

ГИДРОГЕОЛОГИЯ МПИ

Лекции - 17 ч.

Лабораторные занятия - 17 ч.

ЗАЧЕТ

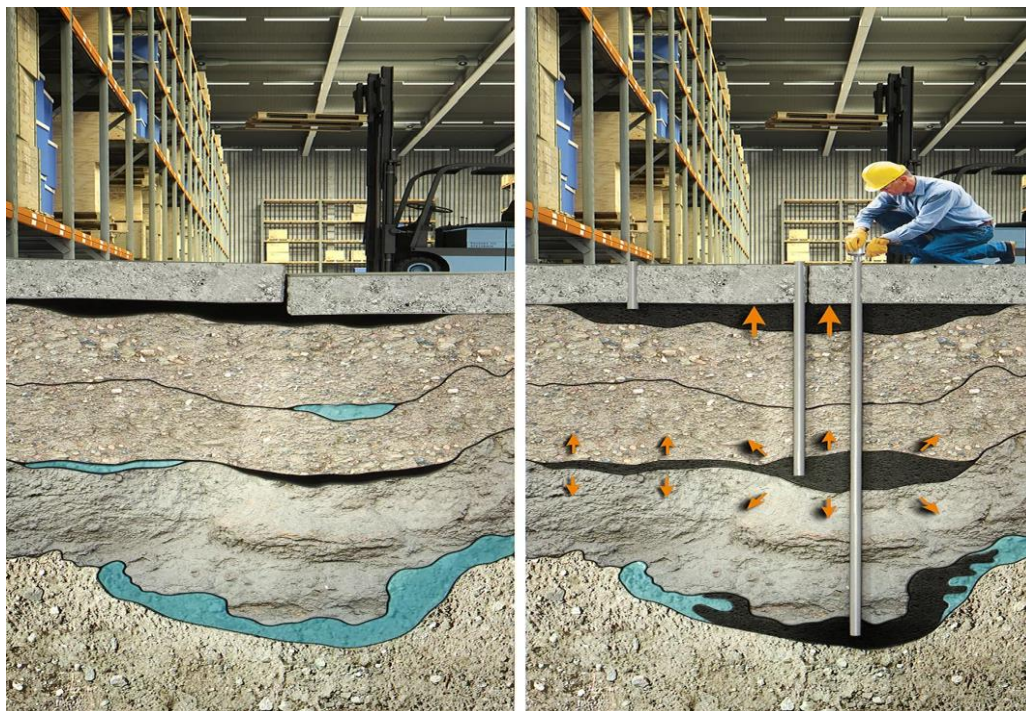
Курс лекций

Сидорова Галина Петровна

д.т.н., профессор кафедры « Прикладной геологии и технологии
геологической разведки».

Горный факультет.

Забайкальский государственный университет



Противофильтрационные свойства завесы

Инъекционные завесы

Для закрепления горных пород и придания им водонепроницаемости следует предусматривать устройство **инъекционных завес** и **локальный тампонаж** горных пород на отдельных участках выработок с применением **цементации, глинизации, смолизации и силикатизации**.

Инъекционные завесы следует предусматривать для защиты **вертикальных, наклонных и горизонтальных подземных выработок** от подземных вод с помощью **тампонажа горных пород, выполняемого в режиме пропитки грунтового массива**.

При надлежащем обосновании допускается предусматривать **инъекционные завесы** (линейные и контурные) для защиты от подземных вод открытых горных выработок.

В зависимости от геологических и гидрогеологических условий залегания водоносных пород допускается проектировать **инъекционные завесы** в сочетании с завесами других типов (**траншейными, свайными и пр.**).

Цементацию (инъекцию цементных, глиноцементных и глиноцементнопесчаных растворов на цементах общестроительного назначения), как правило, следует применять для устройства завес в скальных и полускальных трещиноватых породах с раскрытием трещин свыше 0,1 мм, удельным водопоглощением более 0,01 л/мин/м², свободных от заполнения или же заполненных легко поддающимися промывке вторичными материалами, при действительной скорости движения подземных вод по трещинам не более 2400 м/сут.

При большей скорости применение цементации должно быть обосновано опытным путем. **При проектировании и устройстве ПФЗ способом цементации в скальных породах необходимо соблюдать требования СП 23.13330 .**

Допускается предусматривать применение цементации с использованием цемента общестроительного назначения в крупнообломочных, гравийно-галечниковых и песчаных водоносных породах с коэффициентом фильтрации свыше **80 м/сут**.

Сетка скважин (шаг скважин и количество рядов), способ цементации в режиме пропитки (нисходящий, восходящий, одновременный), величина поглощения раствора при заданном давлении закачки назначается проектной документацией с учетом требований нормативных документов.

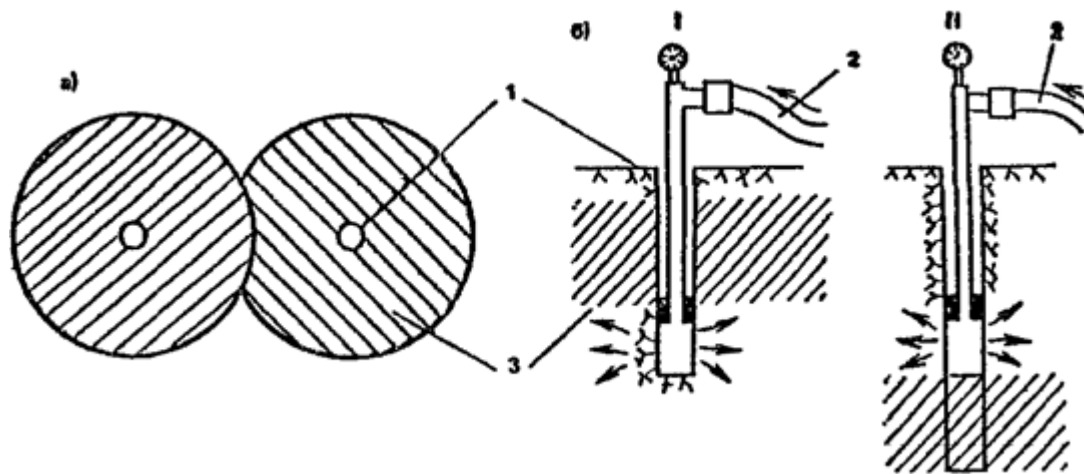
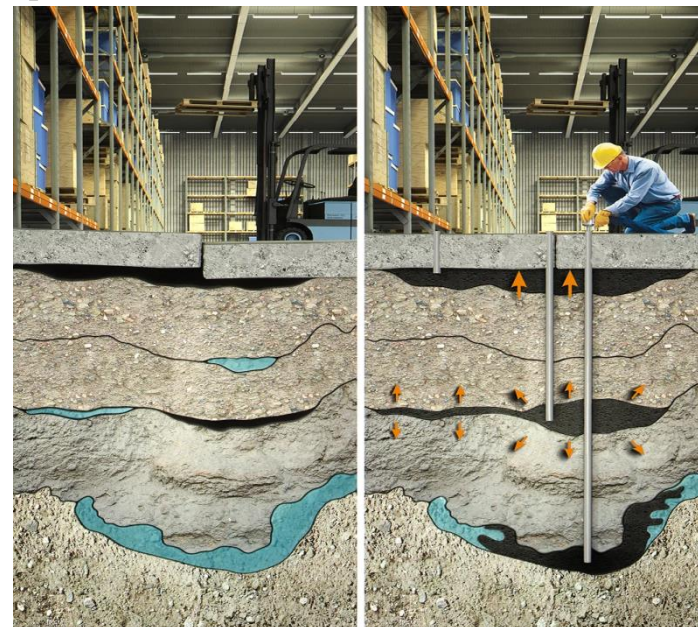
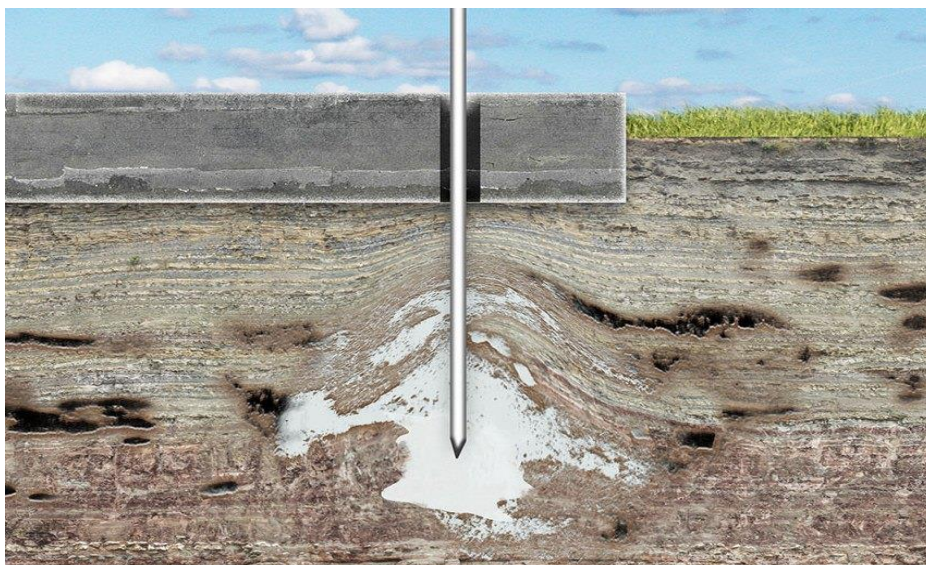


