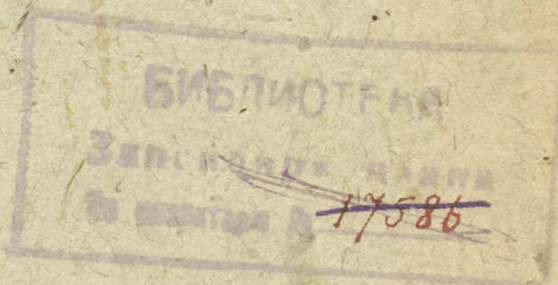


33.15
839

ТРУДЫ НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬНОГО
УГОЛЬНОГО ИНСТИТУТА „КУЗБАССУГЛЯ“

Горн. инж. И. П. ВЕТОШКИН

ПРОХОДКА ШАХТ СПОСОБОМ ЗАМОРАЖИВАНИЯ



1932

Государственное _____
научно-техническое _____
горное издательство _____
Новосибирск — Москва — Ленинград _____

ТРУДЫ НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
УГОЛЬНОГО ИНСТИТУТА „КУЗБАССУГЛЯ“

622

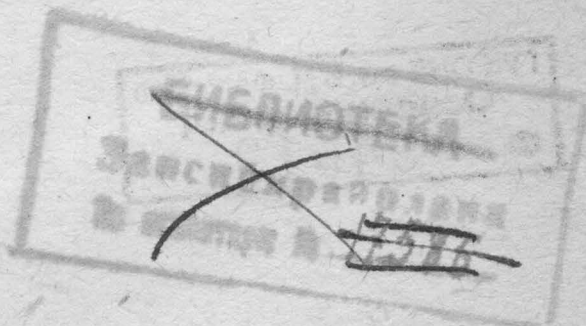
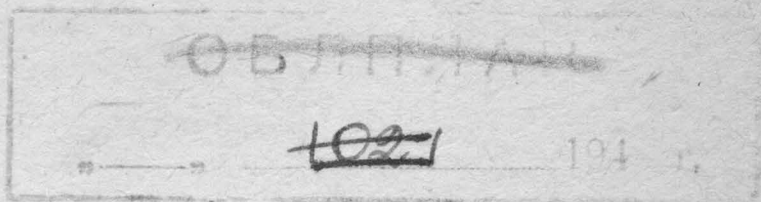
В39

33.15

Горн. инж. И. П. Ветошкин



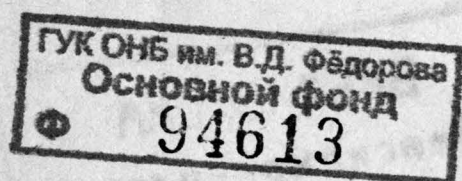
ПРОХОДКА ШАХТ СПОСОБОМ ЗАМОРАЖИВАНИЯ



371012

Государственное научно-техническое
горное издательство
Новосибирск — Москва — Ленинград

1932



Ответредактор — проф. Г. Е. Баканов.

Техредактор — В. А. Язвинский

ГНТГИ, Новосибирское. отделение. Издательский № 6. Тираж 3150 экз. Сдано в набор 22/VIII—32 г., подписано к печ. 20/XI—32 г. Статф 176×250/16 Объем 4¼ печ. лист. 63000 знак. в печ. л. Зак. 3903—32 г. Горлэт № 412 22/VII—32 г. Томск, 3-я типография Запсибполиграфтреста, Советская 3.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Метод прохождения шахт в слабых и плавучих породах с применением искусственного замораживания пород приобретает все большее и большее значение, так как является наиболее совершенным способом, обеспечивающим успешное прохождение шахт в наиболее сложных случаях.

Между тем, специальных руководств, достаточно полно освещающих этот вопрос, у нас нет. Учитывая это, с одной стороны, и необходимость в период гигантской стройки новых шахт в таком руководстве для широких кругов инженерно-технических работников каменноугольной промышленности, с другой,—Томское отделение Научно-исследовательского угольного института „Кузбассугля“ решило издать в виде отдельной книги настоящую работу горн. инж. И. П. Ветошкина.

Томское отделение Научно-исследовательского
угольного института „Кузбассугля“.

Г. Томск
9 февраля 1932 г.

I. ВВЕДЕНИЕ

Способы проходки шахт весьма разнообразны, и выбор способа для каждого конкретного случая зависит прежде всего от характера пород, через которые проходит данная шахта, а также от наличия воды в них.

Все способы делятся на две группы:

Первая группа—обычный способ проходки шахт, применяемый в устойчивых, сухих или водосодержащих породах, с удалением воды на сосах; или—в устойчивых породах, когда незначительное количество воды уходит вместе с породой в бадье.

Вторая группа—специальные способы проходки, применяемые в тяжелых условиях, когда шахта проходится через породы слабые, неустойчивые, или сыпучие, пльвуны, а также — через устойчивые породы с большим содержанием воды.

Мы остановимся на второй группе, т.-е. на специальных способах проходки.

Сюда относятся способы: забивная крепь, опускная крепь, шпунтовая крепь, цементация, замораживание и др.

Выбор того или другого способа проходки, естественно, зависит от геологических и гидрогеологических условий.

Только наличие геологических и гидрогеологических данных даст возможность наиболее правильно решить вопрос, каким способом проходить шахту; без наличия этого приступать к проходке шахты, как правило, не следует. Правильный выбор способа проходки влечет за собой ускорение темпов проходки и удешевление стоимости ее.

В последнее время в Германии, особенно в Руре, а также и в других странах, стали на путь прохождения шахт специальными методами — замораживанием и цементацией, когда водоотливные установки отсутствуют.

II. СПОСОБ ЗАМОРАЖИВАНИЯ

Мы уже сказали, что условия проходки бывают далеко не всегда одинаковы, не всегда благоприятны в смысле возможности успешного прохождения. Обычно два фактора характеризуют трудность проходки: наличие неустойчивых, слабых пород и большой приток воды; иногда—то и другое вместе.

Самым старым методом в этих случаях был метод забивкой крепи. Позднее начали применять также опускную крепь.

Но иногда применение этих способов встречало затруднения, и это особенно сказывалось, когда слой породы, подлежащий проходке специальным способом, был весьма значительной мощности или лежал глубоко от поверхности земли.

В этих случаях нашел применение и способ проходки замораживанием.

Этот способ в условиях неустойчивых пород, содержащих большое количество воды, залегающих на большой глубине, нашел широкое распространение.

В этом случае решающую роль в выборе способа проходки играли надежность в успехе проходки и стоимость ее.

История способа замораживания

Способ проходки шахт замораживанием начал успешно применяться за границей только в конце XIX столетия.

Надо отметить, что в Сибири еще в сороковых годах прошлого столетия делались также попытки воспользоваться при проходке холодом, только естественным. Этот способ применялся тогда, когда хотели пробить небольшие шахты до золотоносных россыпей, которые были покрыты плавучим песком (плывуном). Делалось это таким образом: шахта проходила в замерзшем грунте до определенной глубины, до глубины промерзания, и дальнейшая работа по проходке шахты приостанавливалась; забой шахты подвергался в течение 2—3 дней действию естественного холода, после чего шахту снова начинали углублять в замерзшей породе. Каждая такая операция давала прохождения 15—20 см. За три недели было пройдено всего 1 м.

Искусственное охлаждение впервые было применено в Англии (Уэльс) в 1862 г. Необходимо было произвести проходку через плывун, находящийся неглубоко от поверхности. Замораживание производилось при помощи змеевика и искусственного охлаждения соляным раствором.

За период проходки в плывуне процесс замораживания неоднократно повторялся.

Это открытие было опубликовано Петчем в 1883 г.

Сущность и применение способа замораживания

На определенном расстоянии от внешней окружности (при круглом сечении ствола), намеченного к проходке ствола шахты бурятся скважины. Расстояние между скважинами берется около 0,9—1,0 м. Расстояние круга, по которому располагаются скважины, от внешней окружности шахты берется в пределах от 1,5 до 3,5 м.

Буровые скважины крепятся, как и скважины в других случаях, обсадными трубами, которые, после того как в буровые скважины вставлены замораживающие трубы, поскольку это бывает возможно, вынимаются обратно.

После того, как скважины готовы, в них вводят замораживающие трубы—внешние и внутренние.

Внешние трубы снизу закрыты, а внутренние,—наоборот, открыты.

Внутренние трубы служат для подачи охлажденной жидкости к забою скважины; они более узкие, чем внешние, располагаются во внешних трубах и доходят почти до дна их.

Внешние трубы (кольцеобразное пространство между теми и другими трубами) служат для прохождения жидкости через охлаждаемый слой породы и для отвода отработанной жидкости, отдавшей свой холод замораживаемым породам, обратно на поверхность.

Таким образом, при движении жидкости в кольцеобразном пространстве происходит отдача холода окружающим породам с одновременным поглощением из них тепла.

Вышедшая на поверхность жидкость снова охлаждается с помощью особых устройств, называемых холодильными установками, а затем снова повторяет свой путь по замораживающим трубам.

Производя таким образом циркуляцию охлажденной жидкости необходимое количество времени, мы постепенно от охлаждения породы пере-

ходим к ее замораживанию, получая в конечном итоге определенный массив (цилиндр) замерзшей породы. Внутри этого массива, при подводе все время определенного количества холода, и производится проходка шахты обычным способом, в условиях безводной шахты, так как замерзшая стена, толщиной 2—4 м, вполне защищает шахту от прорыва воды. По окончании проходки участка шахты или всей водоносной толщи, шахта крепится водонепроницаемой крепью, большей частью чугунными туббингами, после чего подвод холода прекращается, а трубы вынимаются.

Описанный метод проходки имеет то преимущество, что он применим как для плавучих пород, так равно и для твердых, с большим притоком воды—и может поэтому заменить собой способ проходки шахт опускной водонепроницаемой крепью, а также метод буровых шахт.

В первые годы применения этого способа встречались большие затруднения, и особенно это наблюдалось при глубоких проходках.

Неудачи объяснялись, главным образом, отклонением буровых скважин от вертикального направления, что служило причиной ослабления замороженной стены и влекло в отдельных случаях к прорыву воды в шахту во время проходки или крепления ее.

Путем улучшения методов бурения и усовершенствования аппаратуры, дающей возможность проверять положение буровых скважин, а также точно определять глубину забоя скважин, были достигнуты в последнее время большие результаты в смысле успешности прохождения шахт замораживанием.

Были затруднения и другого порядка, например, когда вода в замораживаемых породах была теплая или соленая, или же, когда вода находилась в движении вследствие течений подпочвенных вод или других причин, но и эти обстоятельства теперь, когда мы имеем способ охлаждения до особо низкой температуры, не могут служить помехой для применения способа замораживания.

Подготовительные работы для проходки шахт замораживанием

Подготовительные работы вообще, а также поверхностные сооружения для проходки способом замораживания, мало отличаются от тех, какие применяются для проходки обыкновенным способом; поэтому, мы здесь остановимся только на том оборудовании, которое имеет специальный характер.

Проходка по способу замораживания начинается, как правило, с устройства передовой вспомогательной шахты, которая обычно проходится вручную.

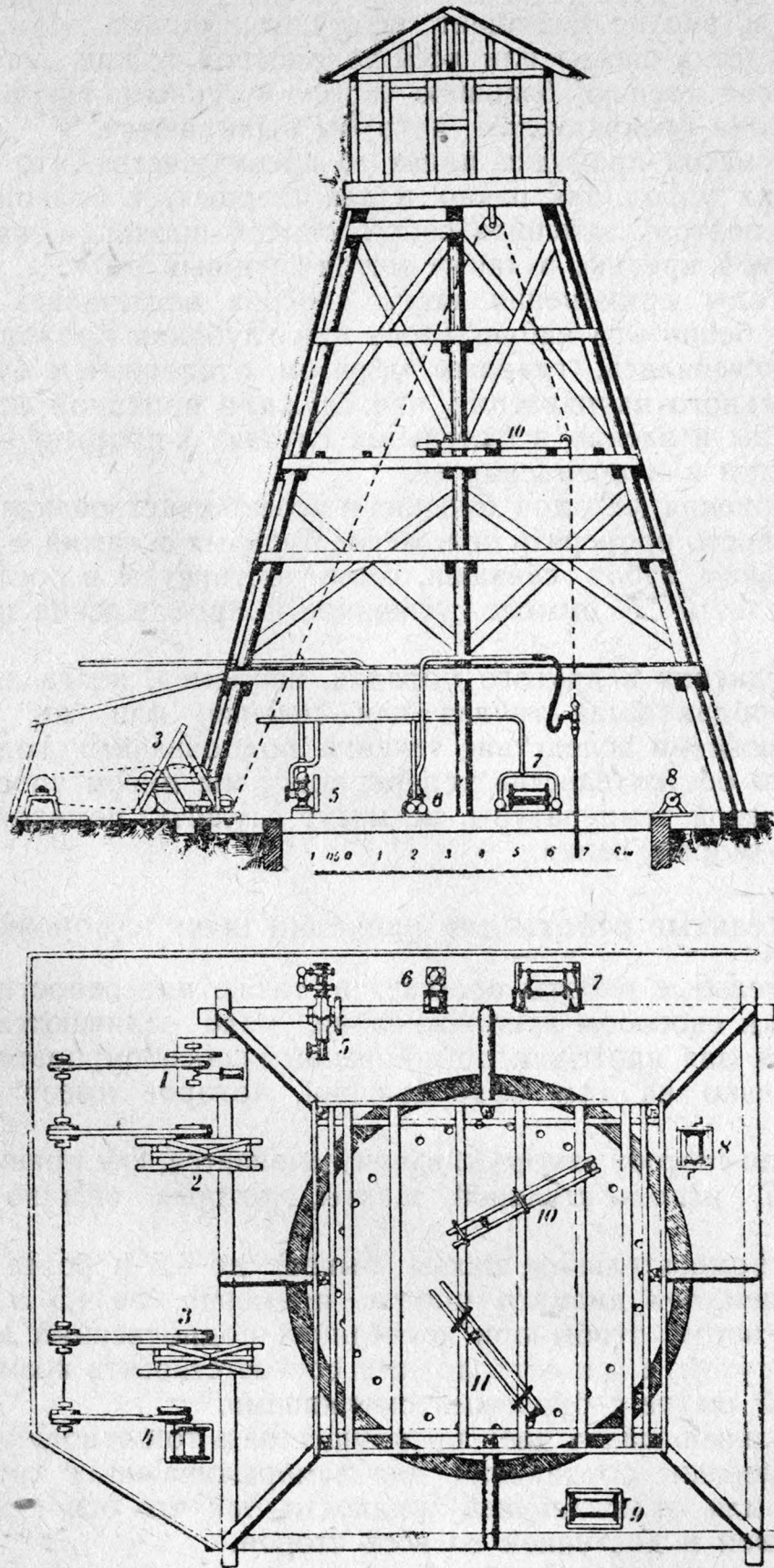
Глубина вспомогательной шахты бывает до 4,5 и более метров, при диаметре большем, чем диаметр шахты, примерно, на 4,5 м. Проходится она с таким расчетом, чтобы при колебаниях подпочвенных вод, подошва ее была всегда сухой, а диаметр должен соответствовать возможности разместиться в этой шахте с буровыми скважинами.

Вспомогательная шахта дает преимущества в том отношении, что здесь могут быть помещены соединения для замораживающих труб вместе с трубопроводом для охлаждающей жидкости, так что основная площадка остается свободной и доступной со всех сторон.

Над вспомогательной шахтой устанавливается специального типа копер, который служит для производства буровых работ, а в дальнейшем и для самой проходки шахты.

Чтобы копер мог обслуживать буровые работы полностью, он должен быть построен таких размеров, чтобы квадратная площадь, на которой расположены направляющие шкивки для каната при бурении, вмещала всю

шахту вместе с буровыми скважинами (фиг. 1). На помосте, который закрывает вспомогательную шахту, или в боковой пристройке располагают



Фиг. 1.

буровые устройства—2,3. Отсюда идут по направляющим шкивам буровые канаты, направляемые с помощью переставных направляющих салазок—10, 11 к отдельным буровым скважинам. Кроме этого там же имеем двига-

тель—1; насосы для промывки, в количестве одинаковом с буровыми устройствами—5,6; ручные лебедки—8,9, паровую лебедку—7 и ворот—4.

К числу обычных поверхностных сооружений добавляется здание для холодильной установки.

III. БУРЕНИЕ

В основном процесс проходки шахт замораживанием делится на четыре главных фазы:

- 1) бурение;
- 2) собственно замораживание;
- 3) проходка и крепление шахты в замороженной зоне;
- 4) оттаивание.

Бурение при проходке шахт способом замораживания—один из самых важных процессов.

Как мы уже сказали выше, главное условие, которое строго должно соблюдаться при производстве работ по бурению, это—необходимость сохранения заданного направления скважины, которое, обычно, бывает вертикальным. Сохранение при бурении вертикального, а следовательно, и параллельного одной скважины в отношении другой направления дает гарантию в успешном проведении метода замораживания.

Здесь, прежде всего надо следить за тем, чтобы верхние направляющие трубы были вставлены точно вертикально и в таком положении спущены на глубину, примерно, 7—10 м.

При значительном отклонении скважин от вертикального положения увеличивается расстояние между соседними скважинами и, чем скважины идут глубже, тем это расстояние будет значительнее, увеличиваясь постепенно в глубь.

При увеличении этого расстояния до определенной какой то величины, может быть момент, когда замерзшие цилиндрики двух соседних скважин не сомкнутся и не получится сплошного замершего цилиндра вокруг шахты, что и может повести к прорыву воды во время проходки, когда подойдут с проходкой к этому месту.

Вот почему вертикальное установление направляющих труб и обнаружение во время факта отклонения скважин от вертикального направления особо важно.

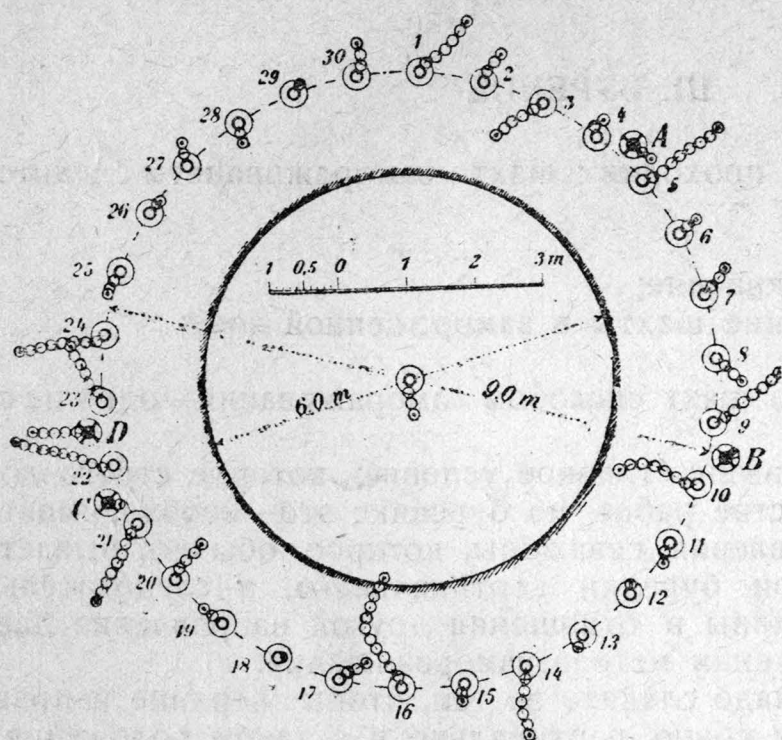
Проверка отклонения буровых скважин от вертикального направления производится с помощью отвесов, а также специальных приборов, применяющихся и в других случаях производства буровых работ.

Отклонения буровых скважин от вертикального направления иногда бывают незначительны, 1—2% глубины скважины; иногда же это расстояние достигает и весьма значительной цифры, порядка 10%. Если расстояние между скважинами (соседними) большое, бурят дополнительные скважины, в которые точно также вводят замораживающие трубы. На фиг. 2 цифрами 1, 2, 3...до 30 показаны пробуренные скважины; маленькими кружками показано расположение этих скважин на различной глубине. Эта картина дает нам возможность судить об отклонении в ту или другую сторону скважин от вертикали; по ней можно судить об изменении расстояния между соседними скважинами, и как следствие отсюда—наметить необходимое количество дополнительных скважин, которые и показаны на фигуре буквами А, В, С и Д.

Регулярный контроль буровых работ в смысле проверки скважин на вертикальность дает нам еще и другие преимущества.

Прежде всего, своевременное обнаружение отклонения буровой скважины от вертикали дает возможность во время исправить ошибку путем

направления скважины в необходимом направлении. Это достигается посредством открытых с одной стороны труб (фиг. 3), вставляемых в буро-



Фиг. 2.

вую скважину и вытесняющих при продолжении бурения долотчатый бур в направлении открытой стороны трубы.

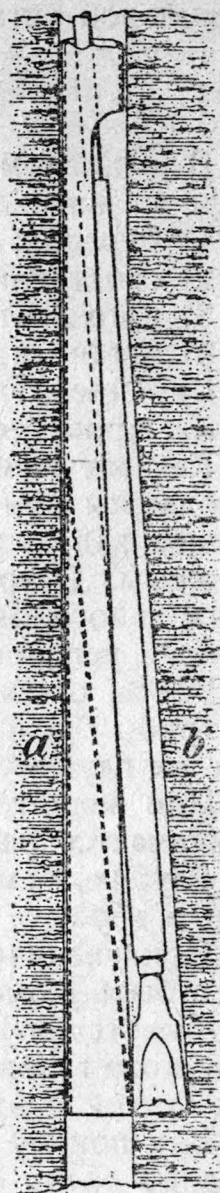
Рекомендуется бурить скважины не в последовательном порядке, а через одну: первую, третью, пятую и т. д., а затем уже, в зависимости от полученного направления этих скважин, производить бурение второй, четвертой, шестой и т. д. скважин, давая им должное направление с помощью вышеуказанных, открытых с одной стороны труб.

В случае отклонения буровой скважины в сторону поперечного сечения шахты (фиг. 2), необходимо соблюдать осторожность во время проходки шахты, в момент приближения проходкой к трубе (фиг. 2, скважина 16), чтобы не повредить последнюю и не дать возможности раствору вытечь из трубы.

Если труба во время проходки шахты будет обнаружена, ее необходимо из действия изъять, отрубив конец, вышедший в шахту. Надо сказать, что в отдельных случаях изъятие одной, а иногда и нескольких труб, во время проходки шахты не влечет за собой вредных последствий, так как остающихся труб будет вполне достаточно, чтобы поддерживать сплошную замерзшую стену в необходимом состоянии.

Если буровые скважины выходят из предела поперечного сечения шахты настолько далеко, что исходящее от них действие холода больше не достигает замерзшей стены, продолжать в них циркуляцию охлаждающей жидкости бесцельно. В этом случае замораживающие трубы спускаются только на такую глубину, на какой можно рассчитывать на действие отдельных буровых скважин на замерзшую стенку шахты.

Этим, несомненно, понижаются эксплуатационные расходы по производству холода.



Фиг. 3.

Как правило, при проходке шахт методом замораживания, применяется ударное бурение, с применением для под'ема штанг и обсадных труб паровых или электрических лебедок.

Бурение скважин производится при помощи станков.

Число станков бывает два и более; большее количество станков вводится для ускорения работы по бурению.

Буровые станки устанавливаются иногда так, что положение их не меняется в течение всего периода времени по производству бурения (фиг. 1). Канат для под'ема и опускания буровых штанг и долота направляется шкивами с постоянным местом закрепления, а иногда шкивы укрепляются на салазках, которые могут передвигаться.

Быстродействующие ударные станки делают от 60—70 ударов в минуту. Для удаления из скважины буровой грязи применяются насосы.

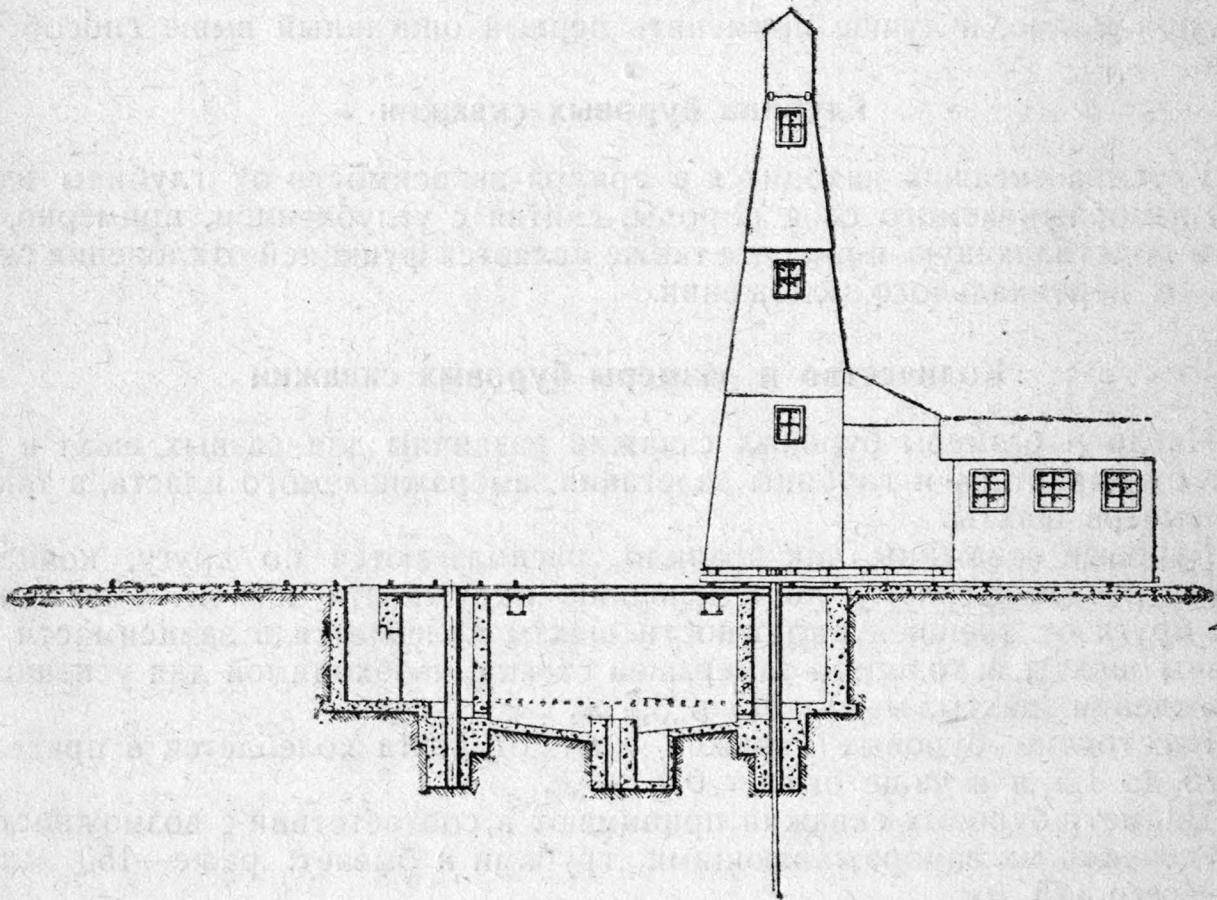
Промывание скважин лучше производить не простой водой, а глинистым раствором, который будет до некоторой степени как бы цементировать стенки скважин, произойдет глинизация, которая предохранит стенки скважины от обвалов, особенно в условиях мало устойчивых пород.

