text{и}} = 2\text{м},$$

и между рядами:

$$b = 1,5 R_{\text{и}} = 1,75.$$

При этом степень перекрытия зон инъекции составит не менее 0,25.

Для котлована с размерами  $b_{\text{к}}=14\text{м}$  и  $l_{\text{к}}=20\text{м}$  графо-аналитическим способом располагаем скважины и находим общее их количество (рисунок 3):

$$n_c = \frac{l_{\text{к}}}{a} \cdot \frac{b_{\text{к}}}{b} = 10 \cdot 8 = 80 \text{ шт.}$$

Определяем количество заходов инъектирования песка из расчета глубины заходки:

$$l_{\text{к}} = \frac{k_{\text{п}} \cdot \theta \cdot Q}{q \cdot H \cdot n_c} = \frac{1,5 \cdot 0,7 \cdot 15}{50 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 1,2} = 5,25 \text{ м},$$

где  $k_{\text{п}}$  – коэффициент концентрации раствора;

$\theta$  – параметр способа нагнетания (для циркуляционного  $\sim 0,7$ );

Поскольку средняя длина заходки составляет 5м, то работы выполняются в одну заходку.

Находимый объем инъекции в одну скважину:

$$\begin{aligned} V_1 &= \alpha \cdot k \cdot \pi \cdot R_{\text{и}}^2 \cdot n \cdot H = \\ &= 0,75 \cdot 1,2 \cdot 3,14 \cdot 0,3 \cdot 1,35 \cdot 5 = 5,7 \text{ м}^3, \end{aligned}$$

где  $k$  – коэффициент запаса;

$\alpha$  – коэффициент потерь.

Следовательно, общий объем раствора равен:

$$V_{\text{общ}} = n_c \cdot V_1 \cdot \xi = 80 \cdot 5,7 \cdot 0,7 = 320 \text{ м}^3.$$

Общий расход цемента составит:

$$\Pi_{\text{общ}} = 320 \cdot 0,756 = 242 \text{ т.}$$

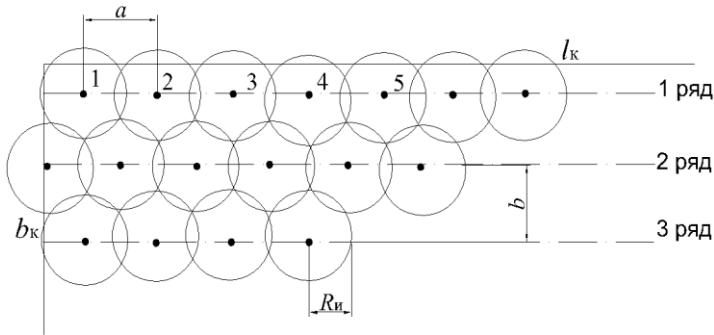


Рис.3. Схема расположения иньекторов по котловану

Определяем технологические параметры цементации грунта. Находим перепад давления раствора в зоне иньектирования:

$$\Delta P = \frac{\tau_0 \cdot r \cdot n \cdot R_{и}}{2 \cdot \alpha \cdot K_{п}} = \frac{25 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4} \cdot 0,3 \cdot 1,16}{2 \cdot 1,5 \cdot 22 \cdot 10^{-10}} = 0,47 \text{ МПа},$$

где  $r$  – радиус фильтрационного канала,  
 $K_{п}$  – коэффициент проницаемости песка,  
 $\alpha$  – эмпирический коэффициент.

Рассчитываем давление на насосе:

$$P_{н} = \Delta P + P_{т} - \rho g h + P_{к},$$

где  $P_{т}$  – потери давления в трубах (для цементации 1,2 МПа на 100м);

$P_{к}$  – пластовое давление.

$$P_{н} = 0,47 + 0,12 - 0,12 = 0,47 \text{ МПа} = 4,7 \text{ кг/см}^2.$$

Закладываем контроль качества цементации песка: входной, текущий, заключительный.