Схема устройства инъекционной завесы

а - расположение инъекционных скважин; б - варианты нагнетания раствора в скважину;

I - нисходящими зонами; II - восходящими зонами;

1 - скважина; 2 - подача раствора; 3 - закрепленная зона

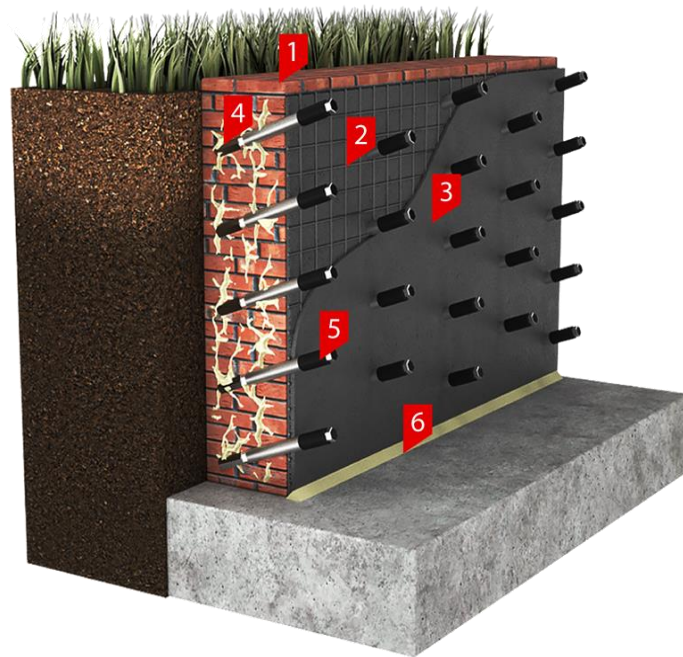


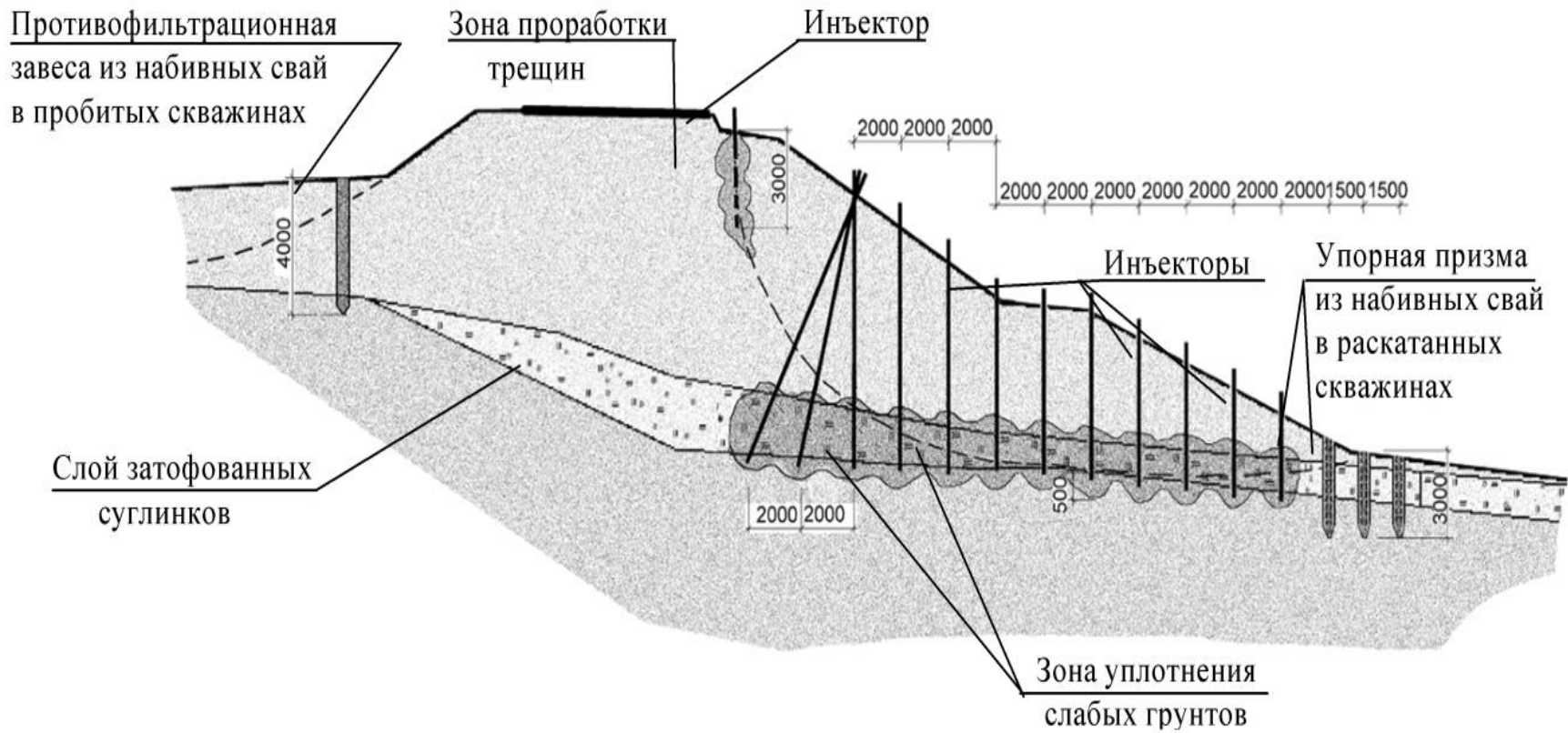
Цементацию песчаных грунтов с коэффициентом фильтрации от **1 до 80 м/сут** допускается производить с применением особо высокотонкодисперсных (ОВТД) цементов (минеральное вяжущее типа «Микродур» различных марок) в режиме пропитки через инъекторы или скважины. Радиус грунтоцементной колонны после закрепления составляет, как правило, от **0,3 до 0,8 м**.