Отдельные типы буровых станков применимы вполне как для более мягких пород, так и для твердых, при различной глубине. В этом случае двигатели берут не одинаковые по мощности: для более легкой работы берут, примерно, в 22 HP, а для более тяжелой—35 HP.

В других случаях бурение осуществляется при помощи оборудованных станками передвижных вышек, которые двигаются по пяти рельсовым путям, концентрически окружающим место проходки шахты и прочно уложенным на бетонной подушке, толщиной в 250 мм.

Передвижение вышек в желаемом направлении производится с помощью блоков и полиспластов, присоединяемых к одной или другой специальной опоре, устроенных вблизи внешней окружности рельсовых путей.

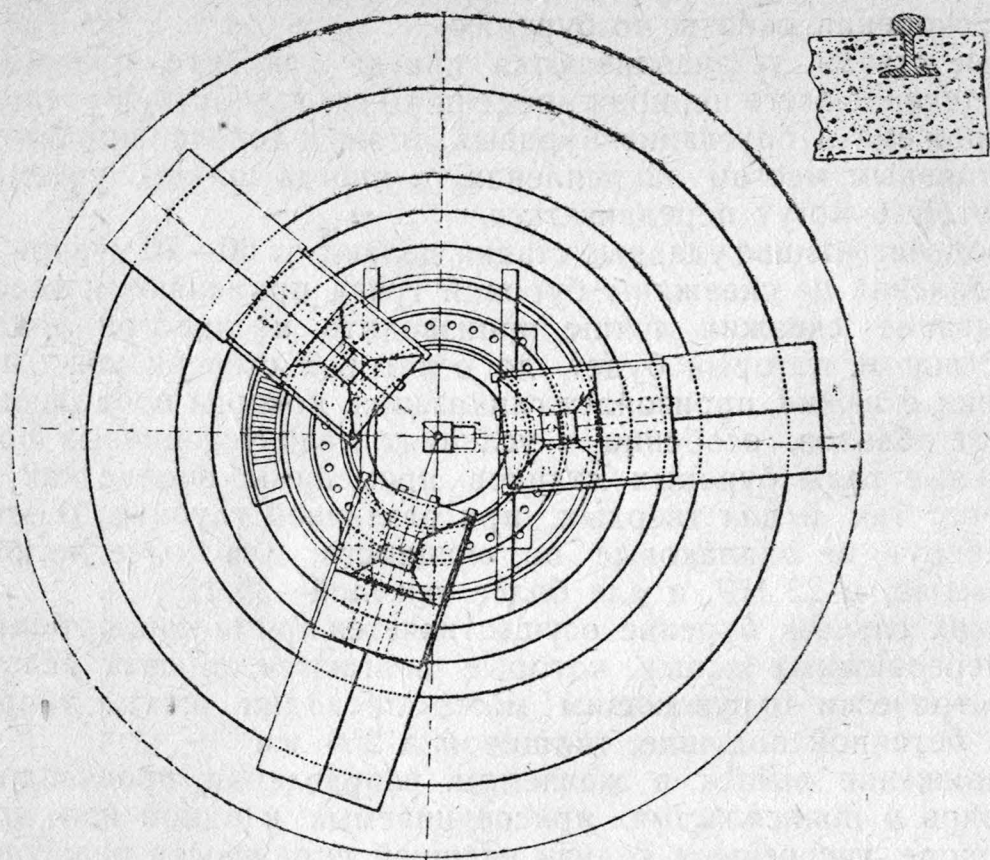
На фигурах 4, 5 и 6 показано описанное выше устройство, а также—схематически буровой станок.



Фиг. 4.

Такая установка имеет то преимущество, что делает излишним устройство специальных временных сооружений, как копер, а проходка ведется на постоянном.

В местностях с большими колебаниями температуры такое устройство



Фиг. 5.

мало приемлемо, и лучше применять первый описанный выше способ бурения.

Глубина буровых скважин

Глубина скважин находится в прямой зависимости от глубины залегания замораживаемого слоя породы, считая с углублением, примерно, на 2 м. в подстилающую породу, а также является функцией отклонения скважины от вертикального положения.

Количество и размеры буровых скважин

Число и размеры буровых скважин различны для разных шахт и зависят от характера и глубины залегания замораживаемого пласта, а также от диаметра шахты.

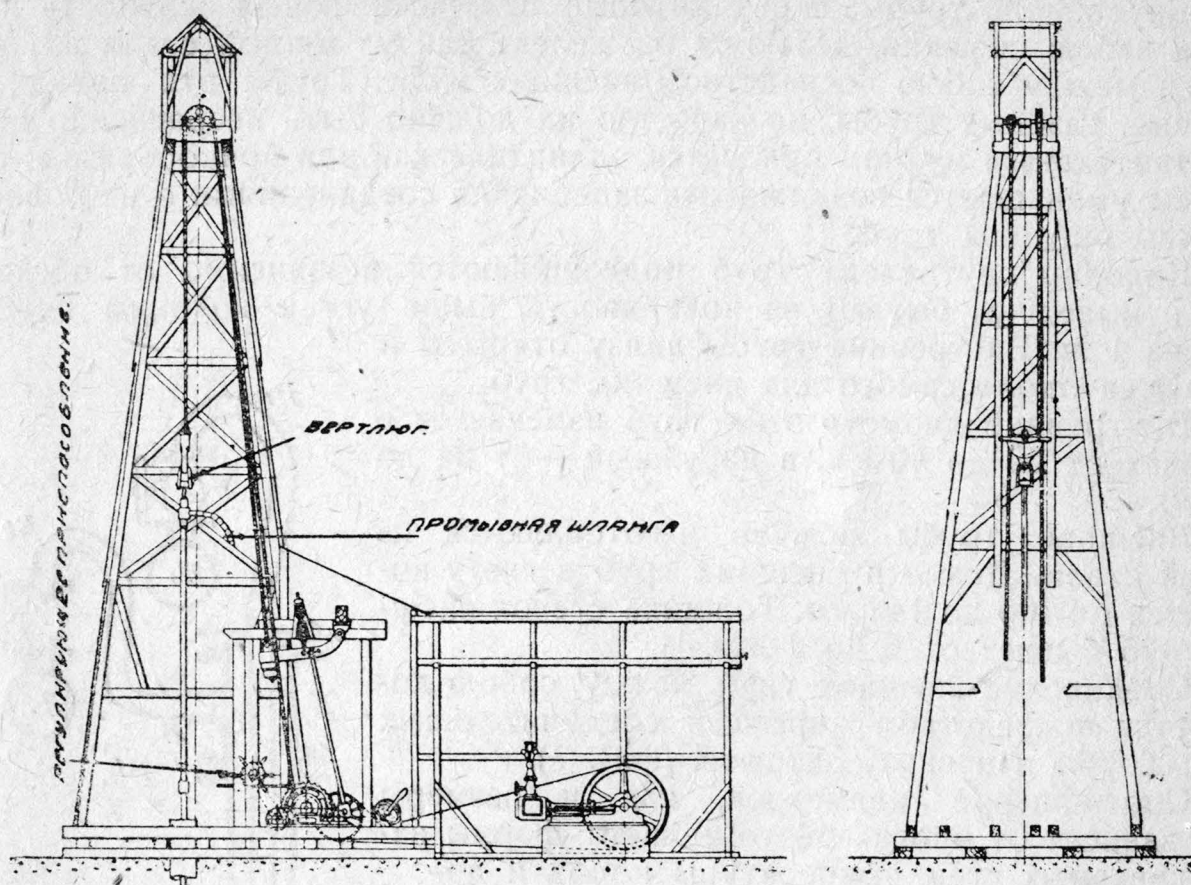
Буровые скважины, как правило, располагаются по кругу, concentрически расположенному по отношению окружности шахты. Расстояние этого круга от внешней окружности шахты колеблется в зависимости от глубины шахты и толщины замерзшей стенки, необходимой для успешного прохождения шахты, между 1,5 и 3,5 м.

Расстояние буровых скважин друг от друга колеблется в пределах от 0,75 до 1,5 м и чаще бывает 0,9-1,0 м.

Диаметр буровых скважин принимают в соответствии с возможностью оборудования их замораживающими трубами и бывает: реже—150 мм и чаще всего 175 мм.

Количество скважин варьирует в широких пределах—от 20 до 50. В отдельных случаях, когда желают иметь замерзшую стенку достаточной прочности, скважины располагают по двум концентрическим окружностям.

Как мы уже упоминали выше, иногда, кроме обычного числа скважин, проходится ряд дополнительных, вызываемых отклонением скважин от



Фиг. 6.

вертикального положения. Иногда дополнительные скважины проходятся с целью образования ледяных массивов, имеющих назначение отклонить потоки подземных вод от замерзшей стенки.

Буровые скважины, обычно, проводятся с поверхности.

Крепление скважин

Крепление буровых скважин производится тем же способом, какой применяется при производстве бурения и в других случаях. Позднее, когда уже вставлены замораживающие трубы, обсадные трубы лучше вынуть.

IV. ЗАМОРАЖИВАНИЕ

Замораживающие трубы

После того, как все буровые скважины бурением закончены, приступают к оборудованию их замораживающими трубами, служащими для циркуляции охлаждающей жидкости.

В каждую буровую скважину вводятся две колонны труб—внешняя и внутренняя. Внутренняя колонна труб служит для введения свежей, охлажденной жидкости к забою скважины, а внешняя—для под'ема отработанной жидкости на поверхность.

В прежнее время, когда метод замораживания начал применяться впервые, внешней колонной труб служили, обычно, обсадные трубы, но это часто влекло к возникновению неполадок, иногда и серьезных; вызывало утечку замораживающей жидкости через основание скважины с последующим затем оттаиванием и размягчением, правда частичным, замороженной уже породы.

Внутренние трубы, через которые замораживающая жидкость подается к забою скважин, делаются из железа или из мягкой стали и соединяются между собою посредством внешних муфт. Трубы эти походят на обычные, газовые трубы, но качество их должно быть несравненно выше. Соединительным муфтам придается эллиптическая или бочкообразная форма, чем уменьшается возможность зацепления соединениями о не ровности колонны внешних труб.

Колонны внутренних труб подвешиваются независимо от обсадных труб и выведены бываю на поверхность выше устья колонны внешних труб на 1 м. Внутренние трубы внизу открыты и кончаются около самого дна внешних труб.

Внутренний диаметр этих труб изменяется в пределах от 26 до 40 мм, а наружный — от 34 до 48 мм.

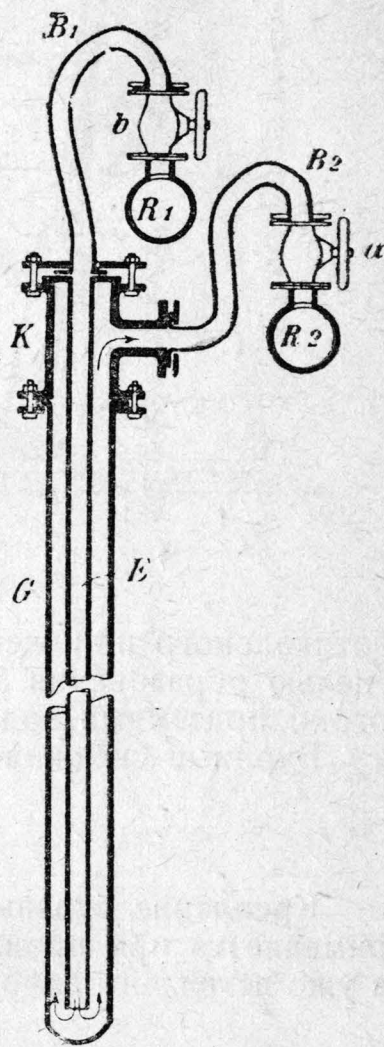
Внешние трубы обычно изготавливаются из мягкой стали. Диаметр внешних труб в свету колеблется от 100 до 140 мм. Толщина стенок внешних труб бывает от 6 до 8 мм.

Соединение внешних труб между собою достигается посредством нарезных соединительных муфт. Трубы эти внизу закрыты (фиг. 7).

Соотношение диаметров, как и размеры труб, зависят от многих обстоятельств: формы замораживаемых стен, температуры пород и др.

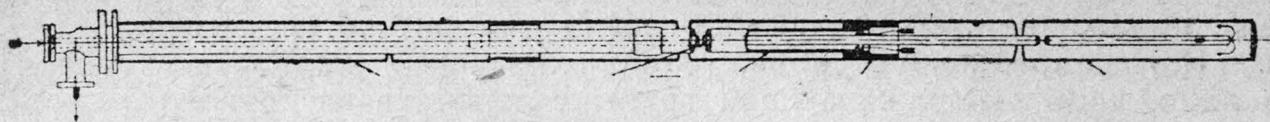
Во всех случаях наибольшее охлаждение желательно иметь ближе к забою буровой скважины, так как, чем глубже буровая скважина, тем выше температура пород, подлежащих замораживанию, и, кроме того, породы на большой глубине находятся и под большим давлением. Наибольшее охлаждение у забоя скважины достигается тем, что внутренние трубы делаются по возможности меньшего сечения и, во всяком случае, площадь сечения внутренних труб берется меньше площади кольцевого пространства между ними и другими трубами; в этом случае замораживающая жидкость двигается вниз с большей скоростью и достигает забоя буровой скважины в минимальный период времени, и, наоборот, подъем жидкости обратно, по кольцевому пространству, вследствие его большого сечения, будет происходить медленно, и передача холода будет, следовательно, более интенсивная.

При глубоких шахтах или в тех случаях, когда водосодержащие пласты перекрываются сухими напластованиями, применяются приспособления для изолирования замораживающей жидкости во внутренней трубе с целью достижения ею места своего назначения без значительной потери тепла. Это делается с помощью третьей трубы, окружающей внутреннюю, подающую замораживающую жидкость, чем создается воздушное кольцевое пространство, действующее как изолятор (фиг. 8).



Фиг. 7.

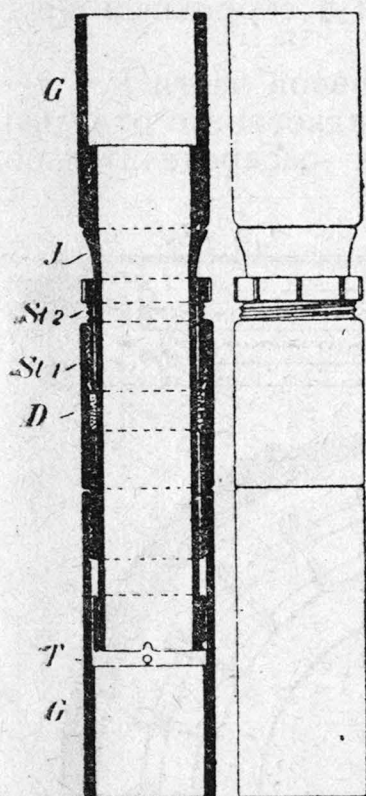
Под действием холода происходит укорачивание труб, для уравнивания которого в колонны труб вставляются упругие соединения.



Фиг. 8.

Соединения эти вставляются по одному на каждые 100 м длины колонны труб.

На фиг. 9 показано такое упругое соединение. Здесь соединяются две соседние трубы G промежуточным телом J и окружающим его сальником st_1 и st_2 , набивка которого D предотвращает выход замораживающей жидкости в породу. В этом сальнике тело J может до некоторого предела свободно перемещаться. При вдавливании трубы в породу, привинченное к телу J кольцо T находит на часть нижней трубы G , в тоже время, с другой стороны, при выдвигании трубы, тоже кольцо задерживается за часть сальника st_1 , и, таким образом, упругость соединения ограничивается в обе стороны.



Фиг. 9.

Особое значение в замораживающих трубах имеет плотность соединения.

В особо трудных условиях проходки шахт способом замораживания прибегают даже к сварке труб.

Если охлаждающая жидкость, вследствие неплотного соединения труб, выходит из замораживающих труб в породу, то в этом случае возможно образование, так называемых, „гнезд раствора“, в которых порода остается мягкой и не замерзает. Такие „гнезда раствора“ часто, особенно в первые годы применения способа проходки замораживанием, и были причиной прорыва воды в шахту во время ее проходки.

Сказанное приводит к убеждению, что испытание колонн труб на плотность их соединения друг с другом необходимо и его надо производить с особой тщательностью. Испытание необходимо производить как во время установки труб, так равно и по окончании ее, когда весь проложенный трубопровод подвергается повторному испытанию.

Испытание делается гидравлическое, обычное, как и во многих других случаях.

Давление, на которое испытываются трубы, берется на 10—20 атмосфер выше того давления, которому испытываемые трубы будут подвергаться во время работы. Если, скажем, давление, под которым вводится охлаждающая жидкость в трубы, будет 200 м водяного столба, то колонна труб подвергается испытанию на давление в 30—40 атмосфер. Это давление можно постепенно, идя кверху, уменьшать с тем, чтобы верхние трубы были подвергнуты давлению не ниже 10—20 атмосфер.

За состоянием замораживающих труб, в смысле возможного нарушения соединений в процессе работы, необходимо установить постоянное наблюдение.

Установление факта нарушения соединений, а следовательно, и наличия утечки замораживающей жидкости, производится следующим образом: наблюдают за состоянием уровня охлаждающей жидкости в испарителе; понижение уровня жидкости здесь говорит об ее утечке.

Когда понижение уровня замораживающей жидкости в испарителе на лицо, надо замораживающие трубы выключить из кругового процесса; тогда путем установления понижения уровня в самых скважинах можно будет найти и поврежденные трубопроводы.

Утечка охлаждающей жидкости может произойти также вследствие нарушения замораживающих труб взрывными работами.

Обнаруженная замораживающая труба, дающая утечку замораживающей жидкости, должна быть, как мы сказали, изъята из работы, а в отдельных случаях необходимо даже будет пойти и на дополнительную скважину.

Когда все буровые скважины оборудованы замораживающими трубами, последние соединяются с распределительным и сборочным трубопроводами (фиг. 10).

Соединение это производится при помощи головной части R .

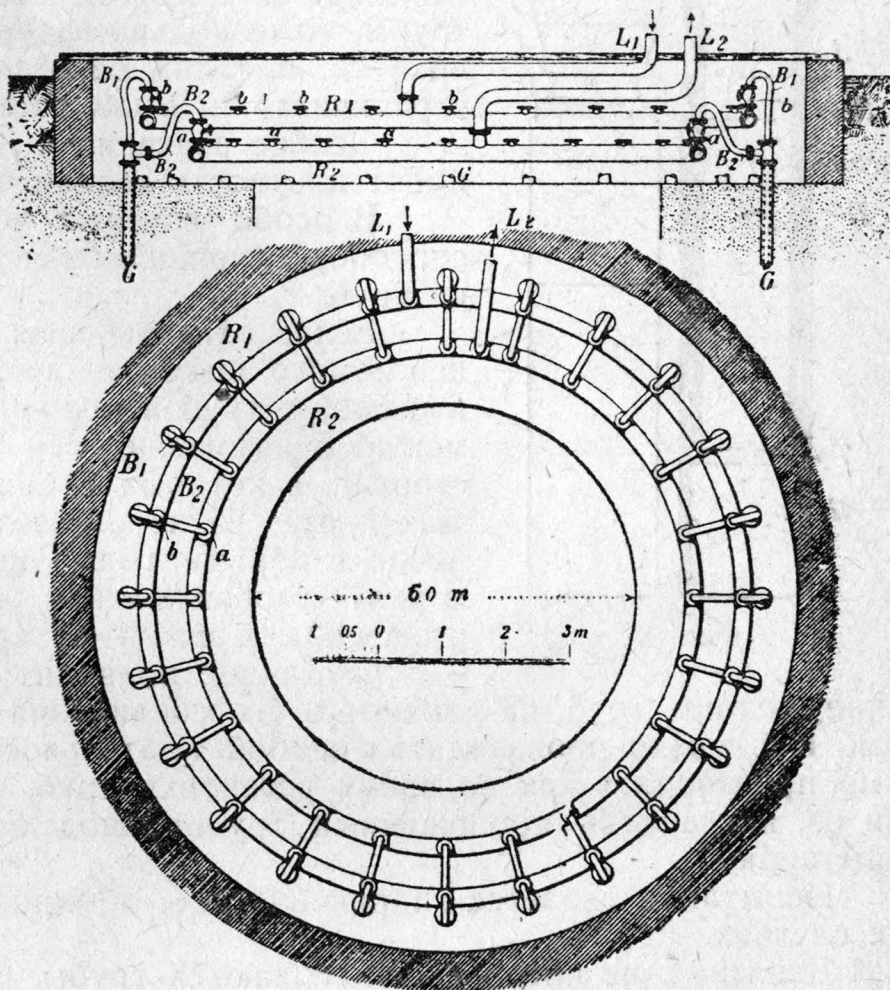
Равномерное распределение замораживающей жидкости по отдельным буровым скважинам производится при посредстве распределительного кольца R_1 (фиг. 10), которое соединяется с идущим от холодильного устройства главным трубопроводом L_1 , и от которого идут ответвления (соединительные трубы B_1) ко всем буровым скважинам.

Приток замораживающей жидкости регулируется вентилями b .

Отводные трубы (внешние) при помощи соединительных труб B_2 с вентилями a , аналогично внутренним трубам, присоединены к сборному кольцу R_2 , откуда охлаждающая, отработанная уже, замораживающая жидкость отводится обратно в холодильное устройство с помощью общего трубопровода L_2 .

Подводящий трубопровод L_1 и отводящий L_2 , непосредственно присоединяемые к головной части замораживающих труб, делаются свинцовыми, чем достигается легкая их укладка.

Распределительные и сборочные кольца имеют диаметр меньше, чем круг, по которому расположены буровые скважины с замораживающими трубами, и, таким образом, оба эти кольца располагаются внутри указанного выше круга.



Фиг. 10.

Этим достигается то, что замораживающие трубы всегда доступны для осмотра в верхней своей части.

В последнее время в замораживающих установках сборочное кольцо R_2 иногда отсутствует. В этом случае отводные замораживающие трубы несут отработанную жидкость непосредственно в сборочные резервуары, соединенные трубопроводом с холодильной установкой. Этот способ имеет то преимущество, что здесь во всякое время можно судить на глаз о количестве замораживающей жидкости, поступающей через отдельные трубы, и тем определить их состояние по отношению к утечке.

При этом случае, несомненно, будет иметь место большая потеря холода.

На отводящей отработанную замораживающую жидкость трубе устанавливается термометр.

Форма и размеры образующейся замороженной стенки будут зависеть: от вертикальности буровых скважин; диаметров замораживающих труб, или вернее отношения диаметра внутренних труб к диаметру внешних; толщены стенок замораживающих труб; проводимости пород, скорости циркуляции замораживающей жидкости, и периода времени, в течение которого ведется процесс замораживания.

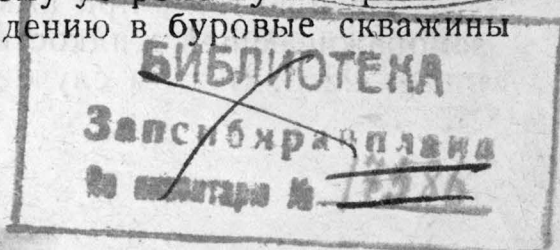
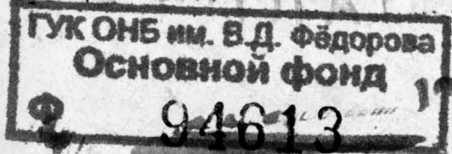
При разнообразии приведенных выше факторов, влияющих на образование замороженной стенки, особенно важно знать в каждый данный момент, как происходит образование этой замерзшей стенки. В условиях умеренного климата всякие неполадки в замораживающих трубах узнаются по отсутствию инея на частях труб в соединениях с главным трубопроводом. Кроме того, на соединениях замораживающих труб с главным трубопроводом имеются небольшие краны, играющие двойную роль: они позволяют уходить воздуху из системы труб и дают возможность производить измерения температуры вводимой в скважины и отводимой отработанной замораживающей жидкости обратно, что также позволяет судить о ходе процесса замораживания.