Входной контроль: марка цемента, плотность раствора, выход цементного камня не менее 70%.

Текущий контроль: расход раствора, давление нагнетания, объемы инъекции в каждую скважину.

Заключительный контроль: бурение трех контрольных скважин с отбором керна; испытание грунта по полному комплексу (физико-механические, деформационные, прочностные свойства); гидродинамические исследования в скважинах.

## **6. Типовые задачи для самостоятельного решения**

### ***6.1. Проектирование технологических параметров грунтов в режиме гидрорасчленения.***

При строительстве климатопавильона на наклонной поверхности ( $\alpha=45^\circ$ ) выполнена подсыпка суглинка с известняковым наполнителем площадью  $8 \times 20 \text{ м}^2$  и мощностью от 2 до 5 м. Ниже расположен известняк мощностью 5 м. На насыпном грунте устроена железобетонная плита толщиной 20 см. Модуль общей деформации суглинка  $E=10 \text{ МПа}$ , относительное сжатие  $\Delta h=7 \text{ см/м}$ .

Необходимо определить технологические параметры цементации насыпного грунта в режиме гидрорасчленения при использовании цементно-силикатного раствора (схема и параметры расположения инъекторов; объем раствора и расход материалов; давление инъекции).

### ***6.2. Проектирование химического закрепления просадочных лессовых грунтов.***

Проектируется цех с размерами в плане  $36 \times 48 \text{ м}$ , цех трехпролетный (по 12 м), шаг колонн – 12 м. Под колонны устанавливается фундамент ФА4-1 ( $2,1 \times 1,8 \text{ м}^2$ ).

Инженерно-геологические условия строительства:

- ИГЭ-1 – песок мелкозернистый мощностью 1,8м;
- ИГЭ-2 – супесь лессовидная, просадочная, мощностью 6м;  $K_f=0,5$  м/сут;  $n=0,5$ ;
- ИГЭ-3 – глина плотная мощностью 3,4м.

Задача: сформировать искусственное основание под каждым фундаментом в области лессовидной супеси на глубину 6м методом смолизации крепителем КМ. Для этого обосновать схему расположения инъекторов под фундаментами; определить объем и давление инъекции раствора.

### ***6.3. Проектирование параметров силикатизации обводненных песков.***

При строительстве многофункционального здания с подземными гаражами в плотной городской застройке на глубине 3 м вскрыт обводненный песок мощностью 8 м. Свойства песка:  $W_e=0,12$ ;  $\rho=2,67$  г/см<sup>3</sup>;  $n=0,41$ ;  $K_f=1,5$  м/сут;  $C=0$ ;  $\text{tg}\varphi=0,66$ .

Для предотвращения деформирования соседнего здания необходимо выполнить укрепление песка под существующим фундаментом, длиной 7м, методом однорастворной силикатизации. Для этого необходимо обосновать схему расположения инъекторов, расход раствора и давление нагнетания. Рекомендуется выбрать комбинированную схему инъекции жидкого стекла ( $\rho=1,04$  г/см<sup>3</sup>) с кремнефтористоводородной кислотой ( $\rho=1,037$  г/см<sup>3</sup>) при соотношении 10:1.

### ***6.4. Применение электрохимического закрепления грунта.***

Под фундаментом жилого здания с размерами в плане 12х20м залегает неустойчивые обводненные суглинки четвертичные мощностью 5м. Свойства суглинка:  $W_e=0,25$ ;  $C=0,3$  МПа;  $\varphi=16^\circ$ ;  $n=0,4$ ;  $K_f=8 \cdot 10^{-8}$  м/с;  $\rho=15$  Ом·м;  $\sum Q=1020$  мг/100г;  $K_3=5,6 \cdot 10^7$  м<sup>2</sup>/В·с.