Цементацию песков с коэффициентом фильтрации от **0,1 до 80 м/сут** любой степени влажности, следует производить по технологии виброцементации (погружение инъектора в грунт с помощью высокочастотного вибропогружателя с одновременным нагнетанием через него цементного раствора на цементе общестроительного назначения). Радиус грунтоцементной колонны, образующейся при виброцементации, составляет, как правило, **0,15–0,4 м**.

В проектной документации для цементации с применением ОВТД и виброцементации при однорядном и многорядном расположении инъекторов (скважин), расстояние между их центрами следует назначать с понижающим коэффициентом **0,6** (коэффициент выравнивания массива) от принятого диаметра распространения суспензии (раствора) при закреплении горных пород. При многорядном расположении инъекторов необходимо предусматривать такую сетку их расположения, чтобы обеспечить сплошность грунтоцементного композита завесы как в плане, так и по глубине. Радиус закрепления зависит от состава суспензии, конструкции инъектора, гранулометрического состава закрепляемого песка и давления инъекции.

Для подбора состава инжецируемой суспензии, давления закачки, уточнения габаритов получаемой грунтоцементной колонны (оценка проницаемости горных пород), определения прочности и водонепроницаемости грунтоцементного композита и других параметров необходимо, как правило, организовывать опытные участки.

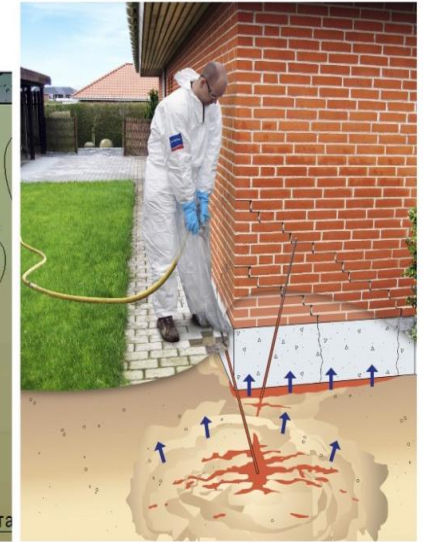
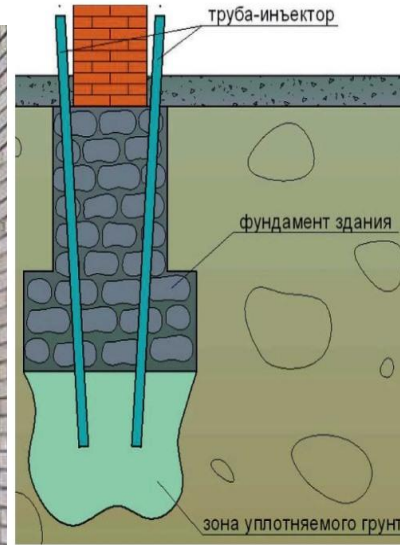




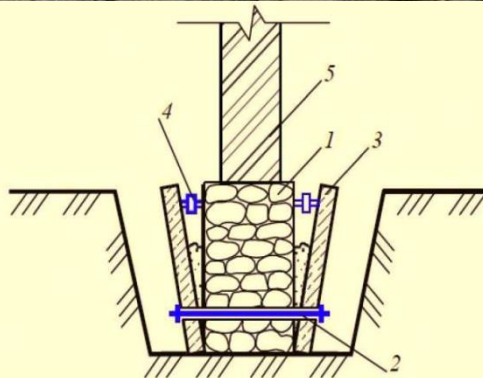
При проектировании цементации горных пород выбор способа (нисходящий, восходящий, одновременный), состава и консистенции цементного раствора (суспензии), объема и давления закачки, величины «отказа», следует производить в зависимости от назначения инъекционной завесы, состояния и инженерногеологических свойств закрепляемых пород, их трещиноватости и закарстованности, действительной скорости фильтрации подземных вод, коэффициента фильтрации, а также химического состава подземных вод.

Для приготовления цементных растворов следует предусматривать портландцемент марки 400 и выше. Допускается использование сульфатостойкого цемента, шлакопортландцемента и тампонажного портландцемента. При наличии агрессивных вод следует предусматривать цементы, стойкие по отношению к подземным водам. Особо высокотонкодисперсные (ОВТД) минеральное вяжущее типа «Микродур» различных марок или их аналоги следует применять для выполнения специфических цементационных работ.

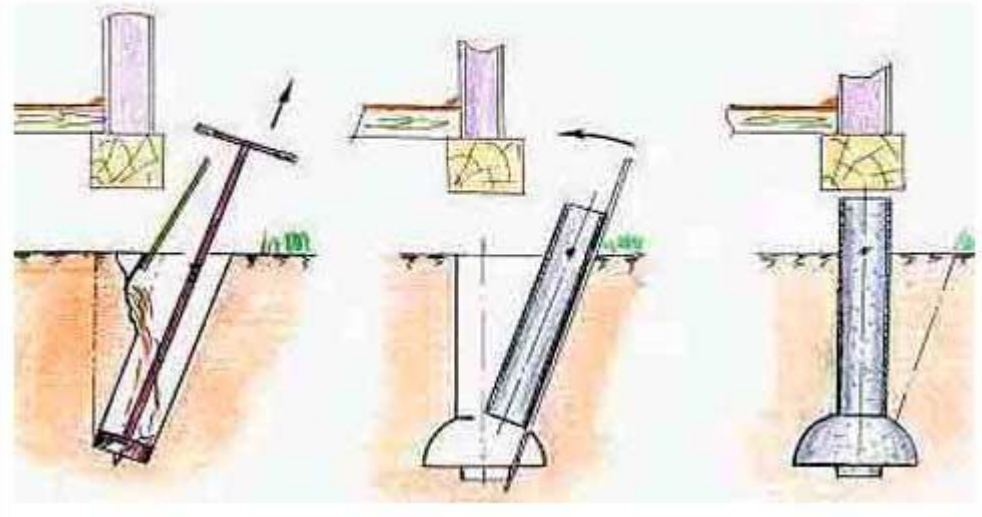
Буроинъекционный метод усиления фундамента



Применение буро-инъекционных свай



Увеличение площади опирания фундаментов с помощью железобетонных отливов:
1 – фундаментов; 2 – стальной тяз; 3 – железобетонный отлив; 4 – домкрат; 5 – стена