Однако, одного наблюдения за температурой замораживающей жидкости в местах соединения замораживающих труб с трубопроводами недостаточно, так как это наблюдение не всегда дает представление о правильности хода процесса замораживания, правильности движения замораживающей жидкости в замораживаемых трубах, и это особенно будет при глубоких шахтах, где, для обеспечения успешного проведения процесса замораживания, необходимо предусмотреть все возможные предосторожности.

В этих случаях, весьма часто в центре шахты проводят скважину которая имеет двойное назначение: дает возможность проверить температуру на любой глубине шахты путем опускания в нее термометра, а также дает определенный горизонт воды для измерения: с началом образования замороженной стенки уровень воды в скважине начнет подниматься. Если мы в этом случае будем отбирать воду из скважины или, когда буровая скважина очень глубокая, наоборот, будем вливать в скважину воду, то при законченном процессе образования замороженной стенки, будем иметь: в первом случае—понижение уровня воды в скважине, а во втором—повышение.

Порядок введения буровых скважин в работу

После того, как оборудование буровых скважин закончено, когда замораживающие трубы присоединены к головному устройству и через него к холодильной установке, приступают к введению в буровые скважины замораживающей жидкости.



Обычно, при процессе замораживания, циркуляция замораживающей жидкости производится во всех скважинах одновременно, но это бывает не всегда. Иногда замораживание ведется совсем по другому: вначале пускаются в действие две противоположные скважины; позднее, когда температура в соседних скважинах также понизилась, вводят в работу еще по две скважины с каждой стороны, соседние с ранее пущенными в работу. Образуется, таким образом, уже группа из шести скважин, работающих одновременно. Далее поступают аналогичным образом до тех пор, пока не будут введены в работу все скважины.

Преимущества указанного способа следующие:

1. Имеется возможность наблюдать за распределением холода в породах, а поэтому и возможность усиления охлаждения там, где это необходимо. Это обстоятельство особо важно, когда имеем дело с трещиноватыми породами, трещины которых заполнены водой.

2. Времени, в течение которого каждые последующие скважины находятся в работе, вполне достаточно для образования замерзшей стенки, так как в них идет преждевременное понижение температуры за счет соседних скважин.

Замораживающие жидкости

Выбор замораживающей жидкости, охлаждающейся в холодильных установках и идущей отсюда к замораживаемым пластам для отдачи последним холода, зависит, главным образом, от глубины шахты и температуры, при которой необходимо вести процесс замораживания.

Так как процесс замораживания ведется при низких температурах, то первым условием, которое должно быть предъявлено к замораживающей жидкости, будет то, что она не должна не только замерзнуть, но даже отвердевать. Жидкость не должна также иметь склонности к образованию осадков.

Кроме того, выбранная жидкость не должна разъедать трубопровода и насосов и должна быть, поскольку это возможно, дешевой.

Большей частью в качестве замораживающей жидкости употребляют раствор хлористого кальция (CaCl_2) и раствор хлористого магния (MgCl_2).

Раствор хлористого кальция дороже раствора хлористого магния, но он хорошо пригоден для охлаждения до более низких температур, так как остается жидким еще при -50°C . Раствор берут, обычно, 30% крепости.

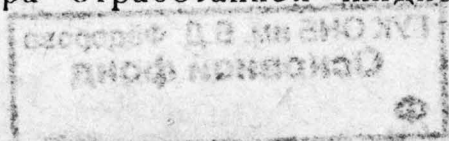
Когда необходимо понизить температуру затвердевания еще ниже, в раствор хлористого кальция добавляют алкоголь.

Самая низкая температура раствора достигается, когда раствор заменяется чистым алкоголем, который замерзает только при -112°C .

Хлористый магний, если крепость его раствора будет 26%, замерзает при температуре -33°C .

Аммиачные холодильные установки понижают температуру охлаждающей жидкости максимум до -6°C , поэтому здесь более целесообразно применять в качестве охлаждающей жидкости раствор хлористого магния, как более дешевый. Наоборот, когда необходимо достичь более низких температур охлаждающей жидкости, в зависимости от качества и температуры воды и глубины шахты, прибегают к углекислотным холодильным установкам и в качестве охлаждающей жидкости берут раствор хлористого кальция, который, как мы говорили выше, замерзает при более низких температурах.

На практике, при аммиачных холодильных установках, температуру замораживающей жидкости у входа в замораживающие трубы не доводят ниже -22°C . В этом случае температура отработанной жидкости, при ее



выходе из замораживающих труб, будет -17°C . Такая разница в температуре при входе в замораживающие трубы и при выходе из них вполне нормальна в начале процесса, когда процесс замораживания только начался и, естественно, эта разница будет постепенно уменьшаться к концу процесса.

Надо сказать, что в начале процесса замораживания холодильная установка не пускается на полную ее мощность и температура охлаждающей жидкости не достигает конечной цифры (в нашем примере -22°). Понижение температуры производится постепенно, по мере ведения процесса далее и только по прошествии, примерно, четверти времени, потребного на процесс замораживания, она достигает конечной температуры.

Разница в температурах охлаждающей жидкости при входе в замораживающие трубы и выходе из них уменьшается постепенно во все время процесса замораживания и в конце процесса будет около 2-х градусов, а иногда и того менее (до 1°).

Во время самой проходки в замороженной породе для сохранения ее в таком состоянии достаточна вполне температура охлаждающей жидкости -18°C . (при входе ее в замораживающие трубы).

Все жидкости, применяемые для получения низкой температуры и передающие ее затем замораживаемой породе, действуют разрушающим образом на лед, поэтому весьма важно, как мы уже и говорили, иметь соединения труб, выполненные в высшей степени тщательно, чтобы не было утечки жидкости.

Для создания циркуляции охлаждающего раствора в замораживающих трубах применяются насосы.

Для замораживания пород на небольшой глубине применяются обыкновенные плунжерные насосы, для замораживания же пород на большой глубине, когда применяются более плотные растворы, лучше применять для этой цели центробежные насосы.

Перерывы в работе насосов, когда процесс замораживания идет, весьма нежелательны, а потому за состоянием их необходимо установить хороший надзор и надо всегда иметь достаточное количество запасных частей, что облегчает и ускоряет возможный ремонт.

. Холодильные установки. Сущность устройства

Принцип замораживания, вернее образование холода и передача его при посредстве охлаждающей жидкости замораживаемой породе—один, разница только в химическом составе, который выбирается для охладителя и охлаждающей жидкости.

Понижение температуры охлаждающей жидкости производится в особых устройствах, называемых холодильными машинами или холодильными установками.

Получение холода для понижения температуры охлаждающей жидкости основано на испарении химических составов с низкой точкой кипения.

В качестве производителей холода берут главным образом, аммиак (NH_3) и углекислоту (CO_2), оба в жидком виде.

Один килограмм аммиака, испаряющийся при температуре $+15^{\circ}$ до 20°C , расходует около 290 калорий, а следовательно, образует такое же количество и холода.

Углекислота при этих же условиях расходует всего лишь 35 калорий

Чтобы извлечь определенное количество тепла из породы прибегают к помощи переносчика холода—замораживающей жидкости, отдающей поглощенное тепло из пород в особом аппарате (испарителе) испаряющему-

ся холодообразователю. Здесь замораживающая жидкость снова охлаждается, идет снова к замораживаемой породе, и таким образом процесс этот повторяется.

Холодообразователь, отдавши свой холод, полученный при испарении, возвращается к начальной точке, где он опять подвергается сжатию и идет снова к испарителю, т. е. и здесь процесс повторяется.

Получаются таким образом, два цикла, которые всегда находятся во взаимодействии.

В этом процессе необходима еще вода для поглощения тепла, получаемого при сжатии охладителя.

Циркуляция охладителя

Циркуляция охладителя получается, главным образом, в результате работы четырех приборов, соединенных между собою трубопроводами: компрессора, конденсатора, расширительного вентиля и рефрижератора, или испарителя (фиг. 11).

В компрессоре *С* холодообразователь сжимается: аммиак до 9, а углекислота до 75 атмосфер.

Сжатый, а следовательно, и нагретый холодообразователь вытесняется в конденсатор *К*. Конденсатор представляет собою цилиндрический сосуд, резервуар, в котором циркулирует охлаждающая вода. В конденсаторе холодообразователь проходит по змеевику, в направлении сверху вниз, охлаждающая же вода входит снизу и выходит сверху, так что противотоком она приходит в соприкосновение со змеевиком и наиболее охлажденная вода попадает в этом случае уже на охлажденную часть змеевика.

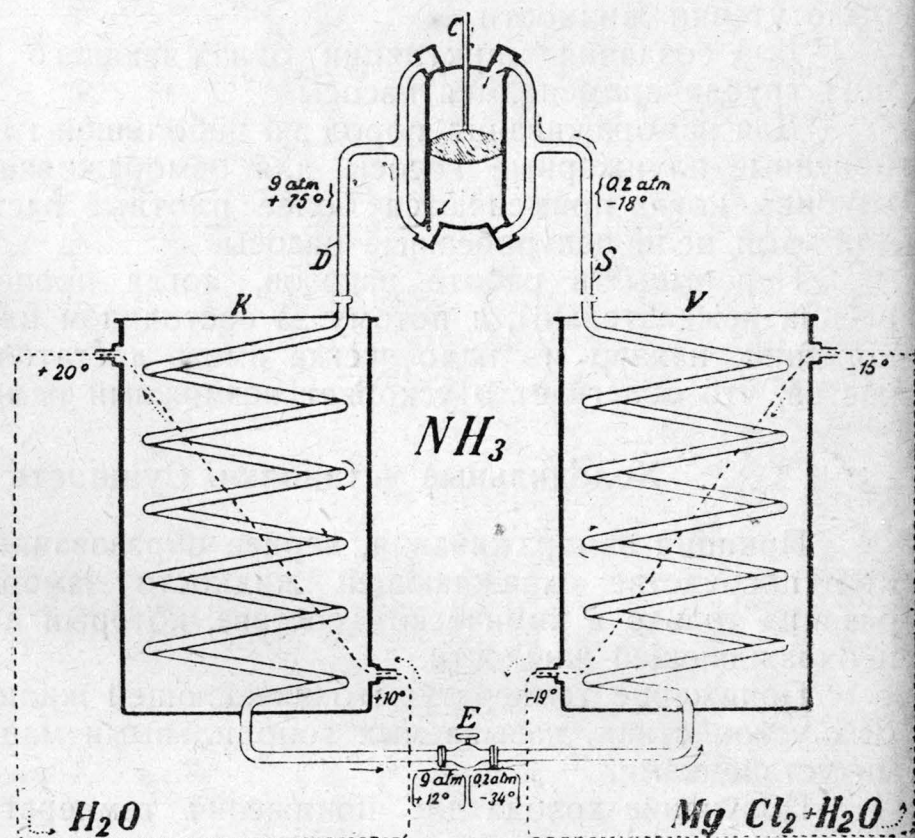
Для лучшего использования воды, как охладителя, устраивается мешалка, которая приводится в действие конической зубчатой передачей и которая приводит воду в движение.

Такие конденсаторы называются замкнутыми или погруженными.

Другой тип конденсаторов—это конденсаторы с орошением; в них охлаждение происходит при помощи стекающей воды.

Для конденсаторов замкнутых требуется весьма мало места, и, кроме того, они дают лучшее использование охлаждающей воды. Недостатками этого рода конденсаторов надо считать более трудную очистку их от шлама и здесь значительно труднее находить нарушения в змеевике.

Оросительные конденсаторы, при большом расходе воды, дают воз-



Фиг. 11.

возможность получить более сильное охлаждение и потому очень охотно применяются при охлаждении до низких температур.

Под действием низкой температуры охлаждающей воды в конденсаторе происходит отнятие от холодообразователя теплоты сжатия, происходит ожигение: холодообразователь становится жидким и поступает в таком виде в расширительный вентиль *E* (см. фиг. 11).

Через указанный вентиль холодообразователь течет в ту часть трубопровода, которая находится под высасывающим действием компрессора, и проходит при этом через испаритель *V*.

В испарителе давление холодообразователя понижается: в аммиачных машинах—до 0,2—0,5 атмосфер, а в углекислотных до—8—12 атмосфер.

Внезапно наступившее изменение в давлении влечет за собой интенсивное испарение холодообразователя и связанное с этим сильное охлаждение его.

Испаритель, подобно конденсатору, имеет концентрически расположенные и параллельно соединенные змеевики, по которым и проходит снизу вверх холодообразователь. Охлаждающая жидкость попадает в испаритель противотоком сверху и выходит снизу.

Охлаждающая жидкость, в целях лучшего использования холода, приводится в соприкосновение с холодными трубами змеевиков, подобно конденсатору, с помощью мешалки. В целях предохранения от потери холода весь резервуар, равно как и предохраняемые от нагревания трубы, окружаются изолирующей оболочкой.

Из испарителя, все же еще, холодный холодообразователь снова поступает в компрессор, и круговой процесс возобновляется.

Производство холода, как мы уже об этом упоминали, базируется и на том, что тепло, образуемое при ожигении производителя холода, непрерывно связывается с охлаждающей водой и что вместо этого отводимого тепла соответствующее количество его извлекается из охлаждающей жидкости, которая в свою очередь поглощает его из породы при проходе по замораживающим трубам.

Ввиду того, что нагретый под действием сжатия холодообразователь легко увлекает за собой из компрессора смазочное масло, что может повести к загоранию в конденсаторе, между последним и компрессором устраивается маслоотделитель.

Здесь же, т. е. между компрессором и конденсатором, для достижения большего охлаждения холодообразователя, устанавливается еще охладитель предварительный, змеевики которого омываются водой таким же образом, как и в конденсаторе.

Описанный круговой процесс необходимо постоянно и тщательно контролировать в отношении температуры и давления, для чего на установке имеются термометры и манометры.

В особенности надо следить за тем, чтобы в трубопроводе, между испарителем и компрессором всегда преобладало сверхатмосферное давление и чтобы, следовательно, из-за неплотностей в соединениях трубопровода, не имело места засасывание воздуха.

То же надо сказать и о конденсаторе. Если змеевики конденсатора засорились, например, затвердевшими осадками смазочного масла, то в них могут образоваться сужения площади прохода, а это повлечет за собой нарушение в самом процессе холодообразования.

Охлаждение в конденсаторах достигается, как мы уже сказали, при помощи воды.

Вода берется или из насосной установки, или из водяных источников, находящихся вблизи шахты.

Устраивать насосную установку вблизи шахты не рекомендуется, так

как в этом случае можно вызвать движение подпочвенных вод, что может нарушить процесс замораживания.

Отработанная вода в подогретом виде отводится в определенное место и, при недостатке воды вообще, может быть охлаждена и вновь использована.

Охлаждение производится различными способами: устраивают охлаждающие башни в виде градирни и др.

Циркуляция воды производится насосом.

Потери воды при циркуляции доходят до 15%, и это количество воды надо периодически пополнять.

Аммиак и углекислота в качестве производителей холода

Мы уже сказали, что в качестве производителей холода берется или аммиак, или углекислота, оба в жидком состоянии.

Важнейшие свойства их в отношении использования для производства холода видны из таблицы 1.

Таблица 1.

	Критическая температура	При каких градусах и при каком давлении происходит ожижение	Точка кипения
Аммиак . . .	131°C	15°C и 7,1 атм. 20°C и 8,4 "	— 34°C при 1,0 атм. — 23°C " 1,5 "
Углекислота .	31°C	25°C и 9,8 " 15°C и 4,9 " 20°C и 5,3 " 25°C и 6,0 "	— 18°C " 2,0 " — 49°C " 7,0 " — 45°C " 8,0 " — 42°C " 9,0 "

Из таблицы видно, что аммиак поддается ожижению при незначительных давлениях: при температуре охлаждающей воды в 15-25° необходимое давление в компрессоре не превышает 9-11 атмосфер.

Температура, до которой может быть доведена замораживающая жидкость, при нормальных условиях работы, будет, примерно, —22° С.

При употреблении же углекислоты, давление, которое необходимо поддерживать в компрессоре, сильно возрастает и доходит до 60-80 атмосфер. Температура замораживающей жидкости в этом случае может быть доведена до —45° С.

Вследствие значительно более низкой критической температуры углекислоты, выше которой ожижение последней больше невозможно, количество воды для охлаждения требуется значительно больше и притом с достаточно низкой температурой.

Преимущество аммиака заключается в том, что неплотности в установках могут быть легко открыты по едкому запаху, который он дает.

С другой стороны аммиак дороже углекислоты, и при его употреблении установка несравненно легче засоряется компрессорным маслом.

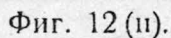
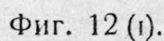
Выбор производителя холода зависит, главным образом, от необходимой конечной температуры замораживающей жидкости: для температур до —26° С применяют аммиак, а для температур более низких—углекислоту.

В зависимости от применяемого производителя холода холодильные установки делятся: на аммиачные и углекислотные.

Первые работают при более низком давлении, около 10-11 атмосфер; вторые, наоборот, при более высоком—до 80 атмосфер.

Углекислотные установки, несмотря на более низкую стоимость углекислоты по сравнению с аммиаком, дороже. Это объясняется необходимостью работать с более высоким давлением, что в свою очередь влечет и больший расход энергии, воды, топлива и смазочных материалов.

Фиг. 12 (I и II) дает картину общего расположения замораживающей установки на поверхности. Здесь мы имеем два аммиачных компрессора,



откуда сжатый аммиак через маслоотделители поступает по трубам (мелкий пунктир) в конденсатор (на чертеже—сгуститель аммиака), где происходит по змеевику в направлении сверху вниз и под действием низкой температуры циркулирующей здесь воды—ожижается. Далее, уже охлажденный и жидкий аммиак проходит второй конденсатор (на чертеже—охладитель), где еще более охлаждается и идет в испаритель или рефрижератор (на чертеже-охладители охлаждающего раствора, числом 4). В испарителе аммиак находится уже под действием всасывания его компрессорами. Здесь давление его резко понижается, и внезапное изменение давления вызывает интенсивное испарение аммиака и связанное с этим сильное его охлаждение. Движение аммиака по змеевику идет снизу вверх. Из испари-

теля аммиак по трубам (мелкий пунктир) поступает в газообразном виде снова в компрессора и круговой цикл повторяется в том же виде.

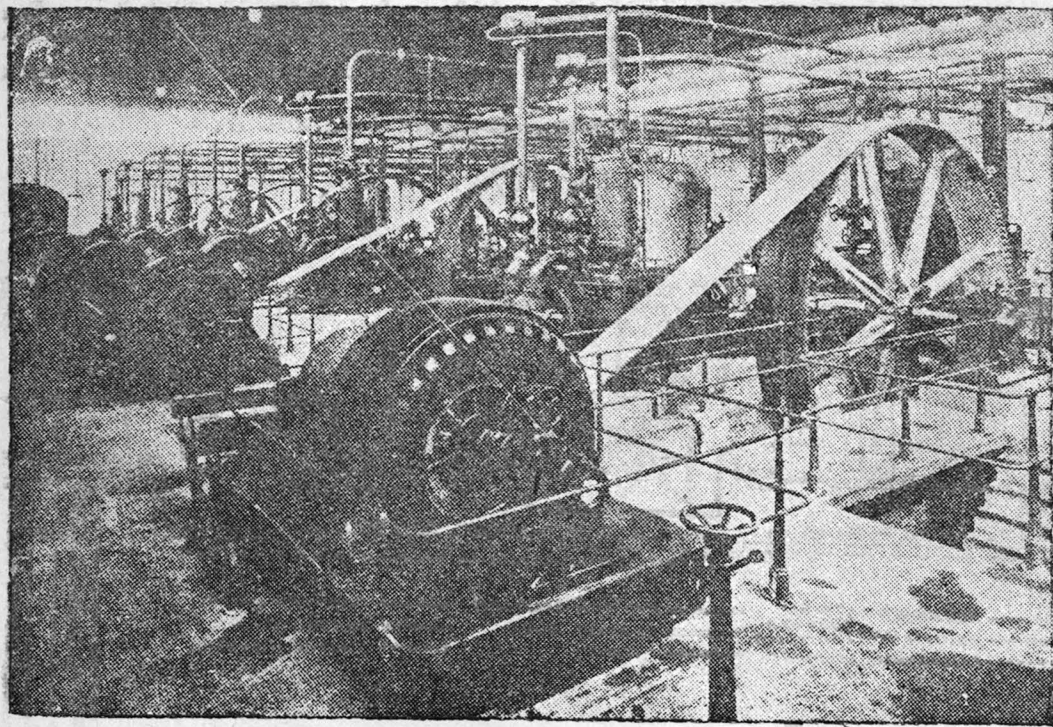
Охлаждающий раствор из отстойников (отстойные резервуары) попадает в один из пары, соединенных параллельно, испарителей, проходит оба сверху вниз и охлажденный идет (пунктир — — — — —) к замораживающим трубам. Отработанная жидкость идет снова к отстойным резервуарам (трубы показаны пунктиром — · — · — · —).

Циркуляция жидкости производится при помощи насосов, по одному при каждой паре испарителей (на чертеже обозначены кружками).

Вода для охлаждения аммиака, а также для питания котлов, подается сжатым воздухом.

Воздушный компрессор показан на правой стороне фиг. 12—II. Вода для охлаждения аммиака в конденсаторах подается в особые сосуды (фиг. 12—I, левая сторона), откуда берется двумя насосами, соответственно двум конденсаторам. Тип первого конденсатора (на чертеже—сгуститель аммиака)—оросительный, второго—замкнутый.

На фиг. 12—II показана также установка для охлаждения воды и котельная. Паром в данной установке, как ясно видно из чертежа, работают:



Фиг. 13.

аммиачные компрессора, воздушный компрессор, проходческая подъемная машина и вспомогательная лебедка.

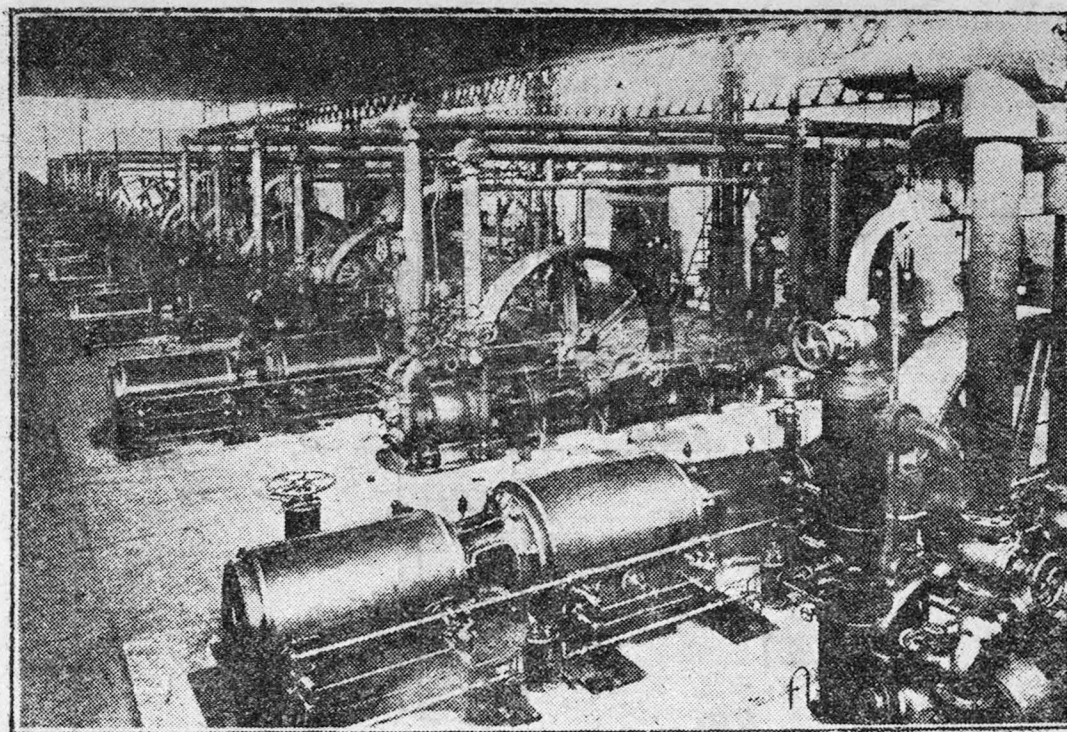
На фиг. 13 изображена большая типичная аммиачная установка, работающая электричеством.

На фиг. 14 изображена большая паровая замораживающая установка.

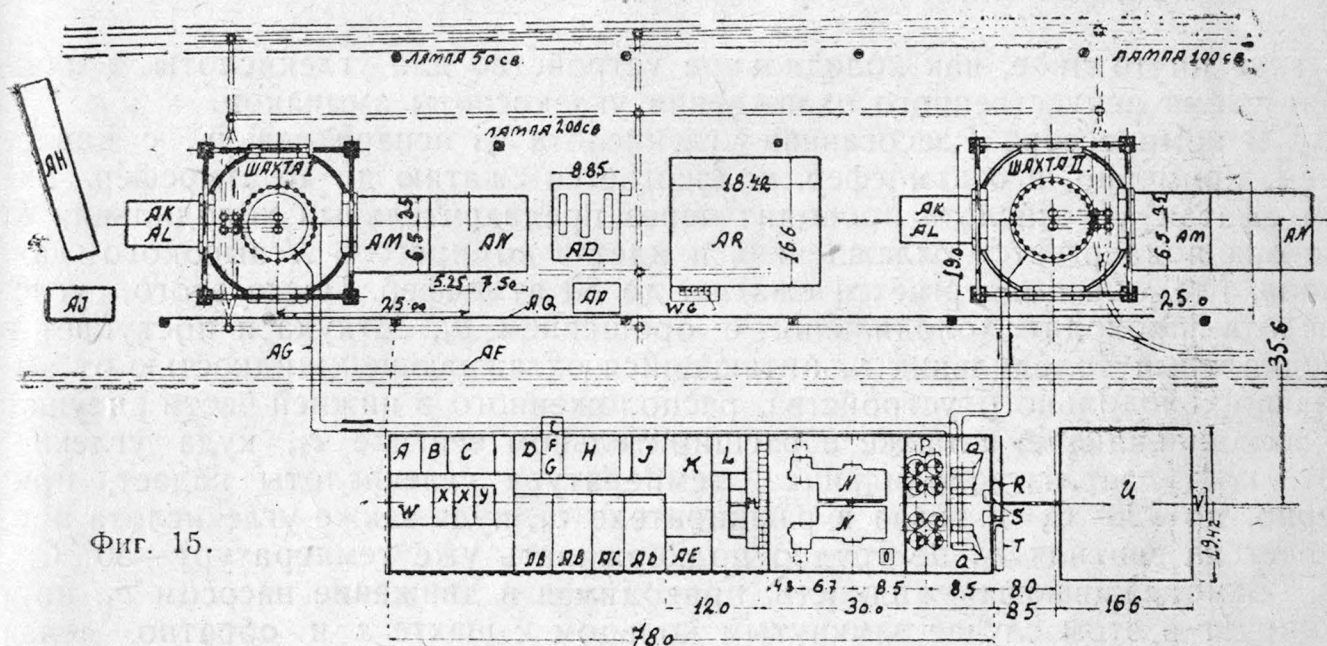
На фиг. 15 изображено общее расположение и главные детали оборудования при проходке процессом замораживания сдвоенной шахты.