Необходимо обосновать технологические и режимные параметры электрохимической обработки суглинка с инъекцией  $\text{CaCl}_2$  при  $\rho=1,06\text{г/см}^3$  и плотности тока между электродами  $j=15\text{ А/м}^2$ . Определить объем раствора, затраты электроэнергии, время пропускания тока.

## 7. Контрольные вопросы

1. Физико-механические свойства грунтов.
2. Специфические грунты. Критерии устойчивости грунтов.
3. Методы определения фильтрационных свойств грунтов. Показатели обводненности.
4. Опасные инженерно-геологические процессы в грунтах.
5. Характеристики сложных инженерно-геологических условий.
6. Классификация методов улучшения свойств грунтов.
7. Общие требования к проекту укрепления оснований.
8. Конструктивные методы упрочнения грунтов.
9. Водопонижение в грунтах.
10. Замораживание грунтов в строительстве.
11. Применение шпунтовых ограждений.
12. Методы устройства грунтовых подушек. Подпорные стены.
13. Армирование грунтов: сущность и технологические принципы.
14. Физико-механические способы уплотнения грунтов.
15. Общая характеристика физико-химических методов упрочнения грунтов.
16. Сущность инъекции пористых и трещиноватых грунтов.
17. Цементные растворы.
18. Методика расчета технологических параметров цементации грунтов.
19. Технологические схемы цементации грунтов.
20. Упрочнение грунтов полимерными смолами.

21. Методика расчета параметров химизации грунтов.
22. Силикатизация грунтов: виды и физико-химическая сущность.
23. Однорастворная силикатизация грунтов.
24. Двухрастворная силикатизация грунтов.
25. Общая характеристика электрохимической обработки грунтов: виды, область применения, режимы.
26. Электроосушение глинистых грунтов.
27. Электролитическая обработка грунтов.
28. Электросиликатизация обводненных грунтов.
29. Технологические и режимные параметры электрохимического закрепления грунтов.
30. Методика проектирования электрохимической обработки грунтов.
31. Глино-цементные растворы и их применение при тампонаже грунтов. Ресурсосберегающие тампонажно-закладочные суспензии.
32. Тампонаж обводненных пород. Глинизация и битумизация грунтов.
33. Методы контроля качества укрепления и водоизоляции грунтов.

## 8. Литература

1. Инженерная геология: Учебник/ В.П.Ананьев, А.Д. Потапов –М.:Высшая школа. 2005. 575с.
2. Специальная инженерная геология: Учебник/ В.П.Ананьев, А.Д. Потапов – М.: ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2017. 356с.
3. Прокопов А.Ю., Акопян В.Ф., Ткачева К.Э. Изыскания в сложных инженерно-геологических условиях: Уч. пособ. – Ростов-на-Дону: РГСУ.2015. 85с.
4. Гончарова Л.В. Основы искусственного улучшения грунтов. –М.: Изд. МГУ,1973. 376с.
5. Исследования параметров химического и электрохимического закрепления грунтов/ П.Н. Должиков, А.А. Шубин, С.Г. Страданченко – Новочеркасск: ЮРГТУ. 2009.198с.
6. Коновалов П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. – 4-е изд. – М.: Бумажная галерея. 2000.318с.
7. Физико-химическое укрепление пород при сооружении выработок/ В.А. Хямяляйнен, В.И. Митраков, П.С. Сыркин – М.: Недра.1996. 352с.
8. Тампонаж обводненных горных пород. Справочное пособие/ Э.Я. Кипко и др. – М.: Недра. 1989. 318с.
9. Должиков П.Н., Збицкая В.В. Буро-инъекционная технология упрочнения оснований фундаментов. – Ростов-на-Дону: ООО «ДГТУ-принт».2019.174с.
10. Антонов В.М., Леднев В.В., Скрылев В.Н. Проектирование зданий при особых условиях строительства и эксплуатации. Уч. пособ. – Тамбов: ТГТУ. 2002. 240 с.

---

Редакционно-издательский центр ДГТУ  
Адрес университета и полиграфического предприятия:  
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1