Метод высоконапорной инъекции

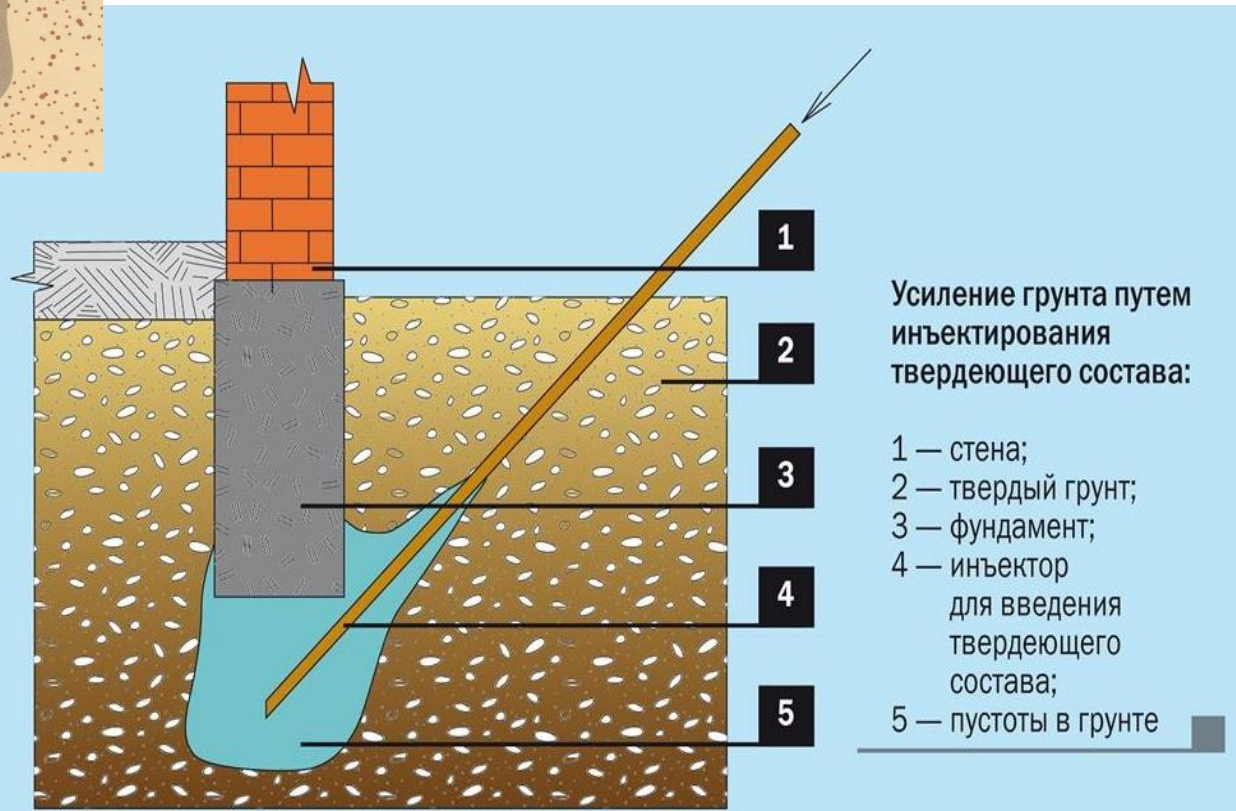
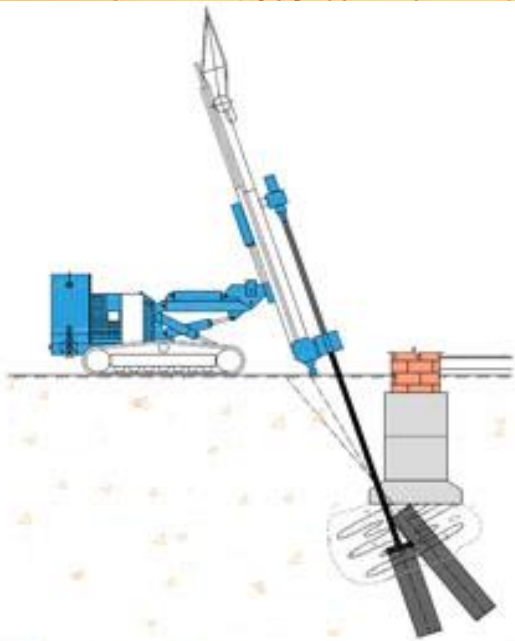
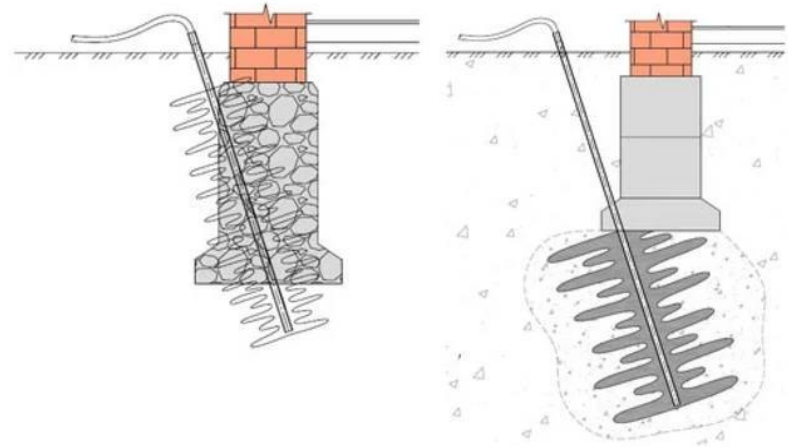
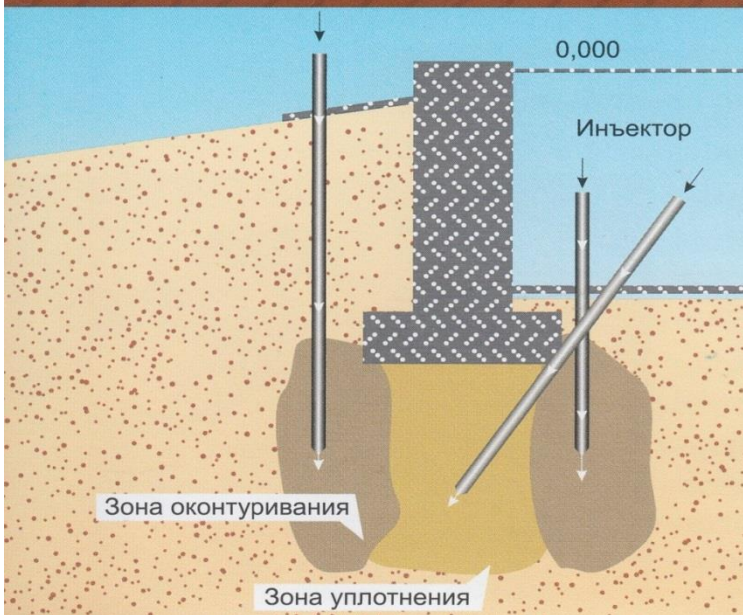
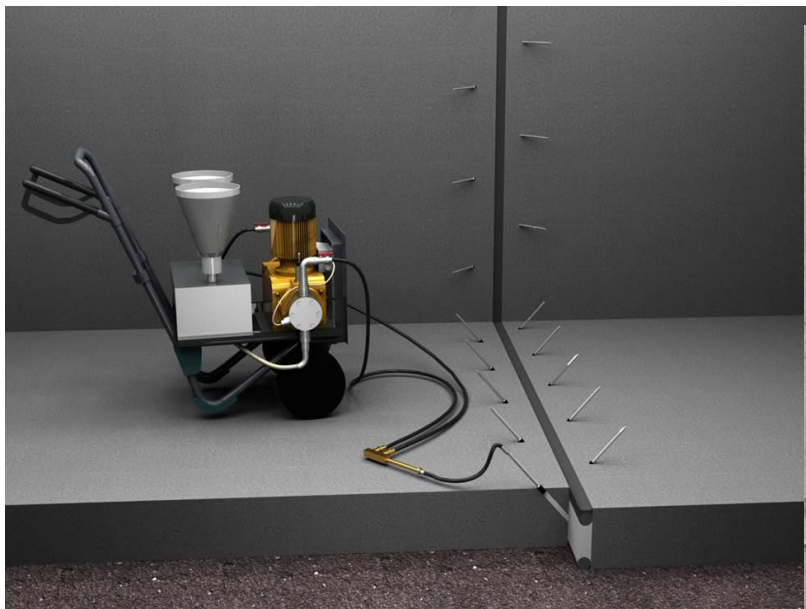


Рис. Т. Сорокиной

Материалы для инъекционных противофильтрационных завес



Установки для создания инъекционных противофильтрационных завес



Инъекционные насосы





Глинизацию (инъекцию глиносилкатных растворов) следует предусматривать в случаях, когда цементация неэкономична или ненадежна из-за наличия агрессивных вод, способных корродировать цемент.