Все машины в данной установке приводятся в действие электричеством.

Когда необходимо получить температуру охлаждающей жидкости совсем низкую, ниже -26°C . и когда, как мы сказали раньше, применяют, обычно, углекислотную установку, но с соответствующей жидкостью,—целесообразно применять искусственное охлаждение углекислоты. Операция эта произ-



Фиг. 14.



Фиг. 15.

Обозначения к фиг. 15.

А. Машинист
 В. Раздевальня
 С. Служащие
 D. Сменные техники
 Е. Уголь
 F. Котел
 G. Сторож
 H. Велосипеды
 I. Плотник
 K. Мастерская
 L. Электрик
 M. Подстанция
 N. Компрессор для аммиака
 O. Компрессор воздушный
 P. Холодильная машина
 Q. Насосы для охлаждающей жидкости
 R. Бак для воды
 S. Насос для воды

T. Приемник для сжатого воздуха
 U. Конденсатор для воды
 V. Водяной бак
 W. Амбулатория
 X. Десятники
 Y. Кладовщик
 Z. Кладовая
 AB. Раздевальни (баня) для проходчиков
 AC. Столовая для подземных рабочих
 AD. Столовая для поверхностных рабочих
 AE. Мастерская техников
 AF. Водяная мастерская
 AG. Магистраль охлаждающего раствора
 AH. Контора подрядчика

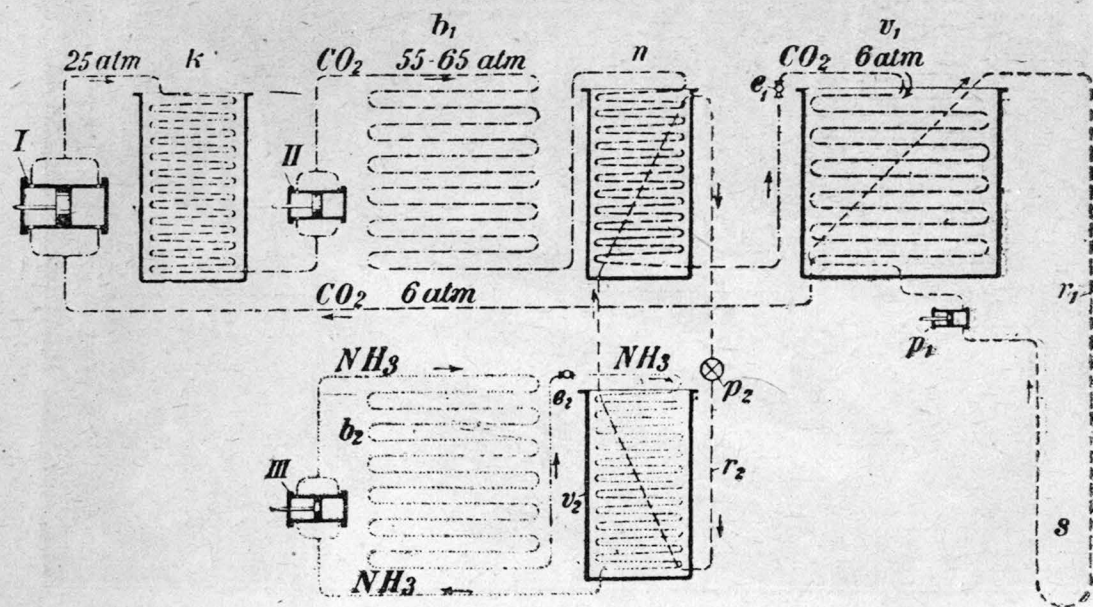
AI. Временные здания
 AK. Ручные лебедки
 AL. Вентилятор
 AM. Запасные лебедки
 AN. Электрическая подъемная машина
 AO. Паровые котлы
 AP. Кузница
 AQ. Водосток
 AR. Склад для цемента

Освещение.

⊕ Лампа 200 свечей
 ○ " 100 " "
 ○ " 50 " "
 ● Световая точка
 Все размеры в метрах

водится при помощи дополнительного, специального холодильника, который работает с помощью аммиака.

На фиг. 16 мы имеем схему такого устройства. Верхняя часть рисунка



Фиг. 16.

ка есть ничто иное, как холодильное устройство для углекислоты, а нижняя—схема искусственного охлаждения углекислоты аммиаком.

В компрессоре *I* засосанная углекислота из испарителя v_1 , с давлением, примерно, в 6 атмосфер, подвергается сжатию до 25 атмосфер. Затем сжатая углекислота проходит через предварительный холодильник *k*, где она подвергается охлаждению, и идет в компрессор *II* высокого давления, где уже подвергается сжатию до 80 атмосфер. После этого, углекислота проходит холодильник с орошением b_1 , откуда и поступает в специальный холодильник *n*, питающийся охлаждающей жидкостью от аммиачно-холодильного устройства, расположенного в нижней части рисунка. В холодильнике *n*, а также в расширительном вентиле e_1 , куда углекислота поступает из холодильника, температура углекислоты падает, примерно, до -20°C , и тогда в расширителе v_1 , куда также углекислота поступает из вентиле e_1 , не трудно поддерживать уже температуру -50°C .

Замораживающая жидкость, приводимая в движение насосом p_1 , циркулирует в этом случае замкнутым кольцом к шахте *s* и обратно, делая цикл r_1 .

Аммиачное холодильное устройство состоит: из компрессора *III* холодильника b_2 , расширительного вентиле e_2 и испарителя v_2 .

Циркуляция охлаждающей жидкости (цикл r_2) производится с помощью насоса p_2 .

Расчет необходимого количества холода

Количество холода, необходимое для образования замерзшей стены, ледяного цилиндра, ориентировочно может быть исчислено, исходя из следующих соображений: как мы уже указывали ранее, количество холода, потребное для процесса замораживания, соответствует количеству тепла, извлекаемому из замораживаемой породы и подведенному затем к замораживающей установке; иначе говоря, потребное количество холода может быть выражено этим количеством тепла.

Обозначим, как это принято вообще, единицу тепла, калорию—через *Cal* и примем удельную теплоту породы 0,2.

Мы знаем, что удельная теплота воды $= 1,0$, а удельная теплота льда $= 0,5$, тогда:

для охлаждения 1 куб. м воды (1000 кг) на 1°C потребуется отнять 1000 единиц тепла, или 1000 калорий;

для охлаждения 1 куб. м льда, при тех же условиях и если не принимать во внимание, что удельный вес льда несколько меньше удельного веса воды, — 500 единиц тепла, или 500 Cal, и

для 1 куб. м породы (при удельном весе $\rho = 2,6$) — $0,2 \times 2,6 \times 1000 = 520$ единиц тепла, или 520 калорий.

Кроме этого потребуется еще тепло для превращения воды в лед (так называемая, скрытая теплота замерзания воды), для чего необходимо 80 единиц тепла на 1 кг воды.

Таким образом, для превращения 1 куб. м воды, взятой при температуре, скажем, $+10^\circ\text{C}$, в лед с температурой -15°C потребуется:

$1000 \times 10 + 80 \times 1000 + 0,5 \times 1000 \times 15 = 97500 \text{ Cal}$ тогда как для охлаждения 1 куб. м породы до той же температуры потребуется:

$$520 \times 25 = 13000 \text{ Cal.}$$

Предположим теперь, что в 1 куб. м породы содержится 1700 кг твердых составных частей и 300 кг воды, тогда при охлаждении с 10°C до той же температуры — 15°C потребуется:

$$1700 \times 0,2 \times 25 + 300 \times 10 + 80 \times 300 + 0,5 \times 300 \times 15 = 37750 \text{ Cal.}$$

На основании сказанного можно определить теперь потребное количество холода для любого объема породы, насыщенной водой.

Пример: Определить количество необходимого холода для замерзшего совершенно цилиндра, диаметром 11,3 м и высотой 100 м при охлаждении с $+10^\circ$ до -10° .

Цилиндр вмещает в себе 10000 куб. м породы (объем цилиндра

$$v = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \cdot 11,3^2}{4} \cdot 100 = \sim 10.000). \text{ Если возьмем то же соотно-}$$

шение воды и породы в 1 куб. м, как это мы брали и в предыдущем примере, то будем иметь массив, состоящий из 17 млн. кг твердых частей и 3 млн. кг воды, а отсюда потребуется:

$$17000000 \times 0,2 \times 20 + 3000000 \times 10 + 80 \times 3000000 + 0,5 \times 3000000 \times 10 = 353 \text{ млн. Cal.}$$

В действительности приходится расходовать тепла значительно больше, так как здесь приходится учитывать потери вследствие теплопроводности и лучеиспускания, причем холод теряет не только замерзшая стена, но и окружающая ее порода. По этой же причине замороженная стена поддсрживается при определенной температуре все время производства процесса замораживания, как во время проходки, так равно и во время возведения постоянного крепления. Можно сказать, что потери вследствие теплопроводности и путем лучеиспускания на дневной поверхности составляют, примерно, 25%, а потери холода, отдаваемого окружающим породами, — около 50% от потребного количества, подсчитанного выше приведенным способом.

Таким образом, исчисленное нами в приведенном выше примере количество единиц тепла, потребного для замораживания определенного массива породы, надо увеличить еще на 75%, и окончательное потребное количество получится:

$$350000000 + 0,75 \times 353000000 = 615 \text{ млн. Cal.}$$

Имея расчетное количество тепла, необходимое для замораживания определенного массива породы, можно подойти и к определенной производительности установки. В этом случае задаются временем, в которое желают произвести замораживание. Для нашего примера возьмем, скажем, 100 дней. Тогда в сутки потребное количество тепла будет: $615000000 : 100 = 6150000 \text{ Cal}$, а в один час — 256250 Cal . Эту цифру и надо считать за необходимую производительность холодильной установки.

Чтобы в эксплуатации не иметь больших машин, что важно для более рационального использования их, так как подача холода идет не всегда равномерно (во время проходки и крепления поддерживается меньшая температура замороженного массива), берут не одну установку на полную производительность, а несколько.

В нашем примере можно выбрать три установки:

- 1) на 160.000 Cal/час
- 2) „ 120.000 Cal/час
- 3) „ 80.000 Cal/час .

В данном случае одна стоит в резерве, а во время процесса замораживания комбинацией двух или одной установкой можно выиграть на экономии энергии.

Для большего обобщения приведенного расчета выразим сказанное в формулах.

Вводим следующие буквенные обозначения:

- D — внешний диаметр замерзшего цилиндра,
- d — внутренний его диаметр,
- H — глубина замораживания в метрах,
- t — средняя температура пород,
- t_1 — конечная температура замораживания,
- p — вес твердых составных частей в куб. м массива замораживаемой породы в килограммах,
- c — удельная теплота породы.
- p_1 — вес воды, заключающейся в куб. м замораживаемой породы в килограммах,
- q_v — удельная теплота воды,
- q_l — удельная теплота льда,
- δ — коэффициент, учитывающий потери,
- v — объем породы, который необходимо заморозить, в куб. метрах,
- k — скрытая теплота замерзания воды в Cal ,
- Q — общее количество необходимых калорий,
- Q_1 — количество калорий, потребное для охлаждения твердых составных частей массива,
- Q_2 — количество калорий, потребное для охлаждения воды, заключающейся в массиве, до 0° .
- Q_3 — количество калорий, потребное для превращения охлажденной до 0° воды в массиве в лед.
- Q_4 — количество калорий, потребное для охлаждения льда в массиве породы.

Тогда имеем:

$$V = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} H,$$

$$Q_1 = V pc (t^\circ + t_1^\circ),$$

$$Q_2 = V p_1 t^\circ,$$

$$Q_3 = V v_1 n,$$

$$Q_4 = V p_1 q_1 t^\circ,$$

отсюда

$$Q = (1 + \delta) (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) = V (1 + \delta) [pc (t^\circ + t_1^\circ) + p_1 t^\circ + p_1 n + p_1 q_1 t_1^\circ].$$

Таким образом, основными данными для определения мощности замораживающей установки являются следующие:

- 1) внутренний и внешний диаметры ледяного цилиндра;
- 2) температура пород, подлежащих замораживанию, и
- 3) температура, до которой данную породу необходимо понизить.

Все эти данные берутся из практики, наблюдений и лабораторных опытов.

Ниже мы приведем некоторые результаты опытов, сделанные, главным образом, во Франции и Германии, а также приведем расчет необходимой толщины стенки замороженного цилиндра, основанный на произведенных опытах и законах механики.

Фирма Foraky (Edward Otto Forster Brown „Vertical, Shaft Sinking“ дает следующее:

1. Расход аммиака на 1 *пог. м* змеевика конденсатора . . . 0,07 *кг/ч*
2. Расход аммиака на 1 *пог. м* змеевика испарителя . . . 0,14 „
3. Требуется аммиака для сжатия в компрессоре при ходильной установке мощностью в 300000 *Cal./ч.*, с температурой охлаждающей жидкости до -20°C 1000 *кг*.
4. Расход охлаждающей жидкости на 1 *пог. м* кольца замораживающих труб (без учета потерь) 9,4 *лит./ч*

Первые три пункта дают возможность, по расходу аммиака на погонный метр змеевиков, зная их длину, а также продолжительность процесса замораживания, определить общий расход аммиака на данную холодильную установку, и, наоборот, по данным общего расхода аммиака, когда время потребное для процесса замораживания известно, можно определить длину змеевиков, а следовательно, и примерные размеры конденсатора и испарителя.

Пункт 4-й дает возможность подсчитать необходимое количество магния или кальция при данных: общей длине кольца замораживающих труб (двойная глубина всех скважин плюс двойное расстояние холодильной установки от ствола шахты), времени, необходимого для процесса замораживания и количества хлористого магния, или кальция, необходимого для получения 1 литра раствора замораживающей жидкости, при необходимой плотности.

Фирма Foraky дает данные и для расчета необходимой энергии, указывая, что 59—60 *HP* производят 100.000 *Cal./час*.

Это количество необходимо увеличить на 10—20%, потребных на вспомогательные двигатели.

Мощность уменьшается с понижением температуры, что видно из таблицы 2.

Таблица 2.

А м м и а к		Температура раствора CaCl_2 в испарителе	Часовая про- изводитель- ность уста- новки в Cal	Мощность на штоке компрессора HP	Действительная мощность на валу компрес- сора HP
Холодильник	Испаритель				
+ 35	— 0	+ 8,3	840.000	312	350
+ 33	— 5	+ 2	695.000	285	318
+ 26,6	— 12	— 7	520.000	242	270
+ 28,6	— 13	— 7,2	515.000	238	288
+ 28,6	— 15	— 9,65	470.000	232	262
+ 28	— 18,3	— 13	415.000	219	247
+ 26,7	— 20	— 15,4	372.000	209	235
+ 26	— 24	— 20	300.000	192	215
+ 25	—	—	—	—	—

Средняя температура воздуха была взята $+18^\circ\text{C}$.

Количество воды, испаряемой в час, составляло 6500—7000 литров.

Сопротивление давлению замерзшей породы

В отношении сопротивления замерзшей породы давлению были неоднократно произведены заграничные опыты. Правда, результаты этих опытов нельзя считать вполне точными, но все же они представляют большую ценность, как данные для сравнения.

В частности опытами было установлено, что сопротивление давлению увеличивается с падением температуры, а в общем зависит, главным образом, от характера пород.

Полностью насыщенный водою и затем замороженный кварцевый песок дает наивысшие коэффициенты сопротивления, повышающиеся с 20 кг/кв. см при 0° до 120 кг/кв. см при -10°C и далее до 200 кг/кв. см при -25°C .

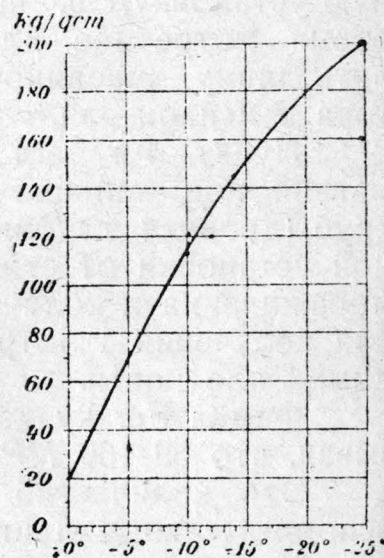
Фиг. 17 дает кривую, показывающую зависимость между сопротивлением и температурой замерзшего песка.

Замерзшая чистая глина с водой дает сопротивления лишь на половину против замерзшего песка, так что такая порода может повредить проходке.

Песчаная глина и глинистый песок дают средние коэффициенты, около двух третей коэффициентов замерзшего песка.

Чистый лед, если бы он встретился под землей, обладает еще меньшей степенью сопротивляемости; так, например, при температуре -15° он трескается при нагрузке всего 18 кг/кв. см .

Очень небольшое сопротивление дает также замерзший бурый уголь.



Фиг. 17.

Приведенные данные надо несколько уточнить, когда мы имеем дело с соляной водой, так как насыщенный рассол замерзает лишь при -22°C .

В этом случае можно достигнуть и высоких сопротивлений, но только при значительно низких температурах.

Фирма Вегелин и Гюбнер в Германии констатирует в песчаном массиве, пропитанном полностью насыщенным рассолом при температуре до -49°C , сопротивление давлению в 188 кг/кв. см.

Необходимая толщина ледяного цилиндра и пределы углубки шахты способом замораживания

На основании коэффициентов прочности пытались вычислить также необходимую толщину ледяного цилиндра для различных глубин.

Несомненно, что такое вычисление ввиду неизбежных неправильностей в форме ледяного цилиндра, ввиду разного сопротивления, в зависимости от разной температуры в разных точках замораживаемой породы, дает лишь грубое приближение.

Все же, за неимением вообще способа подхода к разрешению этого вопроса, следует пользоваться законами механики, что дает возможность, хотя бы примерно, разрешить и этот вопрос.

Давление, которому замерзшая стена (ледяной цилиндр) должна оказывать сопротивление, зависит от глубины и от давления, оказываемого плавучей породой.

Это давление можно считать, примерно, равным $1,7-1,8$ давления водяного столба, соответствующего данной глубине.

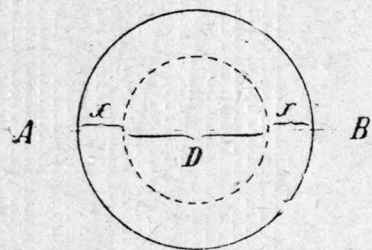
Температура замерзшего слоя породы, являющаяся стимулом для его сопротивления давлению, понижается с 0° до -17°C непосредственно у замораживающих труб.

Температура по направлению внутрь шахты естественно повышается и доходит до -10°C у стенок шахты.

Таким образом, температуру замерзшей стенки можно в среднем считать -10°C .

Этой температуре соответствует среднее сопротивление давлению — 120 кг/кв. см.

Для вычисления необходимой толщины ледяного цилиндра надо предположить, что под влиянием холода образовался цилиндр совершенно правильной формы, с одинаковым по высоте диаметром.



Фиг. 18.

Если мы теперь представим себе, что цилиндр разделен плоскостью, проходящей в любом направлении через ось, на две равные части, то получим картину, изображенную на фиг. 18, где наружный круг обозначает окружность замерзшего цилиндра, а внутренний, пунктирный круг — окружность углубляемой шахты, линия АВ — вертикаль-

ная плоскость, пересекающая по оси замерзший цилиндр.

Обозначим:

D — диаметр углубляемой шахты,

x — толщину замерзшей стены,

H — давление воды в атмосферах,

K — допускаемую нагрузку в кг/кв. см.

тогда получим следующее выражение:

$$2 \times K = (D + 2x) H.1,8,$$

откуда

$$X = \frac{1,8 D H}{2 (K - 1,8 H)}$$

В уравнении X будет равняться ∞ , если знаменатель будет равен 0 т. е. когда $K = 1,8 H$.

Из последнего равенства определяем H .

$$H = \frac{K}{1,8}$$

По этой формуле находим далее и глубину шахты H_1 , на которую она будет заморожена (теоретически); при этих условиях:

$$H_1 = 10 H = 10 \frac{K}{1,8} = 666,7 \text{ м (при } K=120) —$$

это при ординарном запасе прочности.

Вполне ясно, что при двойном запасе прочности эта глубина будет вдвое меньше, т. е. 333,4 м.

Для глинистых песчаников и глин пределы, как можно судить по вышесказанному, будут меньше.

Если мы теперь будем исходить из того, что замерзшая стена будет определенного диаметра и будем идти по пути вычисления диаметра шахты в свету на различных глубинах, то получим картину, изображенную на фиг. 19.

Внешнее очертание прямоугольника представляет замерзший цилиндр диаметром в 20 м.

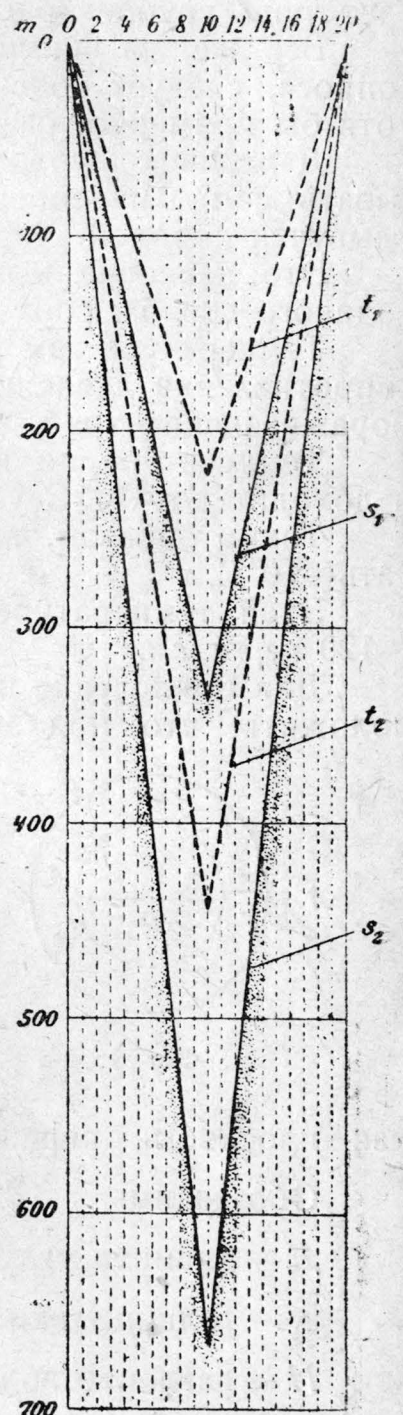
Горизонтальные деления показывают горизонт шахты, вертикальные линии — различные диаметры ее.

Построение, которое дает возможность ориентироваться в выборе толщины замораживаемого цилиндра, ясно на чертеже.

Здесь, при песчаной породе и при двойном запасе прочности, имеем для выбора диаметра и глубины шахты конус s_1 , а для той же породы с ординарным запасом прочности — s_2 .

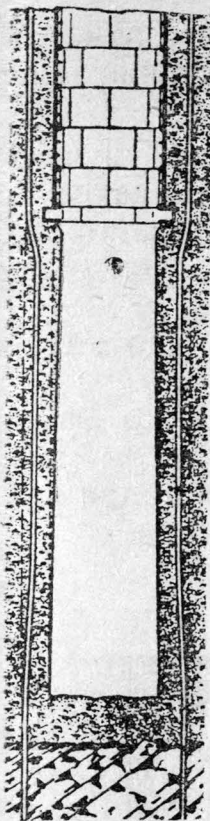
В глинистых сланцах, при половинном сопротивлении, имеем соответственно конусы t_1 и t_2 .

Хотя эти расчеты, как мы сказали, ориентировочные, приближенные, однако опыт говорит, что пройденные шахты, когда толщина замерзшей стены вычислялась именно таким образом, дали вполне удовлетворительные результаты и прорывов воды в шахту во время ее проходки не наблюдалось.



Фиг. 19.

В замороженном цилиндре, в смысле его сопротивляемости давлению, играет роль и упругость самой замерзшей породы. Если порода под давлением приходит в небольшое движение, то вода, входящая в образовавшиеся при движении трещины, тотчас же под влиянием температуры замерзает и замерзший цилиндр становится снова водонепроницаемым.



Фиг. 20.

В этом случае замерзшая стена, как правило, не обрушится, а будет только постепенно выдвигаться внутрь шахты и пройденное пространство заметно начнет сужаться (фиг. 20).

Путем быстрого крепления явление это можно ликвидировать, но лучше, конечно, не допускать подобного явления, так как при этом происходит также и порча труб.

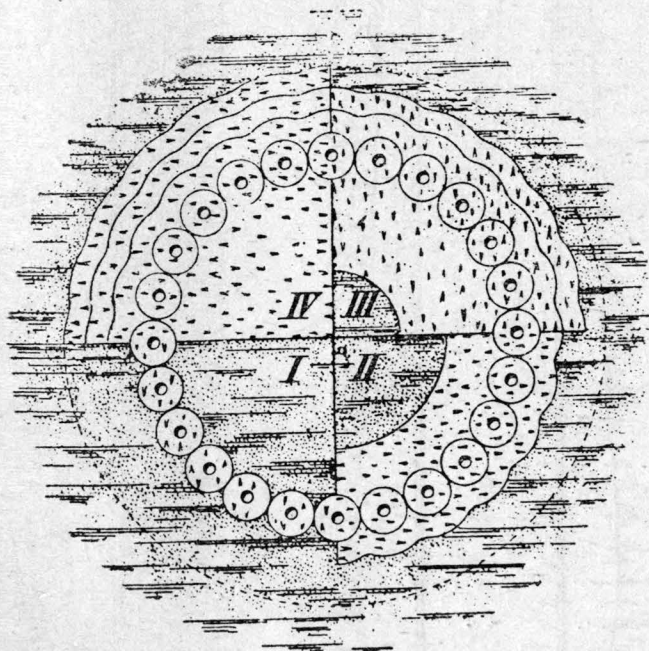
Образование замерзшего цилиндра

Как только начинается производство холода, газопроводы между испарителем и компрессором и трубопроводы для раствора охлаждающей жидкости, распределительное и сборное кольца с ответвлениями покрываются инеем.

Порода замерзает сначала равномерными кругообразными слоями вокруг отдельных замораживающих труб, пока не образуются замерзшие цилиндры и пока последние не сомкнутся и не соединятся в кольцо.

Как только это произошло, холод начинает распространяться к центру шахты и периферии, причем он распространяется значительно быстрее к шахте, чем в противоположном направлении. Последнее объясняется тем, что внутри замерзшего цилиндра — кольца потери холода меньше, чем по периферии, как от лучеиспускания, так и от нагревания соседними породами.

Можно сказать так, что увеличение на 1 м толщины замерзшей стены внутрь шахты соответствует увеличению толщины к периферии на 60 см.



Фиг. 21.

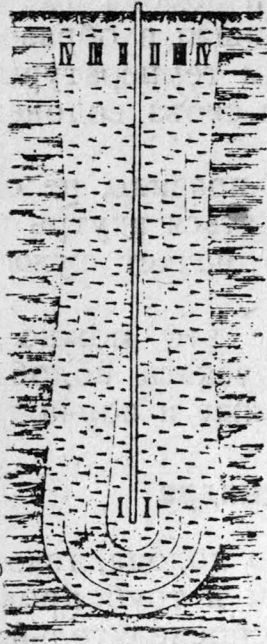
На фиг. 21 изображено такое постепенное распространение замораживания к середине шахты. Здесь отдельные четверти круга показывают толщину замерзшей стены по прошествии одинаковых промежутков времени, примерно, после одного, двух, трех и четырех месяцев.

Таким образом, по истечении этого срока предполагается, что шахта уже заморожена до середины (центра) ее.

Но особо важно образование замерзшего слоя в вертикальном направлении, вверх.

В неособо глубоких шахтах охлаждающая жидкость, идущая к забою, при выходе из спускных труб, имеет в нижней части выводящих труб наиболее низкую температуру, и здесь поэтому она извлекает из породы и наибольшее количество тепла; больше, чем в верхней части

Отсюда замораживание начинается снизу, и замерзшая стена здесь делается более толстой раньше, чем вверху.



Фиг. 22.

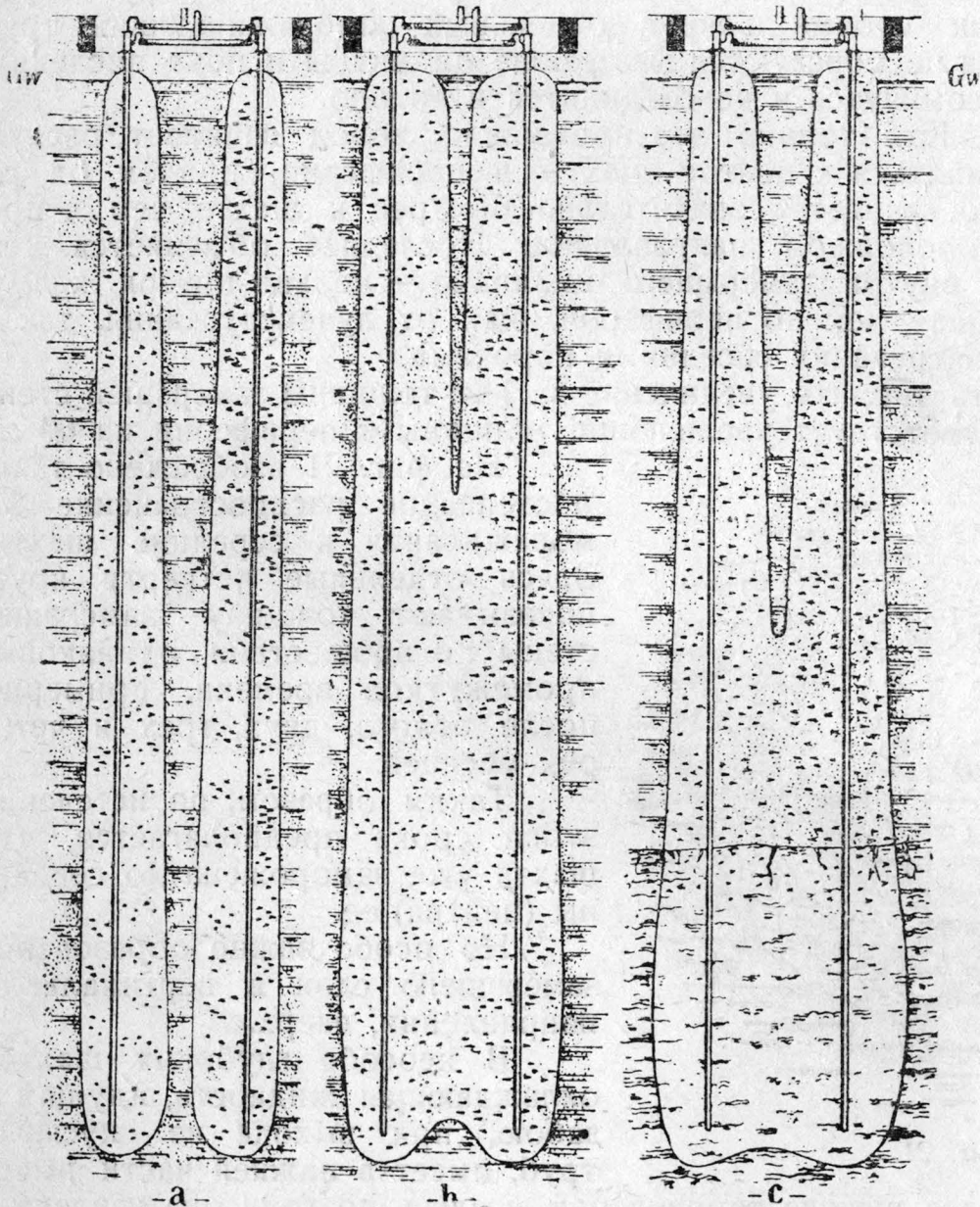
Фиг. 22 показывает, как протекает процесс замораживания вокруг одной пары замораживающих труб, примерно, в те же четыре периода времени, как мы видели выше в отношении распространения по горизонтам.

Чем дальше продолжается процесс замораживания, тем больше увеличивается толщина замерзшей стенки также и в верхней части.

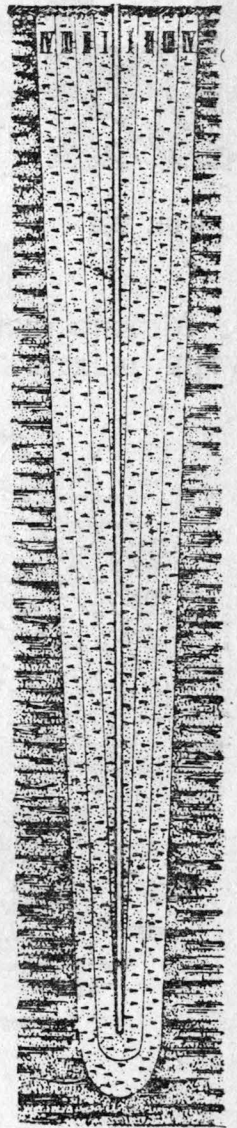
При замораживании внутренней части шахты замерзший слой примет форму, напоминающую и вверху и внизу дно бутылки, причем незамороженная часть больше вдавлена наверху, чем нанизу (фиг. 23).

В глубоких шахтах, 400—600 м, картина меняется.

Охлаждающая жидкость, проходя по замораживающей трубе (подающей), отдает часть своего холода охлаждающей жидкости, которая поднимается вверх и которая уже успела нагреться.



Фиг. 23



Фиг. 24.

Эта отдача холода происходит уже вверх, и, таким образом, жидкость поступает в забой с менее низкой температурой, поднимается в таком виде вверх и при встрече с более холодной — температура ее, как мы сказали, понижается.

В этом случае замораживание начнется сверху (фиг. 24).

Такое явление, конечно, не желательно.

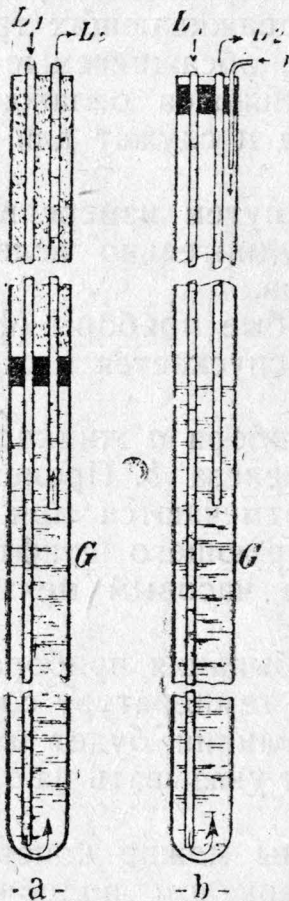
Влияния, которые можно оказать на образование замерзшей стены

Чтобы направить действие холода, главным образом в наиболее глубокое место шахты, замораживающие трубы предохраняют от потери холода, устраивая их с двойными стенками, с воздушным прослойком. Действие в этом случае усиливается еще более, если регулировать скорость течения охлаждающей жидкости.

Последнее достигается тем (фиг. 25), что подающей замораживающей трубе придают разное поперечное сечение вверх и вниз, благодаря чему жидкость вверх имеет скорость течения больше, чем вниз.



Фиг. 25.



Фиг. 26.

Таким путем можно достигнуть того, что замораживающая жидкость в наиболее глубокое место скважины попадает почти с первоначальной своей температурой; потом, в более узкой части, скорость ее замедляется, здесь она нагревается, а затем быстро подается вверх, так, чтобы она не успела отдать свое тепло охлаждающей жидкости, идущей по подающей трубе.

Действие холода на наиболее глубокий горизонт шахты можно еще усилить путем понижения уровня замораживающей жидкости в замораживающей трубе с помощью пробки (фиг. 26) или сжатого воздуха, подводимого по трубке *P*, вставленной в затвор (фиг. 26-в).

В первом случае (фиг. 26-а) верхнюю часть замораживающей трубы можно наполнить массой, плохо проводящей тепло.

Этот способ часто применяется при скважинах, пробуренных в центре шахты, когда хотят заморозить только нижний горизонт и защитить шахту от прорывов воды снизу с тем, чтобы верхнюю часть оставить, наоборот,

не замерзшей, более мягкой, чтобы легче было проходить шахту.

Второй способ (фиг. 26-в) применяется во всех случаях, когда необходимо добиться возможно сильного холода во всех скважинах.

Наоборот, когда необходимо добиться более быстрого замораживания верхней части шахты, то это можно достигнуть, если установить подающие трубы не до самого низа замораживающей трубы, а, примерно, до половины.

В этом случае, замораживающая жидкость, находящаяся в замораживающей трубе под впускной трубой, не принимает участие в циркуляции,

так что подвод холода ограничивается, главным образом, глубиной до которой доводят подающие трубы.

Хорошее равномерное распределение холода по всей высоте замораживаемой шахты может быть осуществлено в глубоких шахтах еще в том случае, когда (фиг. 27) широкую подающую трубу *b* берут с поперечным сечением в свету, равным почти поперечному сечению кольцевого пространства между обоими замораживающими трубами.

При таком устройстве через замораживающие трубы можно пропустить охлаждающей жидкости в 3—4 раза больше: причем, несмотря на ту же отдачу холода породе, охлаждение жидкости может быть значительно меньше.

Здесь только часть раствора отводится в холодильник, а главная часть насосом *a* нагнетается через кольцо *f* снова в спускную трубу.

Наблюдение за образованием замерзшей стены

Чтобы наблюдать за процессом замораживания, обычно, на некотором расстоянии от круга замораживающих труб, бурят до водоносной породы скважины, обсаживаемые снизу закрытыми трубами. Трубы эти наполняются охлаждающим раствором до уровня подпочвенных вод и служат для наблюдения за температурой.

Определение температуры пород путем измерения ее в самых буровых скважинах весьма затруднительно вследствие недоступности скважин для термометров.

Для этой цели употребляются особые приборы (фиг. 28).

Прибор этот с помощью каната спускается в скважину до определенной глубины.

Находящаяся в стальной части прибора *a* жидкость при расширении действует на затвор из волнистого железа *b*. Происходящие здесь при изменениях в температуре движения отмечаются при помощи рычажной передачи *c* и регистрирующего штифта *d* на барабане *f*, приводимом в движение часовым механизмом *e*.

После определенного времени пребывания прибора на определенной глубине, он воспринимает температуру соседней породы, и нанесенная на барабане линия будет иметь горизонтальное направление, что и будет указывать на окончание процесса замораживания.

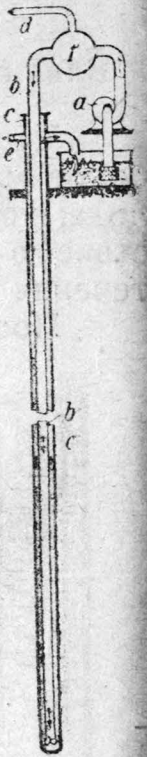
Впрочем, закрытие замерзшей стены можно констатировать на основании наблюдения за зеркалом подпочвенной воды, внутри и снаружи круга замораживающих труб в скважинах.

Если замерзшая стена еще не сомкнулась, уровень воды, внутри и снаружи круга замораживающих труб, в скважинах одинаково высок.

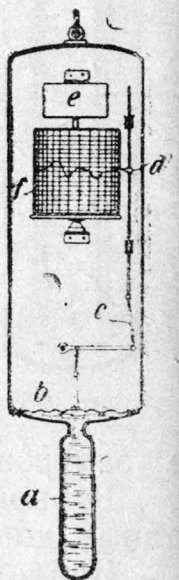
Как только стена замерзшая сомкнулась, вода, не вышедшая наружу и вытесняемая вследствие образования замерзшего пространства, будет равномерно подниматься в скважине, находящейся внутри круга замораживающих труб.

Вскоре после этого можно будет приступить к проходке самой шахты.

К этому времени шахта не должна быть заморожена до середины ее по всей вертикали и даже на нижнем горизонте. Вполне достаточно, если



Фиг. 27.

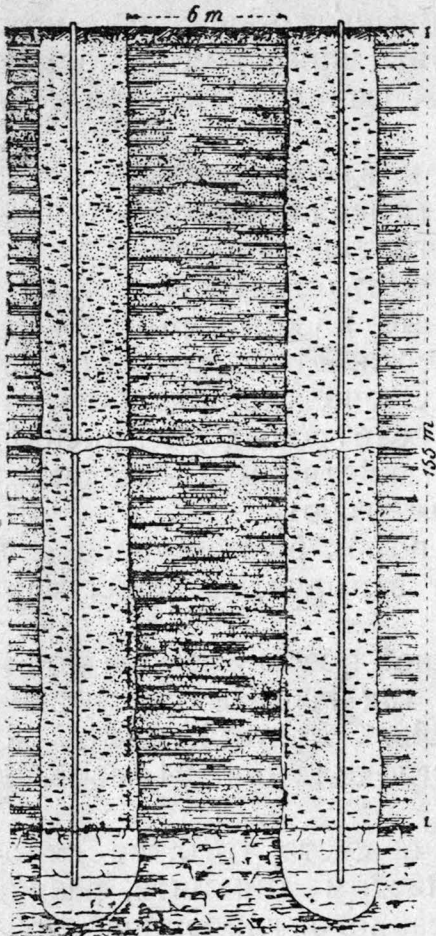


Фиг. 28.

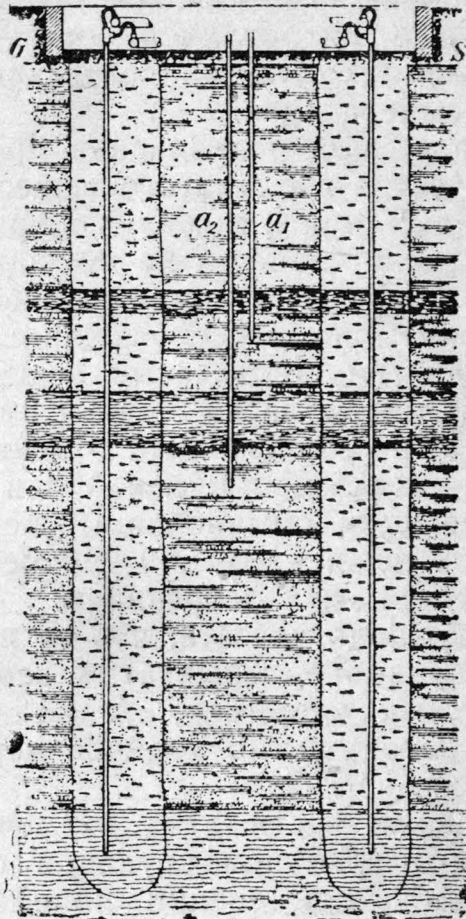
замерзшее кольцо кругом закрыто и своим нижним концом находится в сухой водоносной породе.

Проходка, естественно, значительно облегчается и удешевляется, если возможно будет вести работу до более глубокого горизонта в незамерзшем грунте (фиг. 29).

Поднятие уровня подпочвенных вод в пределах круга замораживающих труб не является верным показателем, что замораживаемое кольцо



Фиг. 29.



Фиг. 30.

замкнулось на всю глубину шахты, и это особенно тогда, когда подлежащая проходке порода пересекается несколькими водоносными слоями (фиг. 30).

Здесь при проходке второго, нижнего пласта, где кольцо замёрзшее может оказаться и не сомкнутым, можно иметь наличие прорыва воды в шахту.

В этом случае целесообразно пробурить в кругу замораживающих труб не одну буровую скважину, а две и более.

Эти скважины доходят до отдельных водоносных пластов, закрепляются обсадными трубами a_1 и a_2 , открытыми снизу; они дают возможность наблюдать с дневной поверхности за уровнем воды в каждой скважине и сделать вывод относительно закрытия ледяного кольца на обоих горизонтах.

V. ПРОХОДКА ШАХТЫ

Проходка шахты в замороженной породе ведется в общем обычными способами, но с рядом особых предосторожностей. Предпочтение отдается проходке вручную, или в комбинации отбойных молотков с механическими лопатами.

При твердых породах, когда вручную проходка становится затруднительной, прибегают также и к взрывным работам, но с известными предосторожностями, чтобы не вызвать большого сотрясения замерзших пород и не нарушить их целости.

В этом случае обычно применяют последовательное паление, при котором значительно меньше сотрясение и легче следить за числом произведенных взрывов. Шпуры бурятся не глубокие: не более 1,5 м—центральные и не более 1 м—боковые. Заряды применяют насколько можно малые.

Обычные нитроглицериновые составы при процессе замораживания являются неподходящими вследствие замерзаемости их при сравнительно высоких температурах.

Вначале, при пользовании процессом замораживания для проходки шахт, в качестве взрывчатого вещества применяли исключительно обыкновенный черный порох, считая его, кроме того, еще веществом менее бризантным, а следовательно, и не могущим вызвать столь сильное сотрясение в замерзшей породе, как нитроглицериновые и др. взрывчатые вещества.

Позднее, правда с соблюдением известной осторожности, начали применять и другие взрывчатые вещества. Очень хорошие результаты дают взрывчатые вещества из группы аммоно-селитровых соединений, не отличающихся слишком сильным бризантным действием и обладающих в то же время тем преимуществом, что они не замерзают.

Во Франции обыкновенный черный порох был заменен „шеддитом“.

В Бельгии и Германии употребляют взрывчатые вещества с азотно-кислым аммониевым основанием.

Однако надо сказать, что за последнее время имеются новые составы нитроглицериновых взрывчатых веществ, так называемые, „незамерзающие динамиты“, как например, „Arctie“ и „Polar“, могущие оставаться в незамерзшем состоянии, по крайней мере, в продолжение 24 часов, при температуре около—10° С.

Составные части этих взрывчатых веществ того же самого характера, как и в гремучем студне и студенистом динамите, разница заключается лишь в применении полиметизованного глицерина, обладающего большим удельным весом. Таким образом, „предохранительные взрывчатые вещества“ могут быть или нитроглицериновые, или с азотно-кислым аммониевым основанием. Принцип их действия один и заключается в том, что пламя, развивающееся при разложении одних составных частей, поглощается другими компонентами, что сопровождается в результате уменьшением силы взрыва данного вещества.

Температура в замораживаемых шахтах при обыкновенном способе бывает до—10° С, так что при работе в шахте еще нет особо неприятного ощущения холода.

Но, как мы уже говорили выше, при применении метода охлаждения до более низких температур, температура в шахте доходит до—30° С и ниже. Такие температуры уже действуют при работе неблагоприятно, и в этом случае рабочие должны быть предохранены от холода.

VI. КРЕПЛЕНИЕ

Устройство временного шахтного крепления при проходке шахт по способу замораживания, если это бывает вызвано необходимостью, ни чем не отличается от устройства временного крепления в проходках обычным способом.

В условиях проходки в твердых породах, в песчаниках, когда замерзшая кора стенок шахты не отделяется и не падает, зачастую проходку шахты оставляют без временного крепления, что совершенно не грозит

опасностью для задолженных в забое шахты рабочих. Иначе обстоит дело при трещиноватых, глинистых породах, когда отделение и падение замерзших кусков явление обычное; в этом случае временное крепление является обязательным. Временное крепление, конечно, не предотвращает опасности со стороны прорыва воды через слабые места в замерзшей стенке шахты; наоборот, временная крепь в этом отношении как бы скрывает эту опасность, так как при ее отсутствии скорее можно предупредить опасность прорыва вод или замораживающей жидкости по выступающим на стенках шахты потемневшим местам.

Остановимся на постоянном креплении.

Как мы знаем, постоянное крепление в зависимости от того—служит ли оно для шахт, проходимых в сухих или водосодержащих породах разделяется на две категории. В сухих породах задачей постоянного крепления, как в отношении прочности применяемого материала, так и его характера—является сохранение стволом шахты его формы; в водосодержащих же породах крепление, помимо достаточной прочности его и плотности, предупреждающей просачивание воды, должно еще и противостоять разрушающему действию подпочвенных вод.

Основные типы крепления следующие: деревянное, каменное, крепление бетонитами, бетоном и железо-бетоном, а также чугунное.

Мы разберем здесь только те виды крепления, которые применяются для проходки шахт способом замораживания и, главным образом, крепление чугунными тюббингами, которое наиболее всего и применяется в этом случае.

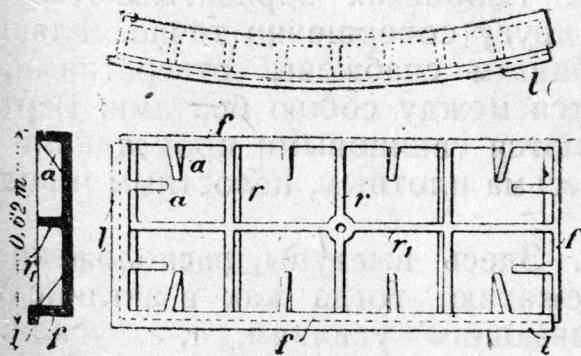
Чугунные тюббинги

Наиболее распространенным видом водонепроницаемого крепления, которое может противостоять давлению напора воды, особо при большой глубине шахты, является крепление чугунными тюббингами.

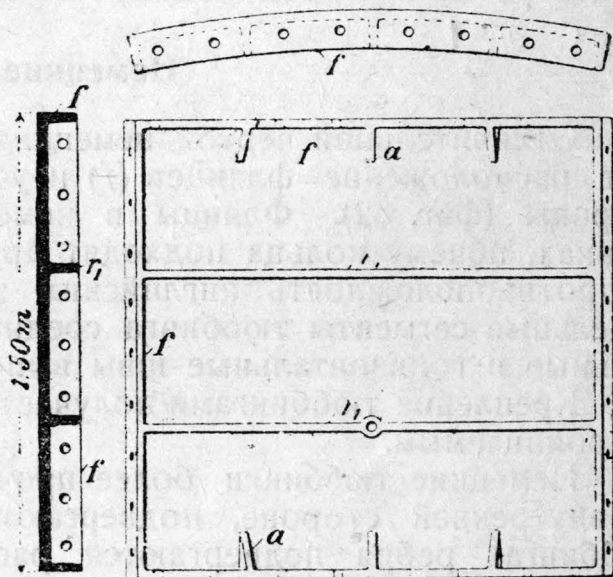
Чугунные тюббинги состоят обычно из отдельных частей—сегментов, или же представляют из себя отлитые целиком кольца, соответственно диаметру шахты.