Смолизацию (инъекцию водных растворов синтетических смол с отвердителем через инъекторы или скважины) следует предусматривать для устройства завес в песчаных породах с коэффициентами фильтрации **0,2–50 м/сут.**

Силикатизацию (одно- и двухрастворную силикатизацию) следует предусматривать для устройства завес в песчаных породах. При этом в песках с коэффициентами фильтрации **2–80 м/сут** следует предусматривать двухрастворную силикатизацию: поочередное нагнетание в поры горных пород растворов на основе силиката натрия и отвердителя (хлористого кальция, ортофосфорной кислоты и др.). В пылеватых и мелких песках с коэффициентом фильтрации **0,5–2,0 м/сут** следует предусматривать однорастворную силикатизацию – инъекцию одного раствора силиката натрия с добавкой фосфорной или кремнефтористо-водородной кислоты. **Радиус закрепленного смолизацией или силикатизацией массива (колонны) песчаных горных породах составляет, как правило, от 0,3 до 1 м.**

Допускается предусматривать комбинированное применение цементации, глинизации, смолизации и силикатизации.

При отсутствии специальных экспериментальных данных критический градиент напора **I_{cr}** в инъекционной завесе допускается принимать согласно указаний **СП 23.13330** в зависимости от типа вмещающего завесу нескального грунта, а для закрепляемых цементацией скальных и полускальных породах – в зависимости от величины удельного водопоглощения в пределах завесы назначаемой проектной документацией.

Выбор расстояния между скважинами (шаг скважин и количество рядов) инъекционной завесы следует производить из условия обеспечения ее сплошности и установленного проектной документацией коэффициента фильтрации завесы, проектируемой в нескальных горных породах, и определяемым испытанием образцов закрепленного грунта при проведении опытных работ (полевых или лабораторных).

При устройстве инъекционной завесы в скальных породах коэффициент фильтрации определяется согласно **СП 23.13330** в зависимости от допустимой величины удельного водопоглощения.

Толщина противofильтрационной завесы должна обеспечивать непревышение критического градиента напора, определяющего фofильтрационную прочность самой завесы.

Оптимальное расстояние между скважинами, как правило, следует определять на основании опытных работ.

При отсутствии опытных данных расстояние между скважинами допускается определять исходя из величины радиуса распространения инъецируемого раствора r_{in} , вычисляемого по формуле:

$$r_{in} = \sqrt{Q_{in} t / \pi h_{in} \alpha_e e}$$

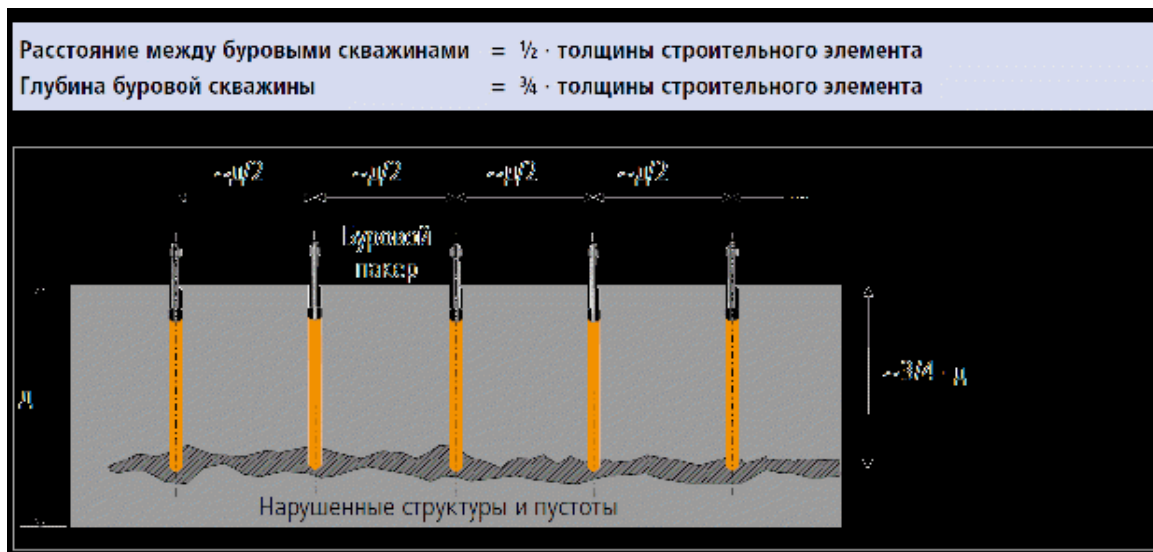
где Q_{in} – расход раствора, нагнетаемого в скважину, м³/ч;

t – продолжительность нагнетания раствора в скважину, ч;

h_{in} – толщина слоя закрепляемого грунта, м;

α_e – коэффициент неравномерности распространения трещин и пор в горной породе;

e – коэффициент пористости горных пород.



Радиус распространения инъецируемого раствора, полученный по формуле, необходимо уточнять при проведении опытно-производственных работ.

Шаг инъекторов в ряду назначается в зависимости от радиуса инъекции r_{in} и, как правило, следует принимать равным $1,73r_{in}$, а расстояние между рядами $1,5r_{in}$.

При проектировании инъекционной завесы следует устанавливать способ нагнетания раствора (нисходящий, восходящий, одновременный), очередность забивки (задавливания) инъекторов или бурения скважин, размер заходки (зоны) при нагнетании раствора, последовательность инъецирования в ряду (в рядах) по методу последовательного сближения.

Скважины первой очереди следует располагать на расстоянии, исключающем их гидравлическую связь по порам и трещинам грунта в процессе нагнетания раствора (выбивание раствора в смежные инъекторы или скважины) и принимаемом, как правило, не менее удвоенного расстояния между скважинами.

В неоднородных по проницаемости горных породах слой с большей проницаемостью следует закреплять в первую очередь. Последовательность инъекционных работ при химическом закреплении обводненных песчаных грунтов должна обеспечивать гарантированное вытеснение подземных вод из закрепляемого объема грунтового массива нагнетаемыми реагентами. Защемление подземных вод в закрепляемом массиве не допускается.

При устройстве завесы в закарстованных скальных грунтах следует производить предварительную цементацию для локализации закрепляемого массива (создание защитного барьера) против выхода раствора за контур массива. Нагнетание раствора следует производить через каждую скважину до «отказа». Противофильтрационные свойства завесы проверяются гидравлическим опробованием и геофизическими методами .

Нагнетание реагентов в горные породы при силикатизации и смолизации, а также при цементации крупнообломочных грунтов и гравелистых песков, следует производить под пригрузкой, в качестве которой используются залегающие над областью инъекция горные породы или специально уложенные бетонные плиты. При устройстве инъекционных завес следует контролировать наклон инъекторов (скважин), размеры закрепляемого массива горных пород, сплошность, однородность завесы, противофильтрационные свойства, а в необходимых случаях прочность закрепленного грунта (композита) завесы.