Составленные из отдельных сегментов или цельные кольца устанавливаются одно на другое, образуя, таким образом, цельную трубу, являющуюся собственно креплением шахты.

Имеются два рода тюббингов: тюббинги английские, с гладкой внутренней поверхностью (фиг. 31) и с ребрами и флянцами по внешней по-



Фиг. 31.



Фиг. 32.

верхности, и тюббинги немецкие (фиг. 32), с внутренними ребрами и флянцами.

Английские туббинги

Английские туббинги в собранном виде образуют гладкую внутреннюю поверхность ствола шахты.

Отдельный сегмент представляет собою тяжелую, чугунную отливку с флянцами (f , фиг. 31) для сборки их в туббинговое кольцо. Флянцы английских туббингов не обрабатываются и имеют вид, который они получают при выходе из литейной, почему, после сборки, отдельные туббинговые кольца получают иногда неправильное, кривое, положение, а стенки их (внутренние) бывают не параллельны.

Ребра (r и r_1), которые делаются для усиления туббинга, располагаются в вертикальном и горизонтальном направлении сегмента.

По середине сегмента имеется дыра, которая служит как для подвешивания его при установке, так равно и для стока воды во время укладки туббинговых колец.

Размеры отдельных сегментов бывают: по высоте—от 450 мм до 900 мм, по ширине—от 1200 мм до 1500 мм (фиг. 31).

Толщина туббингов изменяется в зависимости от условий, в которых он находит применение и, как максимум, доходит до 180 мм.

Фланцы лучше делать шире. Это обеспечивает большую водонепроницаемость соединений.

Установка английских туббингов

Английские туббинги возводятся на чугунном фундаменте, или на особом опорном венце, называемом клиновым, который укладывается на специально приготовленное для него основание.

Обычно, на практике, нижнее кольцо туббинговой крепи имеет более широкие флянцы, которыми указанное кольцо и ложится на опорный венец.

В вертикальные и горизонтальные швы между отдельными сегментами помещаются тонкие прокладки из дерева, которые постепенно уплотняются посредством забивки их в швы.

Вся конструкция туббингового крепления, как средства для закрытия воды, основывается на точности отливки отдельных сегментов, на надлежащей расclinке соединений и на последующем уплотнении швов.

Немецкие туббинги

Отличительной чертой немецких туббингов, как мы уже сказали, служит расположение флянцев (f) и усилительных ребер (r) с внутренней стороны (фиг. 32). Флянцы в немецких туббингах обрабатываются на станках, почему кольца подходят друг к другу совершенно точно. Флянцы в противоположность английским туббингам снабжены отверстиями, и отдельные сегменты туббинга соединяются между собою болтами. Вертикальные и горизонтальные швы выполняются свинцовыми прокладками.

Крепление туббингами получается весьма плотным, целостным и водонепроницаемым.

Немецкие туббинги более прочные. Здесь выступы, расположенные по внутренней стороне, подвергаются сжатию, тогда как в английских туббингах ребра подвергаются растягивающим усилиям, т.-е. усилиям весьма невыгодным для чугуна (сопротивление чугуна растягивающим усилиям составляет $\frac{1}{6}$ часть сопротивления сжатию).

Размеры отдельных сегментов немецкого туббинга бывают: по высоте—до 1,5 м и по ширине—от 1,5 до 2,0 м.

В обычном туббинге ребер бывает два: расположены они горизонтально, на одинаковом расстоянии друг от друга (фиг. 32).

Установка немецких туббингов

Процесс крепления туббингами того и другого типа мало отличается между собой, почему мы, остановившись выше на установке английских туббингов лишь в общих чертах, здесь скажем несколько подробнее.

Сначала готовят основание или постель, на которой укладывается клиновой (опорный) венец.

Когда шахта по замороженным или водоносным породам пройдена, ее несколько углубляют в нижележащие породы, в которых предположено уложить основной венец. Шахта должна быть пройдена кроме того метра на два ниже основного венца.

После этого, при помощи кайлы, кувалды и зубила, стенки шахты в месте, где будет уложен основной венец, подрабатываются, обделывается

также постель, выравнивается по уровню и покрывается настилом из 15-ти миллиметровых досок.

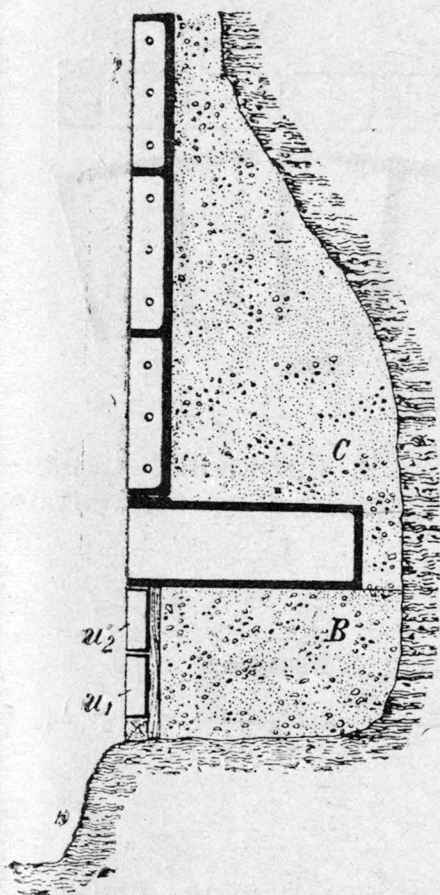
В слабых, ненадежных породах, не образующих достаточной опоры для опорного венца, а также и в твердых породах, когда приготовить ровную поверхность постели бывает затруднительно, устраивают искусственную постель, путем бетонирования (фиг. 33) или каменной кладки (фиг. 34).

Ширина постели делается несколько больше ширины опорного венца.

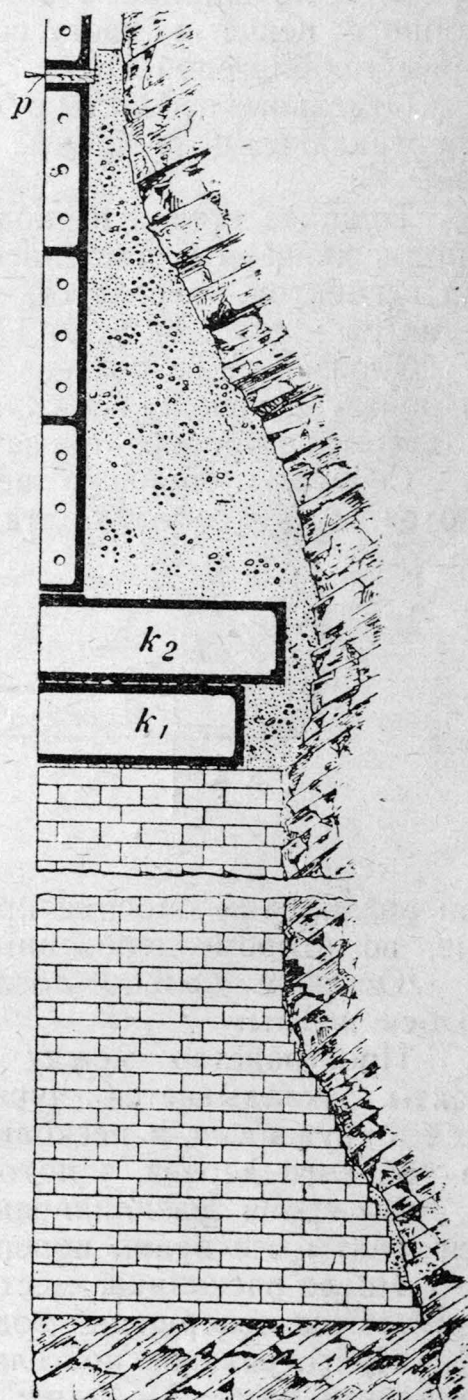
Когда постель готова и выверена по уровню, приступают к укладке опорного венца.

Опорный венец представляет из себя опору, при помощи которой туббинговое крепление покоится на породе более устойчиво. Кроме того, опорный венец препятствует проникновению воды, находящейся за металлической крепью, в шахту.

Соответственно сказанному выше, опорные венцы должны быть достаточной ширины, т.е. должны дальше заходить в породу и тем давать более прочную опору и с другой



Фиг. 33.



Фиг. 34.

стороны — опорные венцы в местах соприкосновения их с породой, не должны пропускать воды.

Из сказанного следует, что порода, в которой закладываются опорные венцы, должна быть водонепроницаемой; это лучший залог того, что установка основного венца достигнет своей цели.

При проходке шахт, как это увидим ниже, опорные венцы устанавливаются через определенные расстояния, в зависимости также от мощности водоносного слоя и характера пород.

Если, например, можно ожидать, что введение нового опорного венца уменьшит в значительной степени приток воды в определенном участке, то при встрече подходящего прослойка, хотя от нижележащего венца отошли и недалеко, устанавливается дополнительный опорный венец.

Расстояние между опорными венцами колеблется, обычно, от 20 до 50 м.

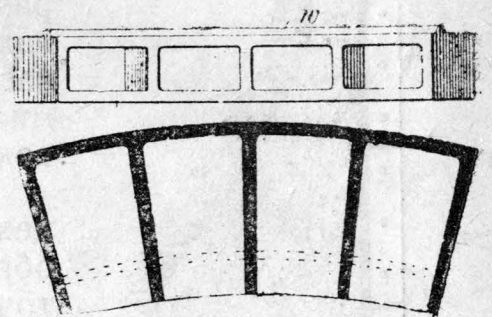
Опорный венец представляет собою кольцо, обычно составленное из отдельных частей, сегментов. Сегменты имеют размеры: по высоте 200—300 мм и по ширине 400—750 мм. Размеры опорного венца в свету соответствуют размерам тюббинговой крепи.

Отдельные сегменты отливаются полыми, с вертикальными ребрами с передней стороны (фиг. 35).

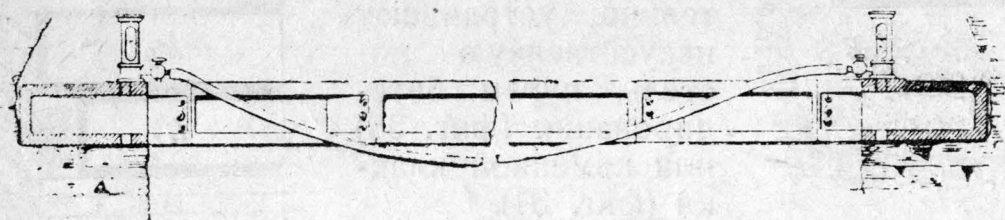
Толщина стенок несколько больше, чем у поддерживаемых тюббингов. Число отдельных сегментов колеблется, в зависимости от диаметра шахты, от 6 до 12.

Уложенные на постель отдельные сегменты образуют кольцо, горизонтальность которого тщательно проверяется ватерпасом (фиг. 36).

Сегменты опорного венца при немецком способе крепления скрепляются между собою болтами, чем собственно и отличаюся от сегментов



Фиг. 35.



Фиг. 36.

при английском способе крепления. Прокладки в первом случае — свинцовые, во втором — деревянные.

Опорное кольцо после выверки на горизонтальность центрируется по оси шахты.

Пространство между внешней поверхностью сегментов и стенкой шахты закладывается чурками и обрезками досок и расклинивается; по всей окружности, в несколько рядов забивают клинья, сначала до отказа, из твердого дерева, а потом — железные.

Во время расклинивания положение основного венца относительно оси шахты все время проверяется отвесом.

После расклинки, места соприкосновения основного венца с породой получают совершенно водонепроницаемыми.

Приготовление постели для основного венца, укладка его и расклинивание занимают 3—4 дня; из этого времени 1—2 дня тратятся на устройство, собственно, постели и 2 дня — на укладку и расклинивание венца.

В последнее время, в целях придания тюббинговой крепи большой

устойчивости, устанавливают не один опорный венец, а два, один над другим (фиг. 34).

После установки отдельных сегментов, горизонтальный промежуток между обоими венцами, в который заранее заложены досчатые прокладки, уплотняется и расклинивается.

Преимущество этого способа заключается в том, что незначительные перемещения верхнего венца не нарушают водонепроницаемости нижнего венца.

В отдельных случаях расклинивание основных венцов не делается, а вместо этого венцы зацементовываются.

Такой способ можно рекомендовать особенно при мягких породах, когда применение расклинки не достигает своей цели.

В этом случае, как правило, постель делается из бетона или каменной кладки (фиг. 33 и 34), и, после установки основного венца, пространство между ними и стенкой шахты заполняется трамбованным бетоном, а все трещины тщательно заливаются.

Укладка английских тюббингов

Следующей операцией является укладка первого кольца тюббингов.

При укладке английских тюббингов отдельные сегменты свободно укладываются рядом друг с другом, опираясь на опорный венец.

Пространство между тюббингами и стенкой шахты заполняется бетоном, или обломками породы, или кирпичным боем, удерживающими сегменты в надлежащем положении.

Чтобы избежать образования сплошных вертикальных щелей, отдельные сегменты одного кольца смещаются в отношении сегментов другого кольца.

Для уплотнения между основным венцом и тюббингами, а также в вертикальные швы вставляются деревянные (ивовые или сосновые) прокладки толщиной 7—15 мм, шириной до 100 мм и длиной 100—200 мм, которые впоследствии расклиниваются.

Когда, таким образом, первое тюббинговое кольцо уложено, выведено по стволу и пространство между ним и стенкой шахты залито раствором цемента с песком, верхнюю часть уложенного кольца покрывают настилом из деревянных прокладок и приступают к укладке следующего кольца, и так поступают до тех пор, пока тюббинговая крепь не дойдет и не соединится с вышележащей крепью, возведенной ранее, или пока не выйдет на поверхность.

В целях достижения более удобного соединения последнего тюббингового кольца с вышележащей крепью, расстояние тюббингового крепления по всей длине его делают таким, чтобы высота тюббинга вместе с прокладкой была кратная этому расстоянию.

Если же этого сделать нельзя и при установке последнего кольца получается с вышележащим креплением значительная щель, устанавливают специально отлитое кольцо.

После установки всех тюббинговых колец, производится расclinка.

Расclinка ведется сверху вниз, сначала расclinиваются все вертикальные швы, а затем горизонтальные.

Операция расclinки заключается в первоначальной забивке в деревянные прокладки стального долота (фиг. 37) и в вытаскивании его обратно при помощи особых клещей (фиг. 38), а затем забивка в приготовленные таким образом отверстия деревянных клиньев.



Фиг. 37.

Операция расclinки может считаться законченной, когда стальное долото больше не заходит в деревянные прокладки.

Для того, чтобы деревянные прокладки при расклинивании удерживались и не выпадали, на верхнем крае туббинга и с обеих сторон имеются приливы l (фиг. 31) и w (фиг. 35).

По окончании расклинивания, дыры в туббингах, остававшиеся все время открытыми, забиваются деревянными пробками.

Обнаруженные потом неплотные места расклиниваются вторично.

Укладку и расклинивание английских туббингов лучше всего производить с подвешного полка.

Средняя скорость укладки 4 м в день. Такая сравнительно низкая производительность объясняется: незначительной высотой туббингов, и,



Фиг. 38.

главным образом, необходимостью пригонки необработанных, а следовательно, и неодинаковых по форме сегментов, когда тщательная забивка разной ширины швов требует много времени.

Укладка немецких туббингов

Уплотнение немецких туббингов производится, как мы уже упоминали, при помощи свинцовых прокладок, а самое соединение отдельных сегментов—при помощи болтов.

Толщина свинцовых прокладок, примерно, 3 мм.

Укладываются свинцовые прокладки так, что они выступают внутрь шахты около 6 мм и тем дают возможность, в случае обнаружения в соединениях неплотностей, производить чеканку швов.

Расчеканка свинца во швах производится сначала плоским молотком, а затем долотом формы, показанной на фиг. 39.

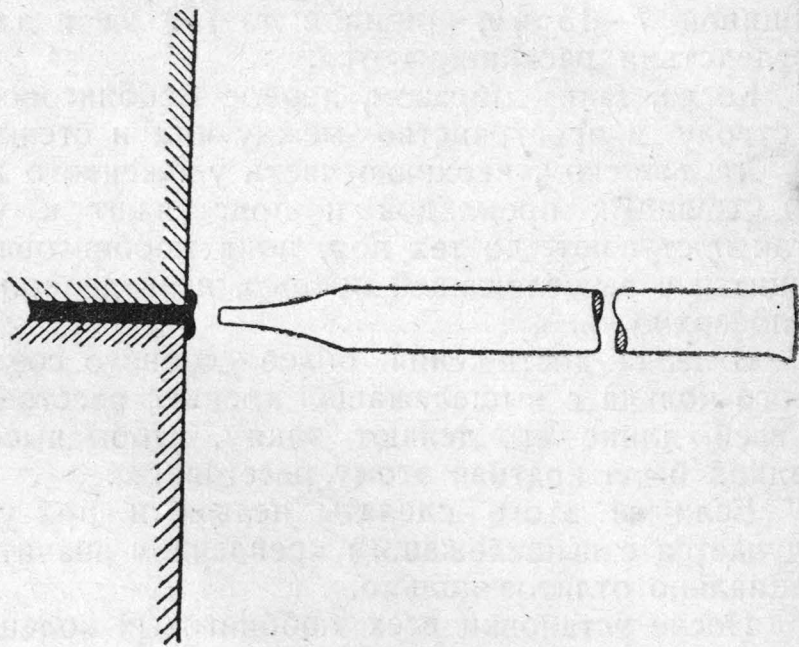
Иногда применяется чеканка пневматическая.

Отверстия для болтов в немецких туббингах сверлятся после отливки туббинга, по шаблону и с зазором около 1,5 мм.

Болты нарезаются по вышеуказанному размеру.

Гайки и головки болтов, рабочая поверхность обрабатываются машинным способом. Во избежание течи через болтовые отверстия, болты снабжаются свинцовыми шайбами b ; при уплотнении, свинцовые шайбы, раздавливаясь, стремятся заполнить зазор между отверстием для болта и самим болтом фиг. 40.

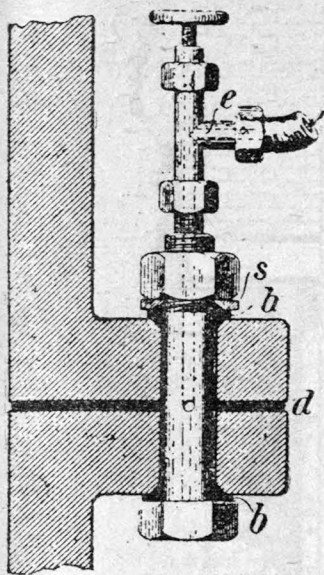
На этой же фигуре можно видеть, как производится уплотнение болтов и остающегося пространства между флянцами d цементным молоком, пропускаемым через дыру в болте с помощью крана e .



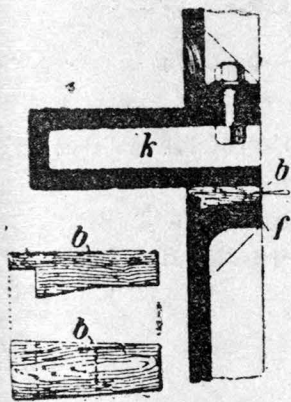
Фиг. 39.

После установки первого туббингового кольца на опорный венец пространство между туббингом и стенкой шахты заполняется трамбованным бетоном, состава 1:3—5.

Завинчивание болтов должно быть сделано ранее, чем бетон успеет схватиться, иначе возможны значительные затруднения в работе. Когда все венцы на участке установлены, производится чеканка швов, начиная снизу вверх.



Фиг. 40.



Фиг. 41.

После окончания чеканки, отверстия в туббингах закрываются, причем, для достижения большей водонепроницаемости, сначала можно через них ввести в пространство за туббингами цементный раствор.

Средняя производительность крепления в этом случае 6,0—7,5 м в день.

Когда подойдут к вышележащему креплению, то поступают почти также, как и в случае крепления английскими туббингами.

Если зазор небольшой, то производят расклинку деревом.

Чем зазор больше, тем больше возможности выбить деревянные клинья наружу давлением воды.

По предложению инж. Коха, в верхнем флянце *f* (фиг. 41) туббинга прорезывается канавка, сходящая на нет по направлению к оси шахты; в эту канавку вводятся соответствующей формы клинья *в*. Уплотнение производится



Фиг. 42.

обычным путем. Вследствие заклинивающего действия, которое происходит благодаря форме канавки, давление воды не выбрасывает клиньев, а запрессовывает их еще плотнее.

Если зазор слишком большой, то необходимо иметь специально отлитые кольца,

Обычно такие кольца, разной высоты (в 2, 4, 6, 8 и 10 см), имеются всегда в запасе, и крепление, а следовательно, и проходка шахты не задерживаются.

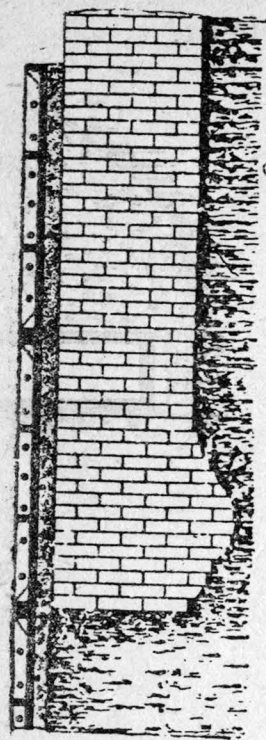
Вбивание клиньев между последним туббинговым кольцом и вышележащим венцом или крепью, ведет к непрочности всего крепления, так как верхний опорный венец, вследствие действующих при расклинке на него неравномерных давлений, — часто ломается, а также возможно его перемещение, и, как следствие отсюда, будет поставлена под вопрос водонепроницаемость его.

Этого можно избежать, поступая следующим образом:

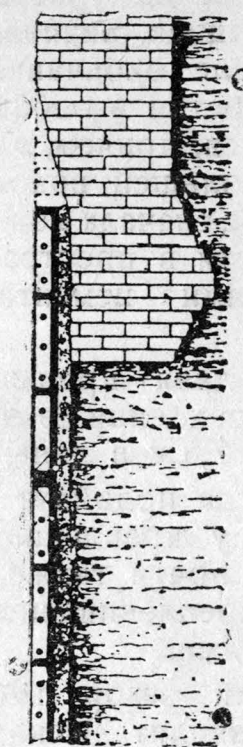
Не доходя до вышележащего опорного венца, к последнему подве-

сшивают тюббинговое кольцо, и расклинка производится уже между двумя тюббинговыми кольцами (фиг. 42).

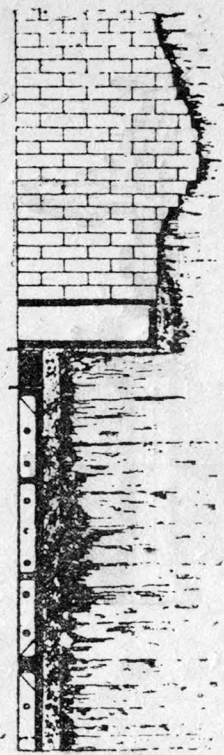
При соединении тюббинговой крепи с кирпичной, тюббинги возводят несколько выше основания кирпичной кладки, и пространство между тюббингами и кладкой заливается бетоном (фиг. 43), если же кирпичное креп-



Фиг. 43.



Фиг. 44.



Фиг. 45.

ление этого не допускает, то необходимо некоторую часть его убрать (фиг. 44).

Можно поступить еще и так: кирпичную кладку возводят непосредственно на основном тюббинговом венце и к нему обычным путем подводят тюббинговое крепление (фиг. 45).

Подвешенный немецкий тюббинг

Немецкий тип тюббинга, несомненно, обязан своей популярностью и распространением тому обстоятельству, что, будучи применен в виде подвешенного тюббинга, он дает возможность вести крепление вслед за продолжающейся проходкой. Это дает большие преимущества при прохождении неустойчивых пород, когда последние не могут с полной безопасностью поддерживаться временным креплением, или, когда, при замораживании на больших глубинах, породы оказываются пластичными, со стремлением пучиться, деформировать шахту.

При установке подвешенного тюббинга сначала укладывается чугунный опорный венец или удерживающее кольцо, к которому затем и подвешивается тюббинговое крепление. На фиг. 46 изображен способ укладки подвешенного тюббинга к тюббинговому кольцу.

Удерживаемый под'емным канатом тюббинг S_2 подвешивается на 4-х цепях, из которых K и K оканчиваются крючьями, а K_1 и K_1 , предохранительные цепи,—болтами. Как только тюббинг достигает нижнего положения, предохранительные цепи K_1 убираются, и тюббинг остается висеть только на крючках K . После этого сегмент подводится вручную на надлежащее место и устанавливается при помощи направляющих болтов f .

Затем вставляются скрепляющие болты, освобождая постепенно направляющие болты. Как только все болты будут вставлены, цепи с крючьями освобождаются. Свинцовые прокладки B_1 закладываются под флянец верхнего сегмента S_1 заранее, при помощи зажимов z . Одновременно вставляются свинцовые прокладки и в вертикальные швы, но стягивание сегмента и здесь производится пока только слегка.

Для установки последнего сегмента в породе делается ниша (фиг. 47).

Как только все кольцо составлено полностью, болты затягиваются наглухо, причем надо следить, чтобы кольцо не потеряло своей круглой формы; с этой целью сбалчивание стыков производится равномерно по всей окружности.

После того, как навешено будет несколько колец, пространство между ними и стенкой шахты заливается цементом. При сильном притоке воды такое заполнение цементом производится через каждые 2—3 кольца, а при сухой шахте, как при замораживании, — через 6 и более колец.