Устройство инъекционных завес следует предусматривать с поверхности или из горных выработок. Направление (угол наклона) скважин следует задавать с учетом пересечения наибольшего числа преобладающих водопроводящих трещин и контактов напластований.

Диаметры буровых скважин при выбранном способе бурения следует назначать в соответствии с их глубиной, составом и строением проходимых пород, а также с учетом обеспечения пропуски требуемых расходов воды и нагнетаемых растворов.

Диаметры скважин допускается назначать в пределах 42–91 мм, а при заполнении крупных полостей и пустот вязкими растворами – 91–110 мм.

В песчаных породах вместо бурения скважин допускается предусматривать забивку (задавливание) перфорированных иньекторов различной конструкции с предельной глубиной погружения до 12–15 м.

Погружение иньекторов на большую глубину следует предусматривать в пробуренные скважины.

При проектировании иньекционных завес состав и давление иньецируемых растворов, размеры закрепленной колонны (оценка проницаемости горных пород), как правило, следует устанавливать по данным опытных работ. При их отсутствии допускается устанавливать давление на основании данных выполнения завес в аналогичных условиях. В проектной документации следует предусматривать необходимые мероприятия для предотвращения прорывов нагнетаемых растворов на поверхность земли или в горные выработки .

В проектной документации следует предусматривать операционный, приемочный, выборочный и другие виды контроля за процессами устройства ПФЗ, за ее размерами, сплошностью и характеристиками материала тела завесы, которые необходимо осуществлять неразрушающими (геофизическими) методами, в сочетании с вскрытием контрольных шурфов, выбуриванием образцов из закрепленного грунтового массива (композита) тела завесы для дальнейшего исследования в лабораторных условиях, а так же за положением уровня подземных вод перед и за завесой на основании данных наблюдений за пьезометрическими скважинами (п. Противопольтрационные свойства закрепленных тампонажем нескальных и скальных горных пород иньекционной завесы (коэффициент фильтрации), допускается определять гидравлическим опробованием через контрольные скважины в соответствии с СП 23.13330 и с учетом по удельному водопоглощению тела завесы, считая закрепленный массив нескальных горных пород скальными горными породами.

ЛЬДОПОРОДНЫЕ ЗАВЕСЫ (ОГРАЖДЕНИЯ)

Льдопородные завесы, выполняемые путем искусственного замораживания горных пород, следует предусматривать для защиты подземных (вертикальных, горизонтальных и наклонных) горных выработок в период их проходки в нескальных неустойчивых и трещиноватых скальных водоносных горных породах. При надлежащем обосновании допускается предусматривать применение льдопородных завес для защиты открытых выработок на период разработки.

Границы применимости замораживания горных пород следует определять расчетом в зависимости от скорости фильтрации, температуры и степени минерализации подземных вод и технологии замораживания.

Льдопородные завесы должны быть полностью замкнутыми и заглубляться в устойчивые водоупорные породы.

Толщину льдопородной завесы следует определять статическими расчетами в зависимости от ее назначения, формы и размеров выработки в плане, глубины, а также прочностных характеристик замороженных пород.

Температуру льдопородной завесы и расстояние между замораживающими скважинами следует устанавливать на основании опытных данных. При отсутствии опытных данных допускается:

- принимать среднюю температуру льдопородной завесы — в пределах 30-40 % температуры холодоносителя, циркулирующего в замораживающих колонках;
- расстояние между замораживающими скважинами при однорядном их расположении - в пределах 1—1,5 м, между рядами при многорядном расположении - в пределах 2-3 м.

Мощность холодильной установки следует определять теплотехническими расчетами в зависимости от проектного объема льдопородной завесы.

В проекте следует предусматривать мероприятия по контролю за уровнем подземных вод, температурой горных пород, а также сплошностью и толщиной льдопородной завесы.

При проектировании льдопородных завес необходимо руководствоваться СП 103.13330.2012.



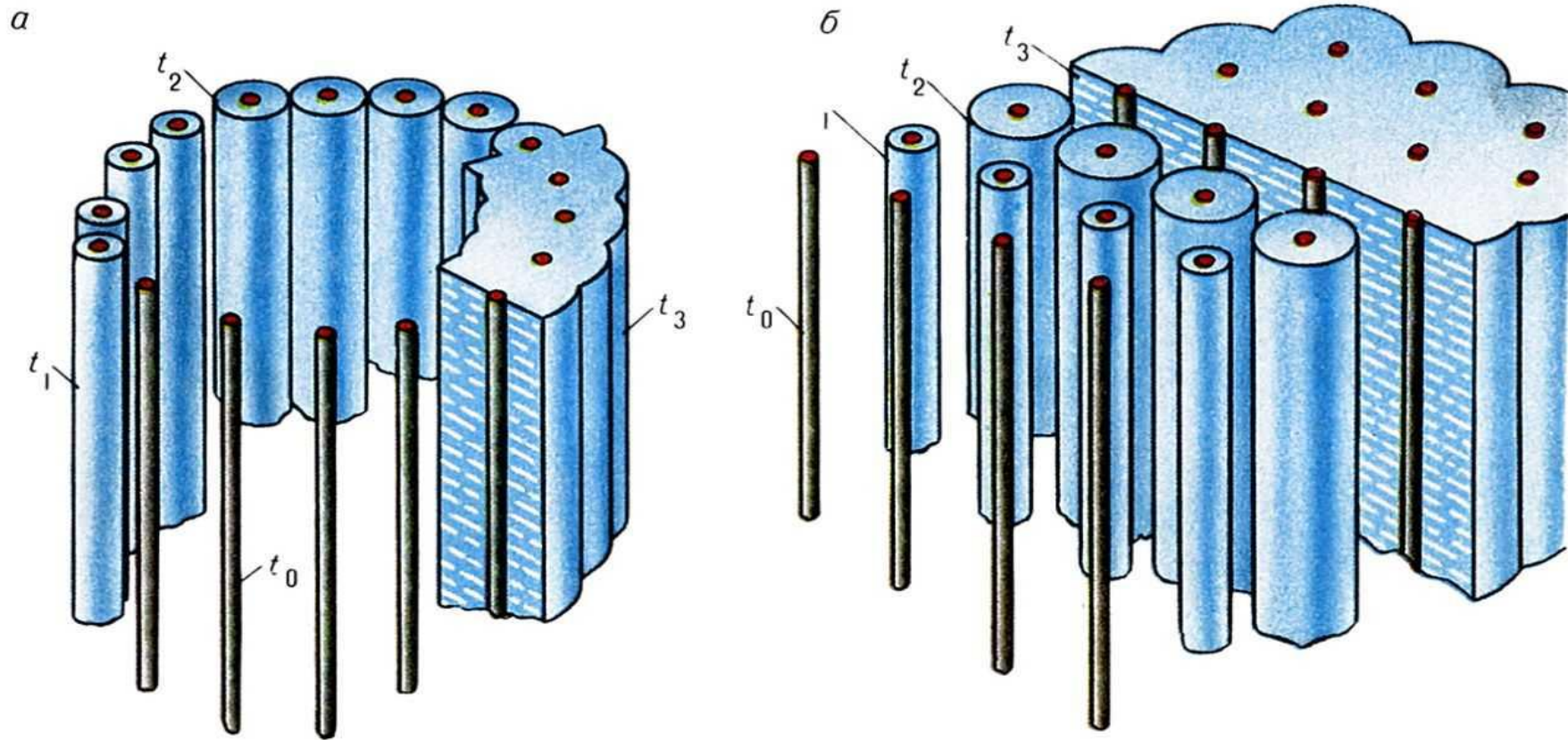
Установки для заморозки грунта (жидкий азот)

Замораживание грунта жидким азотом — более современный метод, который начал использоваться в последние годы. Жидкий азот — бесцветная жидкость с крайне низкой температурой испарения. В отличие от прочих промышленных хладагентов, его можно использовать однократно.