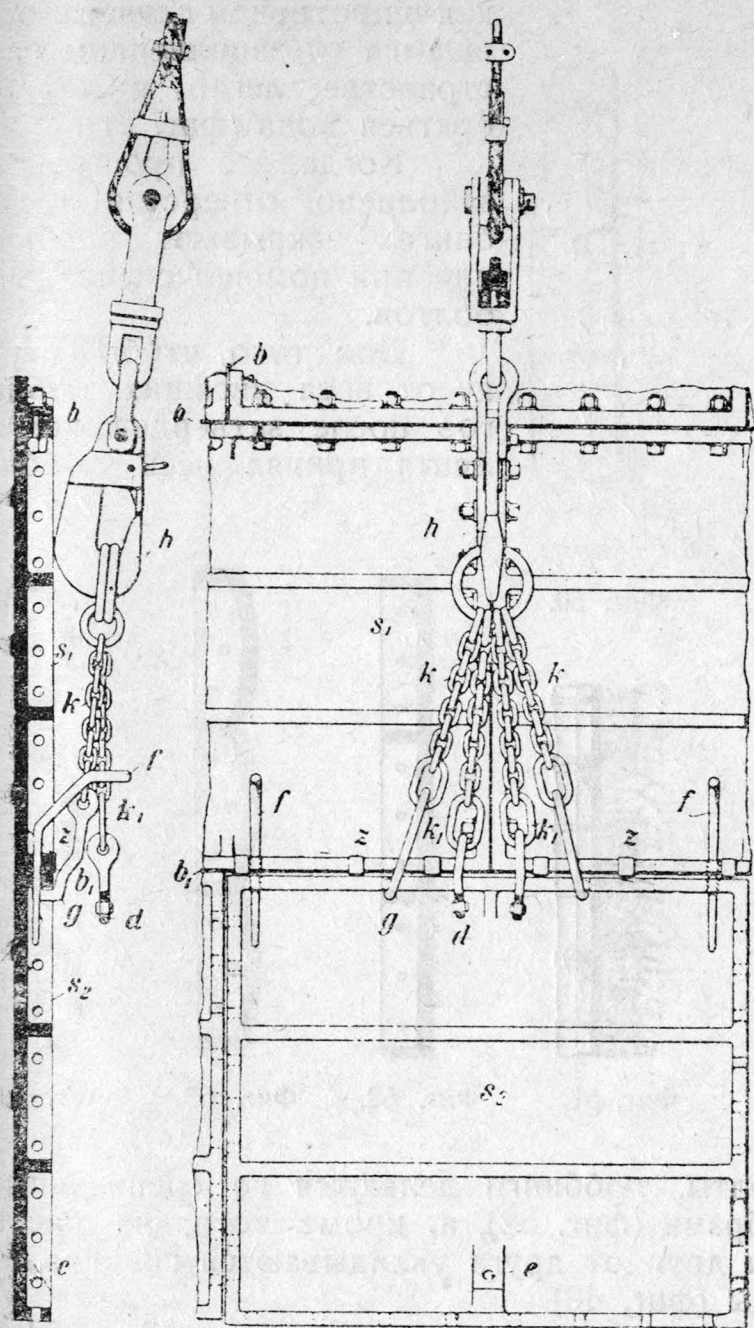
Для того, чтобы цементный раствор не вытек из снизу, щель между краем нижнего кольца и стенкой шахты забивают глиной, соломой и т. п. и прибивают, кроме того, иногда, листовое железо a (фиг. 48).

Применяется также забивка досками с расклинкой (фиг. 49 и 50).

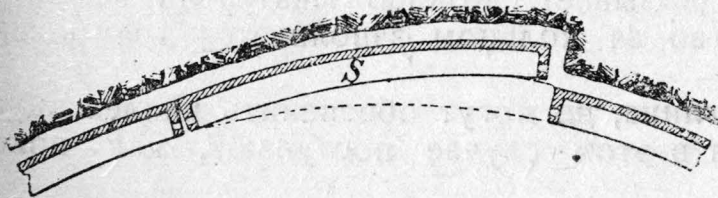
Заливка цемента производится через специально

предусмотренные в туббинге отверстия с помощью воронок t (фиг. 48). Сначала пускают быстро схватывающийся цемент, чтобы быстрее ликвидировать нижние щели.

Излишняя вода, а также воздух выходят через отверстия в туббингах, расположенные выше.



Фиг. 46.

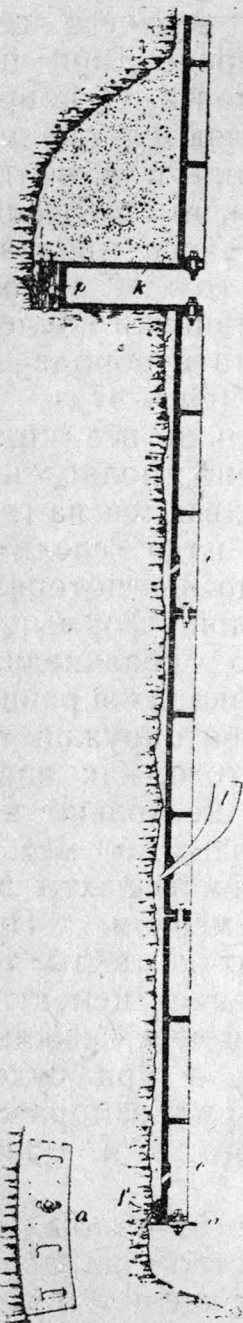


Фиг. 47.

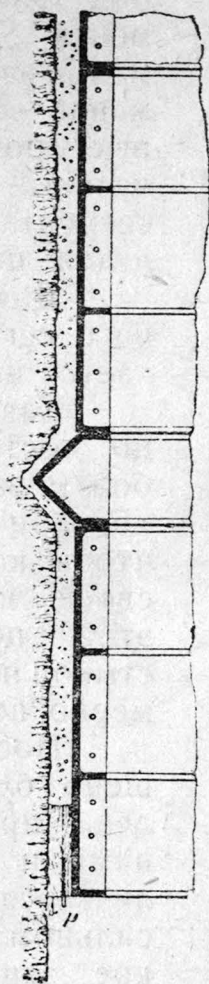
При производстве этой работы надо обращать особое внимание на то, чтобы пространство за туббингами было заполнено полностью, так как в противном случае в оставшемся незаполненном пространстве легко может собраться вода (фиг. 51).

Когда все пространство заполнено, отверстия в туббингах закрывают пробками или при помощи специальных болтов.

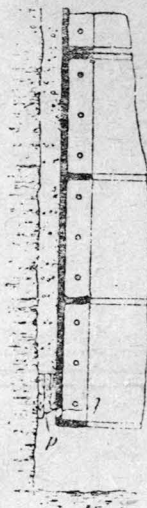
Для того, чтобы нагрузку от веса висящих туббингов после затвердевания цемента принял весь туббинг



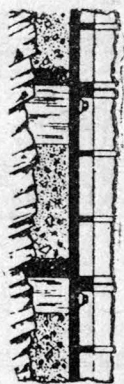
Фиг. 48.



Фиг. 49.



Фиг. 50.



Фиг. 51.



Фиг. 52.



Фиг. 53.



Фиг. 54.

а не одни болты, туббинги делаются со специальными опорными ребрами (фиг. 52), и, кроме того, на расстоянии 20—25 м друг от друга укладываются специальные опорные венцы (фиг. 49).

Туббинги вида, показанного на фиг. 53 и 54, не требуют никаких особых устройств, так как, благодаря своей форме, держатся достаточно прочно.

Укладка упорного кольца, если имеется достаточно хорошая постель, затруднений не вызывает. Кольцо тщательно цементируется и выверяется. Пространство за кольцом заполняется трамбованным бетоном, состава 1:2:3.

Слабые породы, например глина, не могут обеспечить надлежащую устойчивость опорному кольцу, и в этом случае поступают, как показано на фиг. 55:

Шахта проходится до точки *D* и крепится обычным креплением до точки *A*. Стенки шахты, ниже закрепленной части ствола, подрабатываются, как показано на чертеже.

В точке *D* укладываются деревянные клинья и на них туббинговые кольца.

Пространство между туббинговыми кольцами и обработанной стенкой забивается постепенно бетоном; сначала за одним кольцом, затем, после прибавления второго, за последним, и, таким образом, доходят до точ-

ки *F*. Когда бетон хорошо схватится, его тщательно выравнивают и укладывают опорное кольцо. Пространство между опорным кольцом и стенкой шахты, а также вверх, до обычной крепи, также заполняется бетоном.

Как только туббинговое крепление достигло своего нижнего предела, укладывается основной, опорный венец. Иногда опорный венец укладывается таким образом, что, после введения между ним и последним туббинговым кольцом свинцовой прокладки, можно бывает их непосредственно скрепить болтами с забивкой между основанием

упорного венца и самим упорным венцом дерева. Укладывают и два опорных венца, один над другим, с уплотнением шва между ними деревом.

Когда щель между упорным венцом и последним туббинговым кольцом значительна, до 20 мм, т. е. когда, следовательно, сбалчивание их невозможно, прибегают к расклинке щели.

Расклинка в этом случае производится не между упорным венцом и последним туббинговым кольцом, а между последним и предпоследним туббинговыми кольцами (фиг. 56).

Опорный венец и

нижнее туббинговое кольцо предварительно сбалчивается.

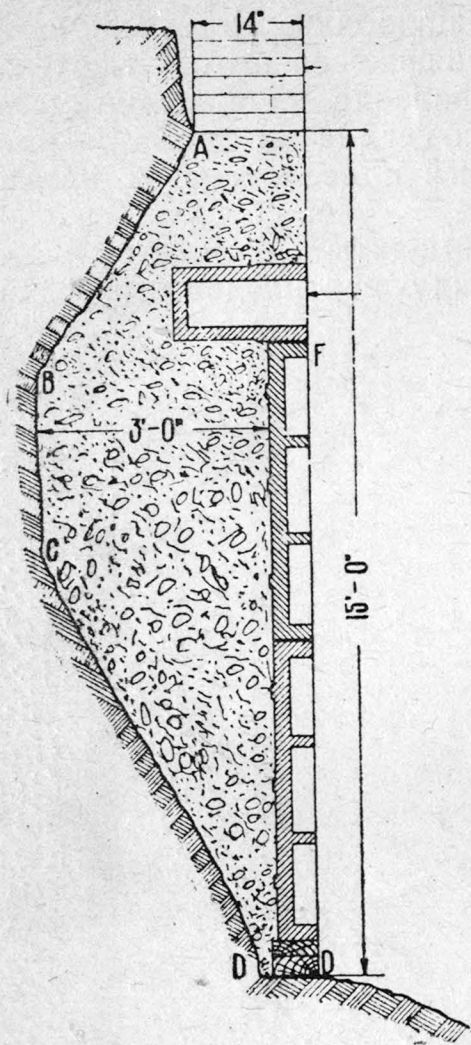
Этот способ имеет то преимущество, что при нем возможно тщательно заполнить бетоном пустоты за упорным кольцом, а введением деревянных клиньев *P*₁ достичь достаточной плотности деревянной забивки.

После установки упорного венца и последнего туббингового кольца, вводится предпоследнее туббинговое кольцо, щель забивается, а пространство между ним, вышележащим кольцом и стенкой шахты заливается цементом.

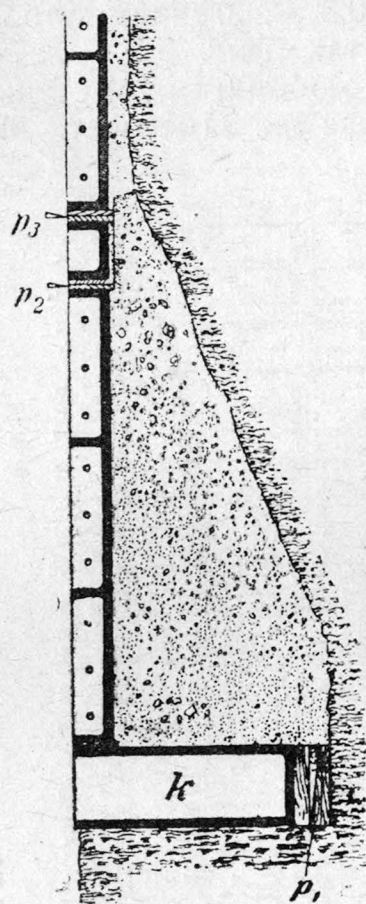
Если щель весьма большая, пользуются дополнительными кольцами (фиг. 56), как и в случае соединения при возведении крепления снизу вверх.

Такой способ туббингового крепления оправдывает себя в тех случаях, когда приток воды ограничен, и особенно в шахтах, проходимых способом замораживания, когда породы во время проходки остаются сухими и стенки шахты могут быть весьма тщательно отделаны, с минимальным зазором между ними и креплением.

Однако не во всех случаях проходки шахт способом замораживания можно достичь такой обделки стенок, а, кроме того, иногда приходится идти по пути увеличения толщины бетона с целью сделать крепление более водонепроницаемым и для создания более стойкого крепления против большого давления воды и породы, после ее оттаивания.



Фиг. 55.

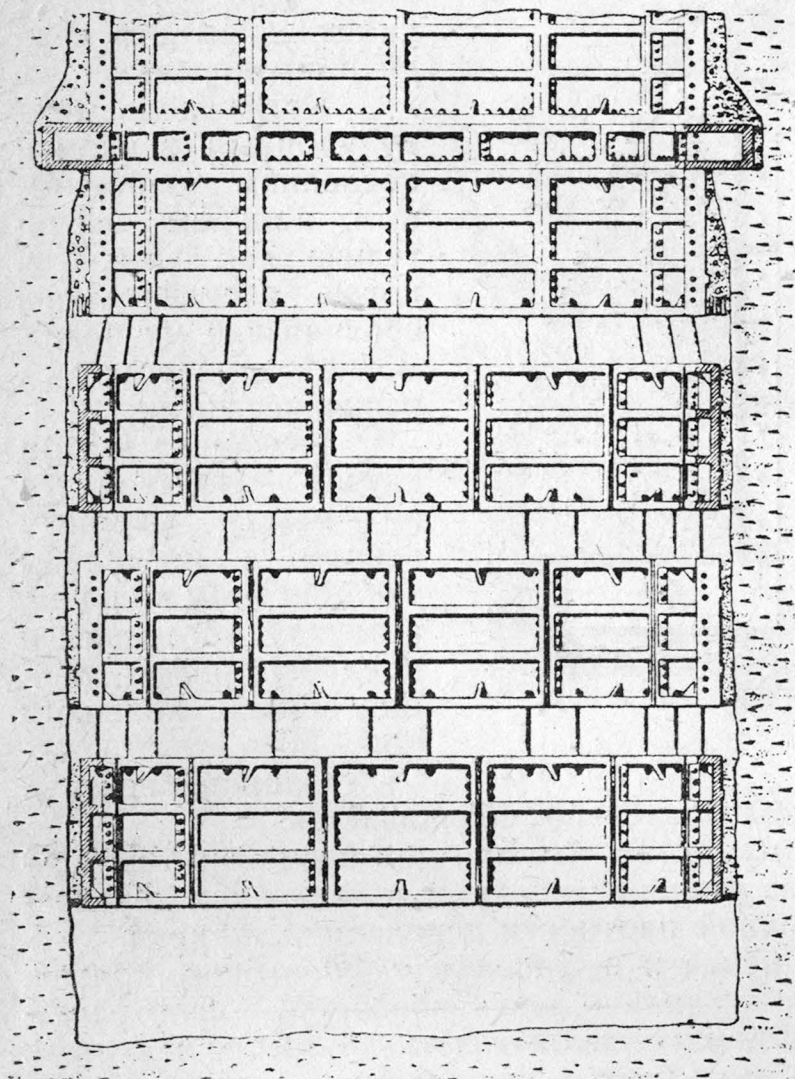


Фиг. 56.

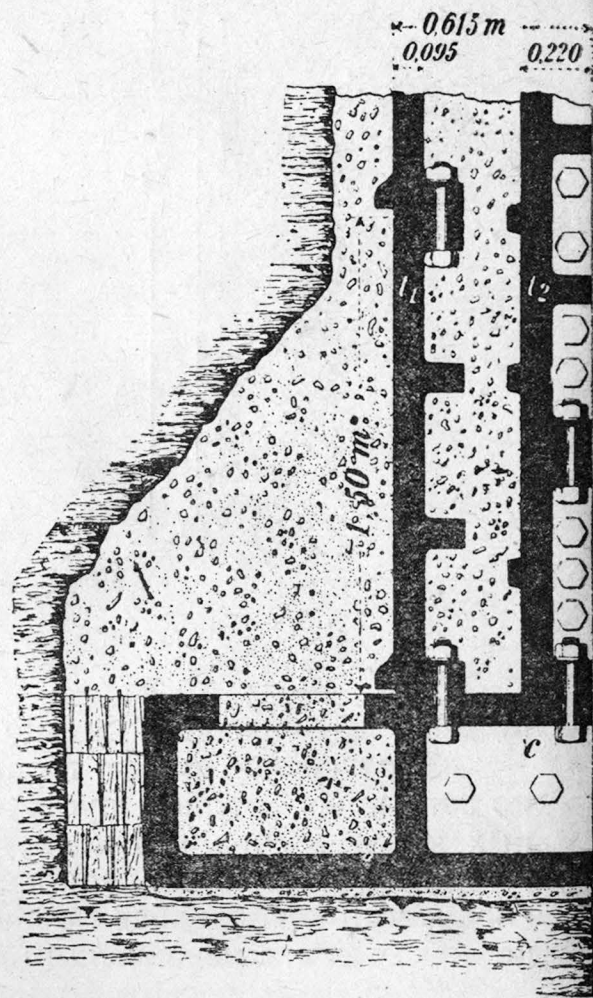
Подвесной туббинг предохраняет рабочих не только от возможного падения замерзших кусков породы, но и от внезапных прорывов воды из-за стенки крепления. Его преимущество заключается еще в том, что, при внезапном прорыве воды, шахта сохраняется во всей ее закрепленной части.

В глубоких шахтах, когда стенки шахты начинают пропускать воду и когда давление дает себя знать уже в начале проходки, применяют подвесной туббинг, как временное крепление, заменяющееся потом тщательно установленными (см. фиг. 20). Временное крепление туббингами устанавливается таким образом, что между рядами сегментов остаются промежутки, высотой около 0,5 м, причем туббинги подвешиваются на соответственно длинных болтах (фиг. 57).

Пространство между туббингами и стенкой шахты заполняется влажным песком, который тотчас же замерзает. Между вертикальными флан-



Фиг. 57.



Фиг. 58.

цами туббингов кладут толстые доски, поддающиеся сдавливанию и придающие, таким образом, временному креплению некоторую упругость.

Для позднейшего, окончательного крепления шахты снизу вверх, части подвешенных туббингов легко разбираются и употребляются снова в дело.

Еще большая предосторожность в глубоких шахтах применялась фирмой Тиссен, а именно: вслед за проходкой в замороженной породе подвешивалась стенка из туббингов (впоследствии — наружная), а по достижении нижнего горизонта водоносной породы, под защитой замерзшей сте-

ны, устанавливался снизу вверх второй ряд туббингов (внутренняя стенка). Пространство между обоими туббинговыми стенками (фиг. 58) и между наружной туббинговой стенкой и стенкой шахты заполнялось бетоном.

Вполне понятно, что наружная стенка туббингов может быть значительно слабее внутренней.

Описанный способ крепления представляет большую защиту в смысле водонепроницаемости и прочность его чрезвычайно велика.

Сравнение английского способа крепления туббингами с немецким

Английский способ крепления имеет то преимущество, что при уплотнении швов деревом получается более податливое крепление, а следовательно, и менее подверженное поломкам.

Из этих соображений и при креплении немецким способом стали стараться, где это возможно, производить заклинивание деревом.

С другой стороны английское крепление легче расшатывается, становится неплотным и почти во всех случаях не может соперничать с немецким по водонепроницаемости.

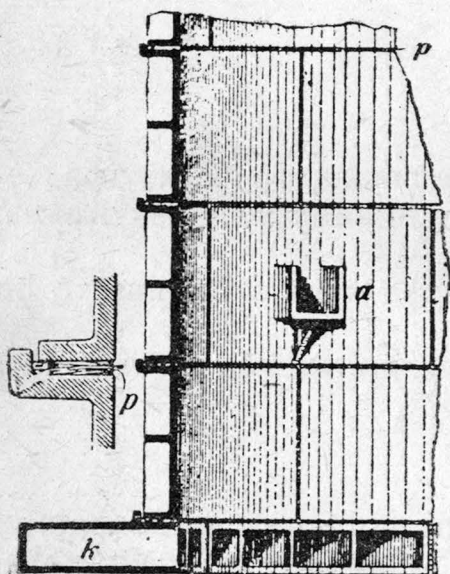
Кроме того, как мы уже говорили, английское крепление идет медленнее и при нем нельзя производить укладку туббингов сверху вниз.

Установка расстрелов при английском способе крепления также сложнее. Здесь расстрелы устанавливаются или на специальных башмаках (фиг. 59), или же их прикрепляют к вандрутам, которые в свою очередь пришиваются гвоздями к прокладкам.

При немецком способе крепления расстрелы можно уложить прямо на горизонтальные флянцы туббингов.

Стоимость обоих видов крепления разнится между собою незначительно: в английском способе, при малой производительности, дороже рабсила, а немецкий способ удорожает применение свинцовых прокладок и болтов.

Сравнительная стоимость для шахты глубиною 100 м, при диаметре в свету 5 м приведена в таблице 3.



Фиг. 59.

Таблица 3.

Наименование работы	Английский способ	Немецкий способ
Туббинги	965 марок	994 мар.
Уплотнительные материалы	10 "	120 "
Бетон	40 "	40 "
Рабсила	200 "	50 "
Итого . . .	1215 марок	1204 марок

Расчет туббингов

Число формул, применяемых различными авторами для расчета туббингов, весьма большое. Трудность получения твердой и ясной установки для расчета заключается в отсутствии данных о давлении пород, в не-

известности условий, которые могут произвести поломку туббинга, в не-совершенстве отливки, и в неизученности вопроса о скорости порчи и разрушении самого металла.

Остановимся на напряжениях, которые испытывают туббинги вследствие сжатия и изгиба.

Напряжение на сжатие зависит от величины водяного столба.

По исследованию Гоффмана, при плавнуках это давление надо брать превышающим давление водяного столба в 1,7 раза.

Введем обозначения:

H —водяное давление в атмосферах,

D —внешний диаметр шахты в сантиметрах,

K —допускаемое напряжение чугуна на сжатие в кг/кв. см.

E —толщина стенки туббинга в сантиметрах.

Расчет ведем по формуле, принимаемой для тонкого цилиндра.

При глубине шахты H , соответствующей водяному давлению, полу-круг крепления, при внешнем диаметре равном D см и при высоте креп-ления равному 1 см, должен будет противостоять давлению $ДН$ кг (по-добно тому, как это мы делали при вычислении толщины стенки замора-живаемого цилиндра, стр. 31—32), тогда будем иметь:

$$2KE = HD, \text{ или}$$

$$E = \frac{HD}{2K}.$$

Так как мы не всегда уверены в качестве отливки, то расчетная ве-личина должна быть несколько выше некоторого минимума и максимума: 2,5 см и 12—15 см.

Для незначительных глубин принимают коэффициент запаса часто по своему усмотрению.

Формула Шателена, учитывающая этот запас прочности, имеет сле-дующий вид:

$$E = 0,9 + 0,00065 HD.$$

Если сравнить величины, полученные по обоим приведенным форму-лам, то для шахты, с внешним диаметром в 5 м, получим следующие зна-чения E для разных глубин (таблица № 4):

Таблица 4.

Глубина шахты	Формула для цилиндра	Формула Шателена
100	2,5	4,15
200	5,0	1,40
300	7,5	10,65
400	10,0	13,90

Таким образом, по формуле Шателена получаются значения более высокие, что для больших глубин будет создавать невыгодные напряже-ния в отливке, поэтому на практике, обычно, берут меньшие значения, чем получаются по формуле Шателена.

Указанные выше расчеты действительны для тех случаев, когда дав-ление пород действует равномерно со всех сторон.

Обычно совместно с напряжением на сжатие мы имеем напряжение также и на изгиб.

Для избежания изгибающих напряжений необходимо тщательное выполнение всего пространства за крепью, так как в противном случае возможно боковое искривление.

Когда порода приходит от тех или иных причин в движение, избежать различного давления с разных сторон почти невозможно.

Изобразим усилия, действующие на сечение туббинга графически (фиг. 60).

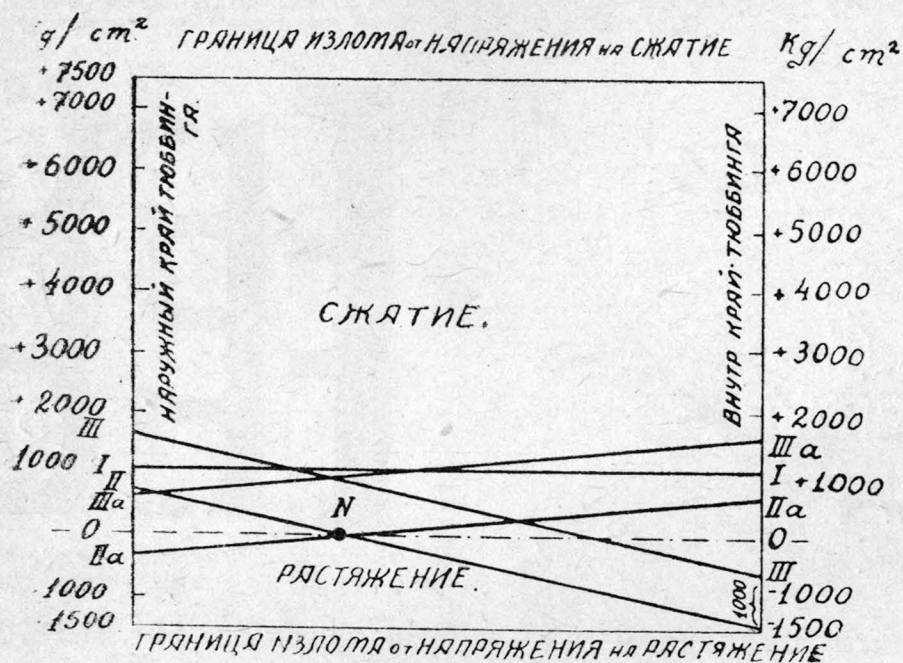
О—О—нулевая линия. Выше нулевой линии находится сторона сжатия, с предельным напряжением для чугуна в 7500 кг/кв. см. , а ниже—

растянутая сторона, с предельным напряжением — 1500 кг/кв. см. Напряжения на сжатие обозначим положительными, а на растяжение—отрицательными знаками.