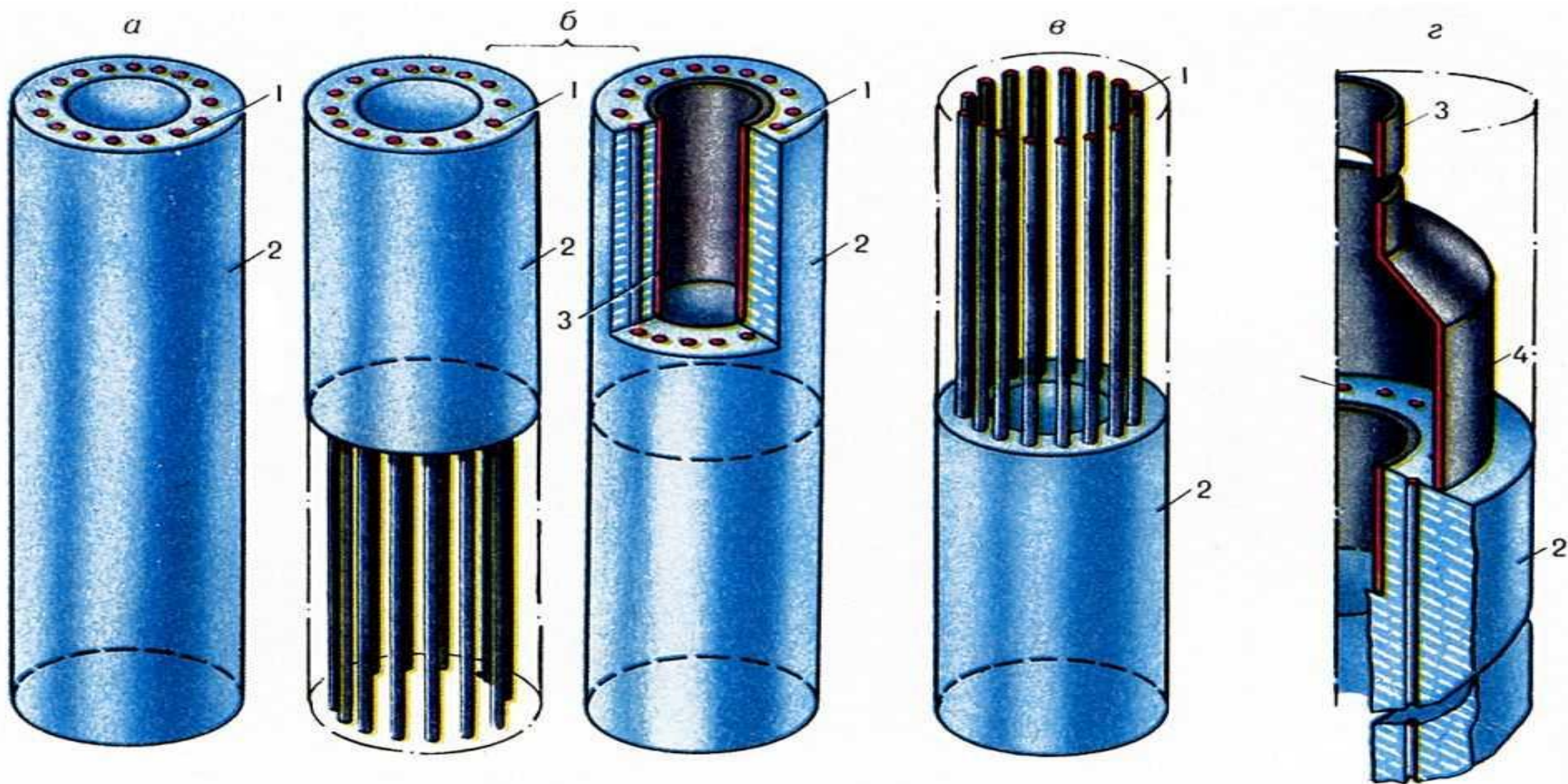
Преимущества этого метода:

- нет необходимости в сети трубопроводов и специальных станциях;
- высокая скорость решения задачи — в 8 раз выше, чем при использовании рассола;
- возможность использования легкого в монтаже и транспортировке оборудования.

В некоторых случаях целесообразно применение комбинированного варианта: создание льдогрунтового ограждения жидким азотом и поддержание массива в замороженном состоянии на время строительства рассольным методом.



Формирование ледопородного ограждения во времени (t_0, \dots, t_3 - периоды времени):
а - кольцевое ограждение; б - массив.

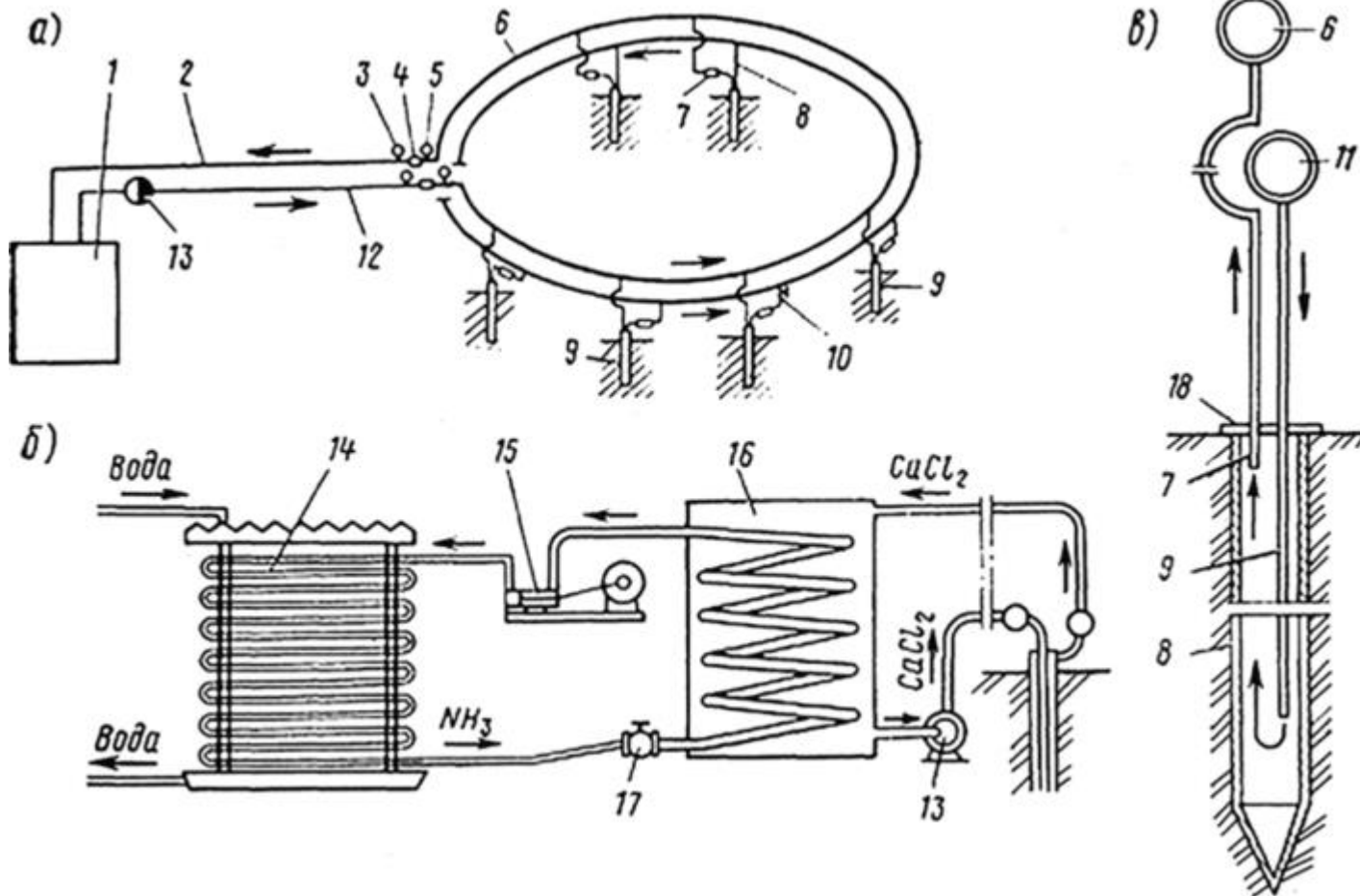


Технологические схемы замораживания на примере строительства ствола шахты:

а - обычная; б - ступенчатая; в - зональная; г - из забоя выработки;

1 - замораживающая колонна;

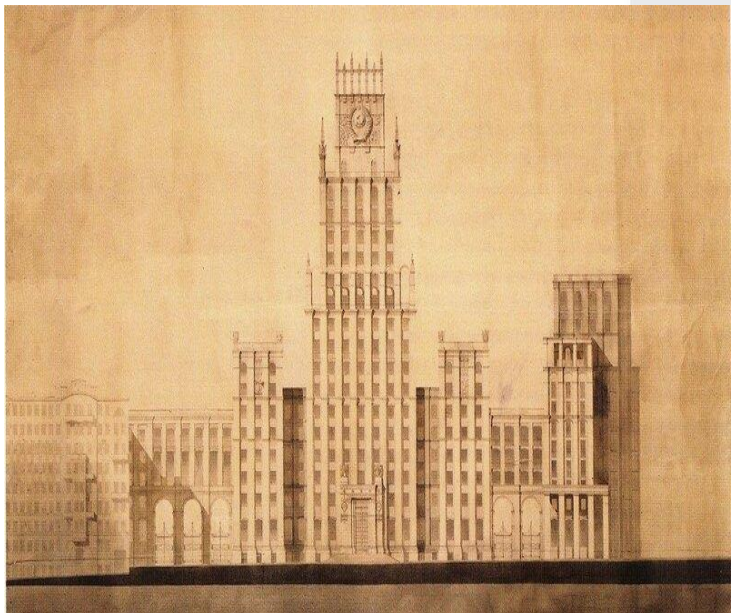
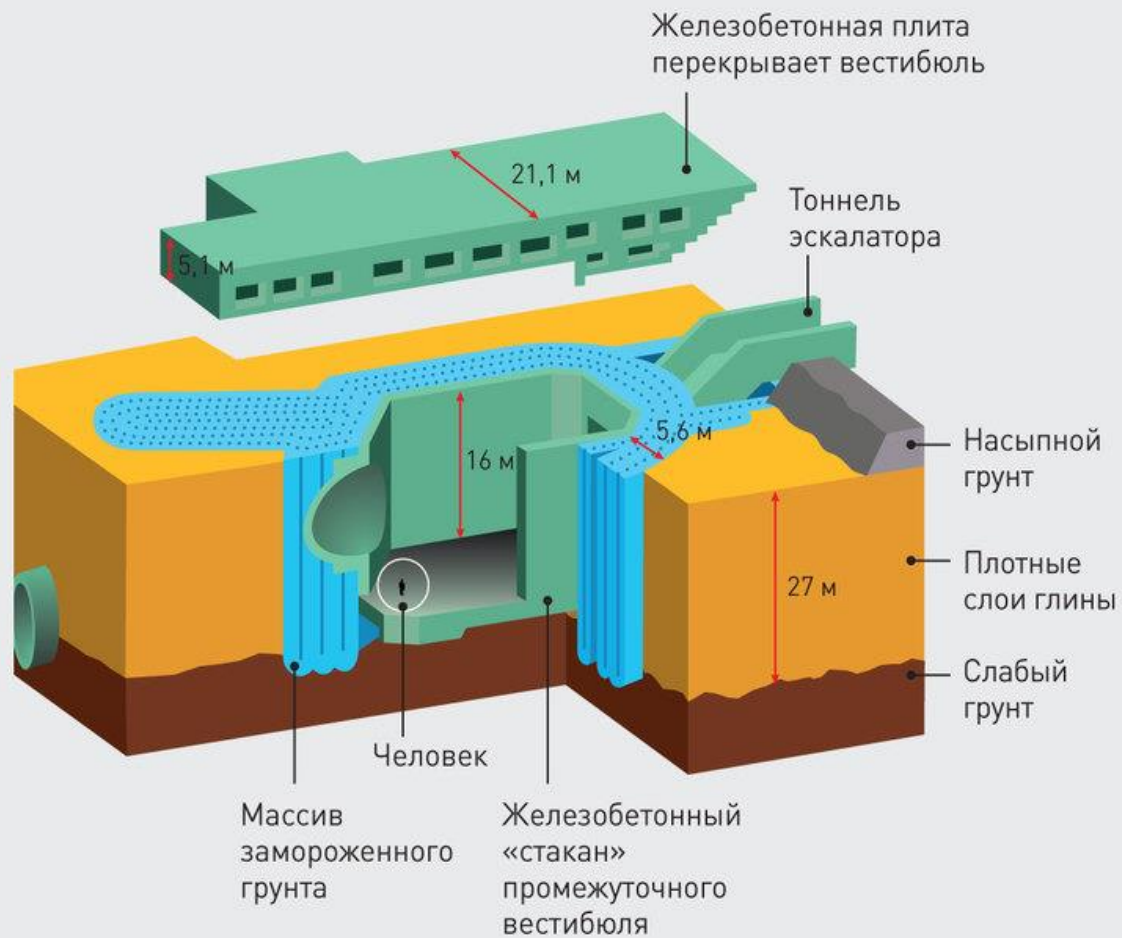
2 - ледопородное ограждение; 3 - крепь ствола шахты; 4 - околоствольная камера.



Установка для замораживания грунтов: а - схема циркуляции раствора; б - схема замораживающей станции; в - конструкция замораживающей колонки; 1 - рассольный бак; 2 - обратный рассолопровод; 3 - термометр; 4 - водомер; 5 - манометр; 6 - коллекторное кольцо; 7 - отводящая труба; 8 - замораживающие колонки; 9 - питающая труба; 10 - кран; 11 - распределительный рассолопровод; 12 - прямой рассолопровод; 13 - насос; 14 - конденсатор; 15 - аммиачный компрессор; 16 - испаритель; 17 - регулирующий вентиль; 18 - головка замораживающей колонки



Замораживание грунта при строительстве высотного здания у Красных Ворот с вестибюлем станции метро «Лермонтовская»



Московский метрополитен (замораживание грунтов при строительстве)



Моделирование процессов замораживание грунтов при строительстве