Если общее напряжение достигнет крайних линий, то произойдет излом.

В левой части схемы нанесен внешний край крепления, в правой — внутренний.

На нулевой линии, согласно форме туббинга, лежат ней-



Фиг. 60.

тральные волокна N. (На фиг. 60 волокна N соответствуют действительным условиям для немецких туббингов).

Линия I—I представляет собою напряжение на сжатие в результате равномерного давления водяного столба, принятого, как 1000 кг/кв. см.

Линия II—II представляет напряжение на изгиб, как результат действия отдельных внешних сил и проявляющегося налево от нейтральных волокон, как сжатие, а направо,—как растяжение.

Сумма напряжений I—I и II—II дает напряжение III—III.

Если линия III—III захватывает одну из предельных линий (для сжатия или растяжения), то это показывает, что туббинг чрезмерно напряжен и может получиться излом.

В нашем случае мы имеем напряжение на растяжение— 500 кг/кв. см. , что в пределах допустимости.

Если бы теперь сила, вызывающая изгибающие напряжения, продолжала увеличиваться, то линия II—II и параллельная ей III—III пошли бы под более крутым углом к нулевой линии, и суммарная линия III—III скоро бы достигла линии предельного напряжения на разрыв.

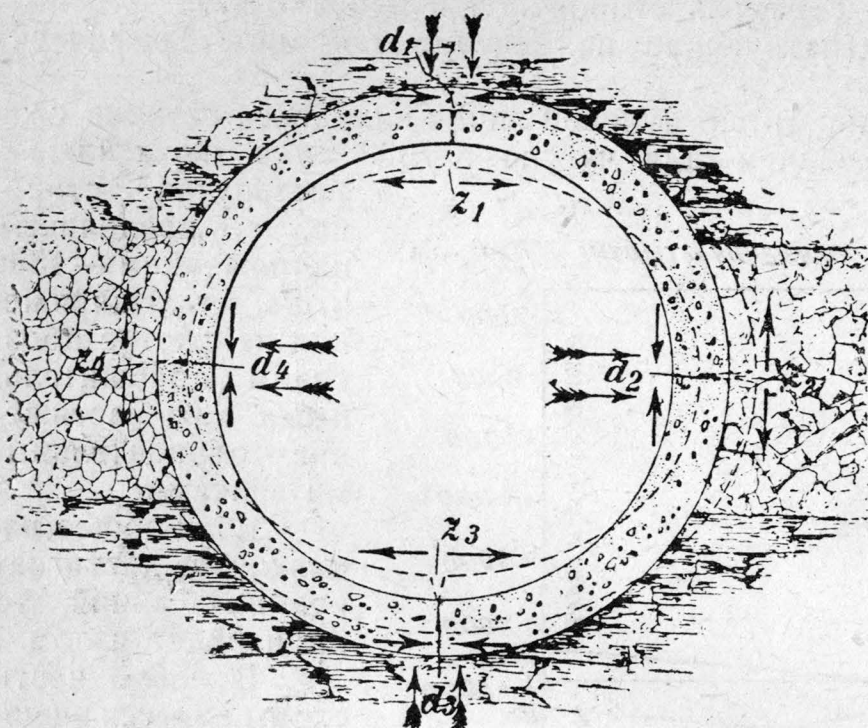
Надо принять во внимание, что сжатой стороне крепления соответствует смещенная, примерно, на 90° выпуклая часть, в которой действие отдельных сил проявляется так, что внутренняя часть туббинга испытывает напряжение на сжатие, а внешняя на растяжение (фиг. 61).

Действующие здесь силы несколько меньше, чем в сжатой части, но все же достигают 57% их. Линии IIa—IIa и IIIa—IIIa выражают напряжения в выпуклой части. Отсюда, учитывая эти напряжения, необходимо придать туббингу такую форму, чтобы нейтральные волокна лежали во-

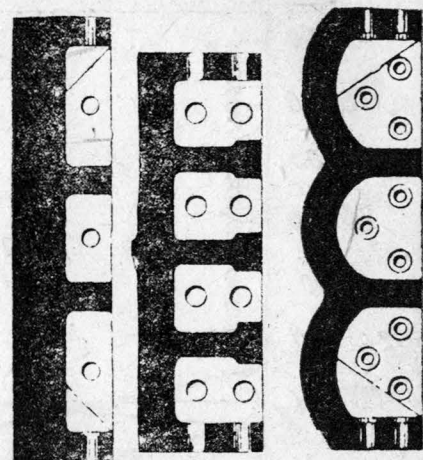
зможно ближе к внутренней стороне, но не переходя известного предела.

Из диаграммы видно, что линии *III—III* и *IIIa—IIIa* всегда достигнут предельного напряжения на разрыв раньше, чем на сжатие.

Для того, чтобы этот недостаток уничтожить, стенкам туббингов придают большую толщину, чем это надо для принятия только одного сжатия. Кроме того пы-



Фиг. 61.



Фиг. 62. Фиг. 63. Фиг. 64.

таются усилить туббинги приданием им особой формы (фиг. 62—64).

Стальные туббинги

Литая сталь прочнее на изгиб в 3—4 раза, но, так как прочность ее на сжатие почти одинакова с чугуном, то толщина стенок в стальных туббингах должна быть одинакова с чугунными.

Стоимость стали, при одинаковом весе с чугуном, примерно, в три раза выше.

Это последнее обстоятельство, главным образом, и служит помехой для их распространения.

Туббинги—для глубоких шахт или для особо высоких давлений

Согласно вышеприведенным расчетам, толщина стенок туббингов для шахты глубиной 600 м и при диаметре в проходке 5 м будет, примерно, 150 мм, т.е. получается предельная толщина, которая не гарантирует полностью надежного литья.

Путем особо тщательного изготовления, особенно путем медленного охлаждения туббингов после отливки, границы допустимой толщины могут быть повышены и в отдельных случаях довели толщину стенок даже до 180 мм (фиг. 62).

Томсон пытался устранить затруднения в изготовлении туббингов тем, что, для уменьшения потребного сечения, он увеличивал количество фланцев и ребер (фиг. 63).

В этом отношении оправдали себя выпуклые туббинги (фиг. 64), при которых легче производить сбалчивание отдельных сегментов.

Для особо высоких давлений и опасных пород (плывуны) применяют, как об этом мы уже указывали выше, двойную туббинговую стенку (фиг. 58).

На шахте Карл Александр в Базвейлер пытались обезопасить туббинги применением железобетона.

Здесь были применены туббинги крестообразного сечения (фиг. 65).

Пространство между внешними ребрами z заполняется бетоном еще на поверхности (фиг. 66),

Укладка туббингов производится снизу вверх, с одновременным возведением железобетонной стенки между ними и стенкой шахты.

Испытание туббингов

Испытание туббингов в смысле удовлетворительности их отливки до опускания их в шахту весьма важно.

Испытание заключается в выстукивании каждого отдельного сегмента заостренным долотом из 50-миллиметрового квадратного прута и молотком весом около 3 кг.

Иногда, кроме этого, один туббинг из ста подвергают испытанию на разрушение.

Бетон и его свойства в условиях низких температур

Вредное действие чрезвычайно низкой температуры на процесс схватывания цемента парализуется при проходке шахт способом замораживания, растворением в воде щелочей, соды или хлористого кальция.

Последнее время в Германии был сделан целый ряд опытов по схватыванию и затвердеванию бетона в замороженных шахтах. Можно считать доказанным, что теплота, выделяющаяся при схватывании бетона является некоторым противодействием при охлаждении со стороны замороженной породы.

Опыты Грюна и Вернера подтвердили, что, вообще говоря, процесс замораживания бетона прерывает процесс схватывания и затвердевания его.

После же того, как начинается таяние его, происходит постепенное затвердевание и, чем дальше идет процесс схватывания, тем затвердевание будет сильнее, и бетон достигает своей конечной твердости незамороженного бетона после того, когда вся вода для разбавления бетона будет схвачена химически.

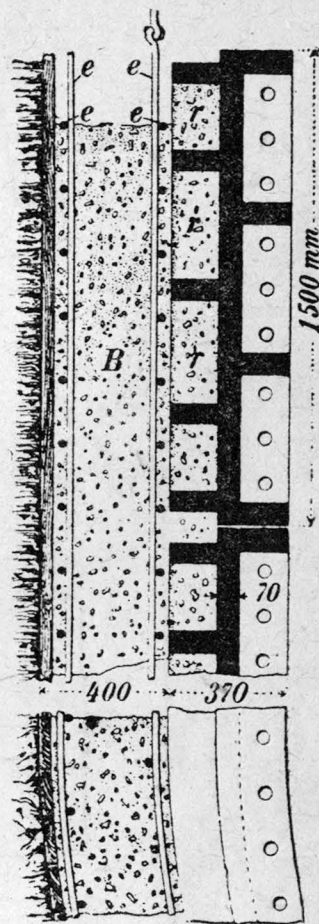
Примесь щелочи только ускоряет затвердевание.

При постепенном затвердевании, когда производились опыты со всевозможными цементами, была достигнута твердость в 350 кг/кв. см. Отсюда применение высокой марки цемента, дорого стоящего, а также применение щелочей — не обязательно.

На практике, когда мы имеем дело с сравнительно большими массами бетона, явление выделения теплоты при бетонировании еще более показательным; так, в шахте Виктория Августа 4, где бетонная стенка была толщиной свыше 50 см, температура в шахте во время бетонирования поднималась много выше 0°.



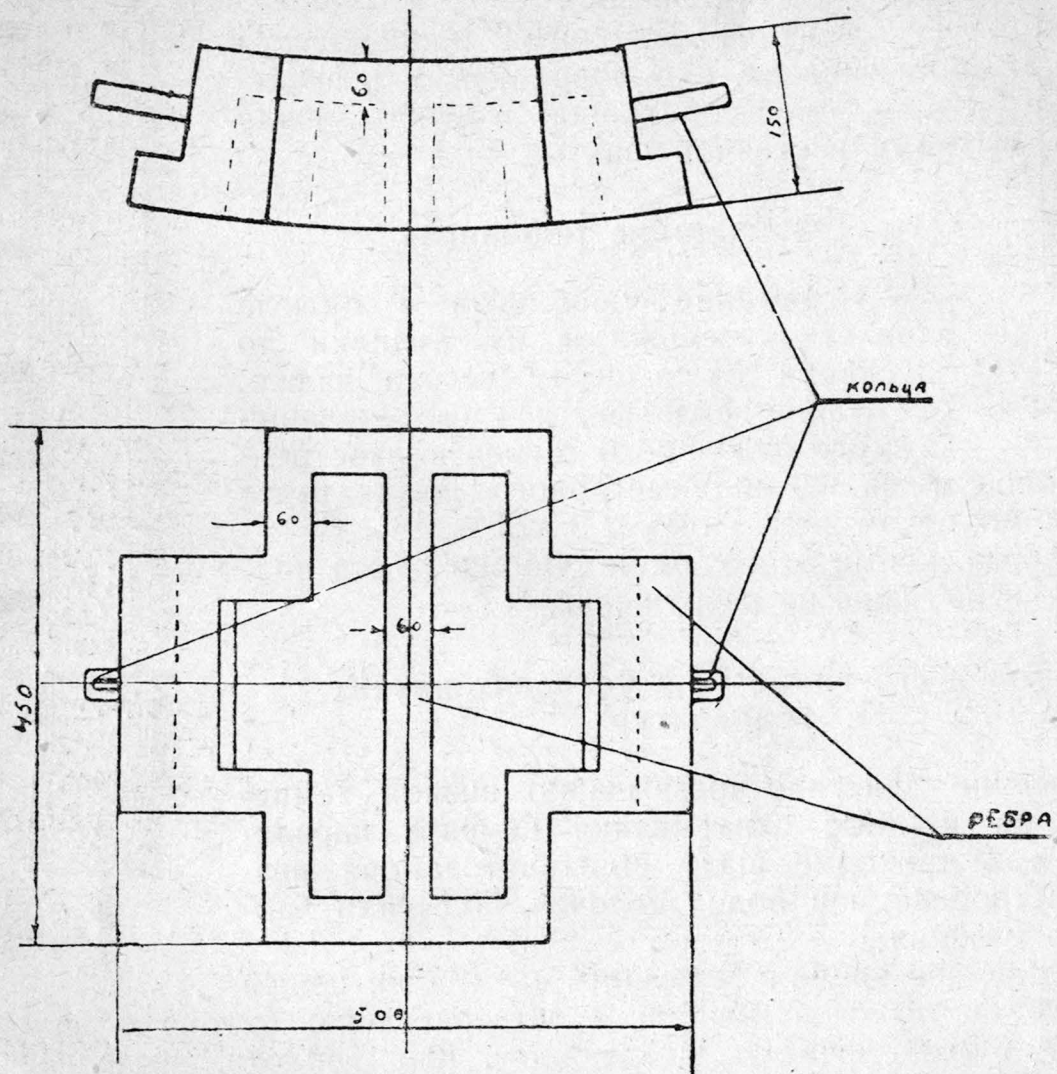
Фиг. 65.



Фиг. 66.

Другие типы крепления, применяемые при проходках шахт способом замораживания

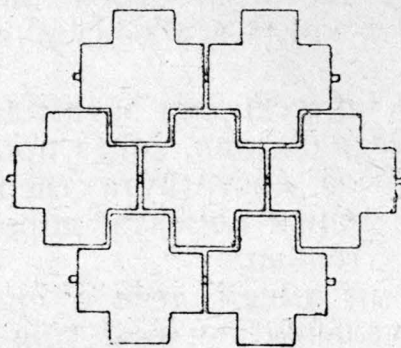
В редких случаях, с целью экономии в стоимости на чугунной тюбинговой крепи, крепление производилось иначе. Так, в Галиции, две шахты Каменоугольного промышленного общества Бреще, глубиной



около 40 м были закреплены каменным креплением. В СССР, где проходка способом замораживания производилась впервые на шахте № 2 Первого калийного рудника (Урал), при глубине выше 100 м, крепление применено бетонитами.

Фирма Гебгард-Кениг в верхней Силезии применяет вместо чугунных тюбингов железобетонные, специаль-

Вид сбоку



Фиг. 67.

ной формы (фиг. 67).

Приготовление их производится в особых формах и затруднений не вызывает.

Крепление ствола, обычно, производится такими тюбингами в два ряда, и промежуток между ними заполняется бетоном.

Стоимость крепления такими тюбингами, примерно, 1000 марок за погонный метр.

VII. ОТТАИВАНИЕ ЗАМЕРЗШЕЙ СТЕНКИ И ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗАМОРАЖИВАЮЩИХ ТРУБ

Оттаивание замерзшей стены в шахтах с незначительной глубиной может быть предоставлено времени, т.-е. оттаивание происходит естественным путем.

Так как оттаивание происходит неравномерно, то крепление шахты туббингами, естественно, подвергается действиям неодинаковых температур, что влечет за собою образование неплотностей во фланцевых соединениях, а кроме того, могут даже появиться трещины и поломки в самих туббингах.

Последнее говорит за то, что необходимо весьма тщательно следить за шахтой и за креплением во все время оттаивания.

Чем глубже шахта, тем труднее, конечно, устранять неплотности в туббингах, обнаружившиеся при оттаивании, и тем больше приходится опасаться опасных последствий, происходящих вследствие поломок туббингов.

Первое время оттаивание производили продувкой пара через замораживающие трубы.

Этот способ вызывал ряд неприятностей, заключающихся в поломке труб, утечке воды и цемента через туббинги от неравномерного распределения давления на туббинги, как следствие неравномерного оттаивания.

Позднее начали производить оттаивание путем заполнения шахты водой.

По прошествии определенного времени (6—8 недель) вода откачивалась, и туббинги расклинивались и расчеканивались.

Если же воду откачать нельзя было, что могло явиться следствием неплотности в креплении, то замораживающая установка снова приводилась в действие и замораживаемый пласт снова приводился в такое состояние, чтобы можно было откачать воду из шахты и исправить обнаруженные неисправности в креплении.

Этот способ имеет тот недостаток, что обнаруживающиеся при оттаивании неплотности в туббингах недоступны для осмотра и исправления в момент их появления, так как они находятся под водой.

Более же часто применяется другой способ.

В замораживающих трубах заставляют циркулировать подогретый раствор, а в то же время в шахту нагнетают вентилятором подогретый воздух.

После оттаивания, замораживающие трубы извлекаются из скважин и скважины засыпаются; в случае же невозможности вынуть, они заливаются цементом.

Замораживающие трубы представляют значительную ценность, поэтому все старание должно быть приложено к тому, чтобы их извлечь, по возможности, не испорченными.

Иногда замораживающие трубы извлекаются из земли, не ожидая полного оттаивания.

Это делается посредством нагретого охлаждающего раствора или же при помощи сжатого воздуха, пропускаемых через замораживающие трубы.

Ни в коем случае нельзя пользоваться в этом случае паром, потому что он конденсируется, и образовавшаяся таким образом вода замерзнет в трубах и закупорит их.

Извлечение труб связано с неприятными последствиями, заключающимися в том, что породы вокруг шахты несколько оседают и приходят в движение.

Этим же ставится под вопрос также и равномерное затвердевание бетона между крепью и стенкой шахты.

В силу этих обстоятельств стали поступать так:

Перед извлечением труб, низ внешней трубы отрезают; тогда, после извлечения внутренней трубы и последующего—внешней, отверстие заполняют глиной или песком.

Иногда, чтобы избежать возможных недоразумений с движением породы, трубы не извлекаются, оставляются в породе.

VIII. ПРОХОДКА ШАХТ ПО СПОСОБУ ЗАМОРАЖИВАНИЯ УСТУПАМИ

В обычных случаях, как мы уже сказали выше, при проходке шахт способом замораживания, все операции производятся с поверхности.

Этот способ предпочтителен, как наиболее простой и наиболее безопасный.

Однако, вследствие затруднений, которые встречаются при бурении скважин для больших глубин в силу трудности достичь вертикальности скважин, иногда пользуются другим методом. Это в тех случаях, когда водосодержащие пласты, которые подлежат замораживанию, залегают на значительной глубине, и, следовательно, вода в них находится под большим давлением.

До определенной глубины, не доходя до водоносного пласта, проходка идет обычным способом.

Далее шахта расширяется, кладется на подошву шахты бетонная подушка, и в нее заделываются трубы, через которые уже и производится бурение.

Как правило, буровая аппаратура располагается на поверхности, но иногда бурение производится и из шахты.

В первом случае, когда бурение ведется с поверхности, трубы, через которые производится бурение, поднимаются до поверхности, чем дается возможность пластовой воде подняться до нормального уровня, когда пласт будет вскрыт буровой скважиной.

Во втором случае, когда бурение производится из шахты, это последнее достигается посредством применения особых сальников.

Отсюда имеем как бы два различных способа проходки шахты замораживанием из забоя.

Первый способ, когда трубы, через которые производится бурение, а также замораживающие трубы поднимаются до поверхности.

В этом случае имеем большой расход на трубы, совершенно бесполезный расход холода при прохождении охлаждающей жидкости в пройденной части шахты, и, кроме того, трубы сильно загромождают шахту.

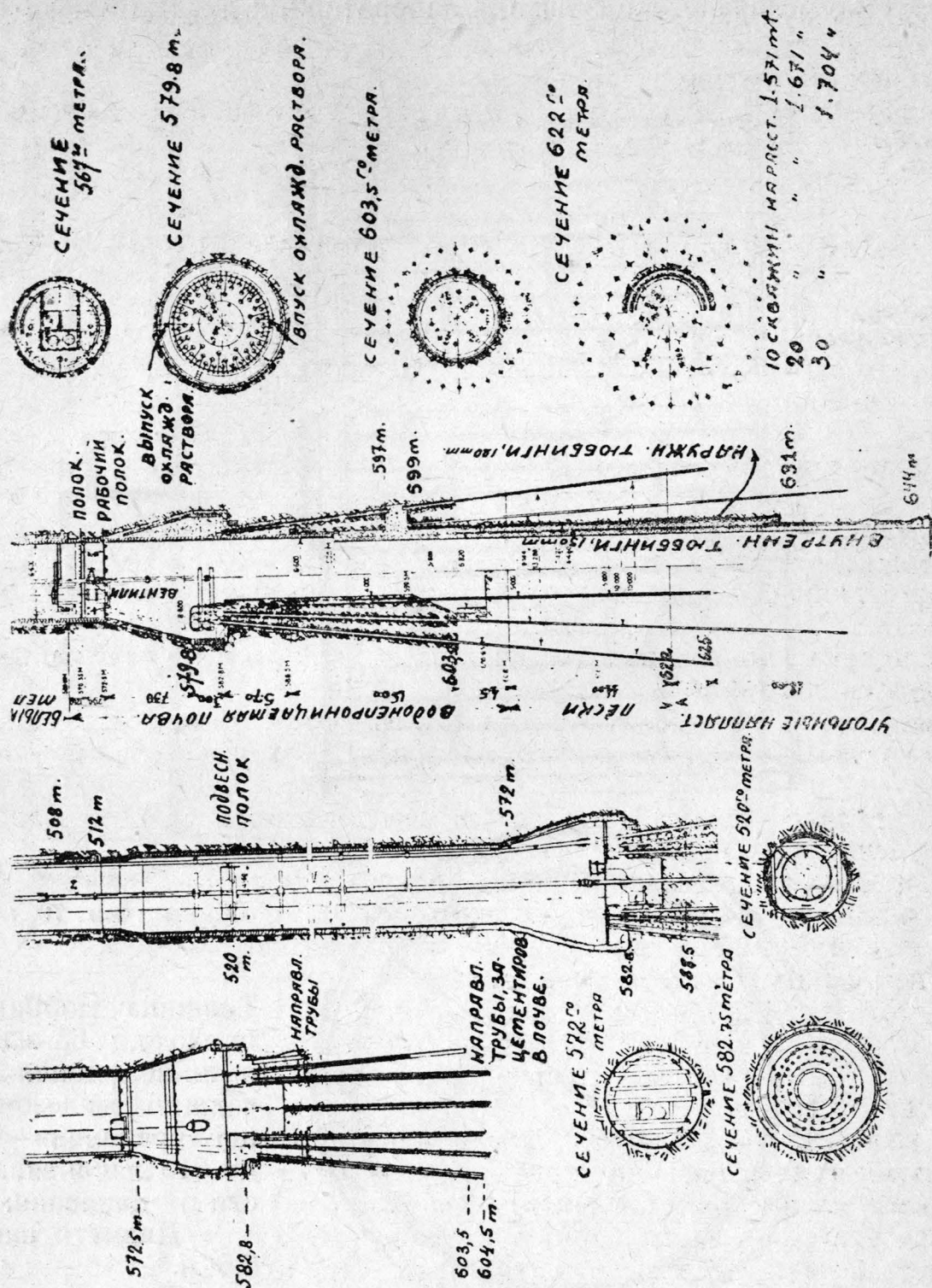
Преимущество этого способа то, что здесь не нужны сальники и операция замораживания идет в нормальных условиях.

Второй способ, когда трубы, через которые производится бурение, тоже выводятся вначале до поверхности, а замораживающие трубы при помощи специальных механизмов вводятся в них только до определенного горизонта, несколько выше бетонной подушки.

В этом случае между замораживающими трубами и трубами, через которые производится бурение, в верхней части замораживающих труб устраивается водонепроницаемое соединение.

После устройства такого соединения верхняя часть верхнего столба труб, через который производится бурение, может быть снята.

Когда замораживающие трубы установлены, они соединяются, как и в обычном способе, со сборочным кольцом и трубопроводами (фиг. 68).



Фиг. 68. Общее устройство замораживающей установки в Биринджене.

Для того, чтобы сильно не увеличивать диаметра шахты, буровые скважины задаются с некоторым уклоном, примерно, в 5° к наружи, т.-е. буровые скважины делаются расходящимися изнутри шахты к периферии.

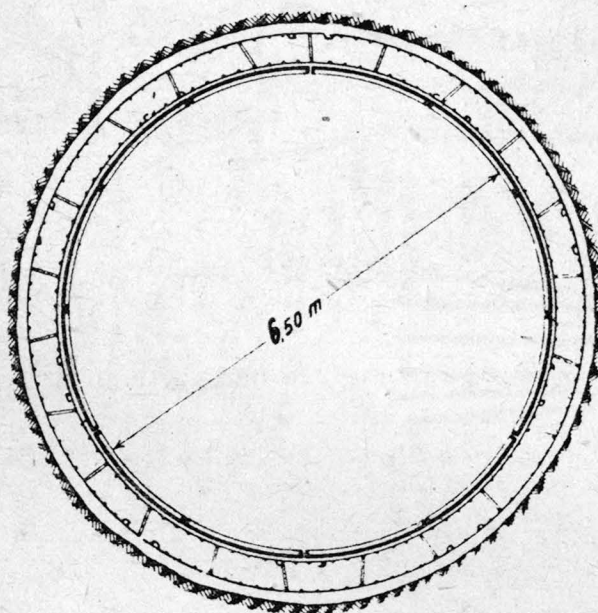
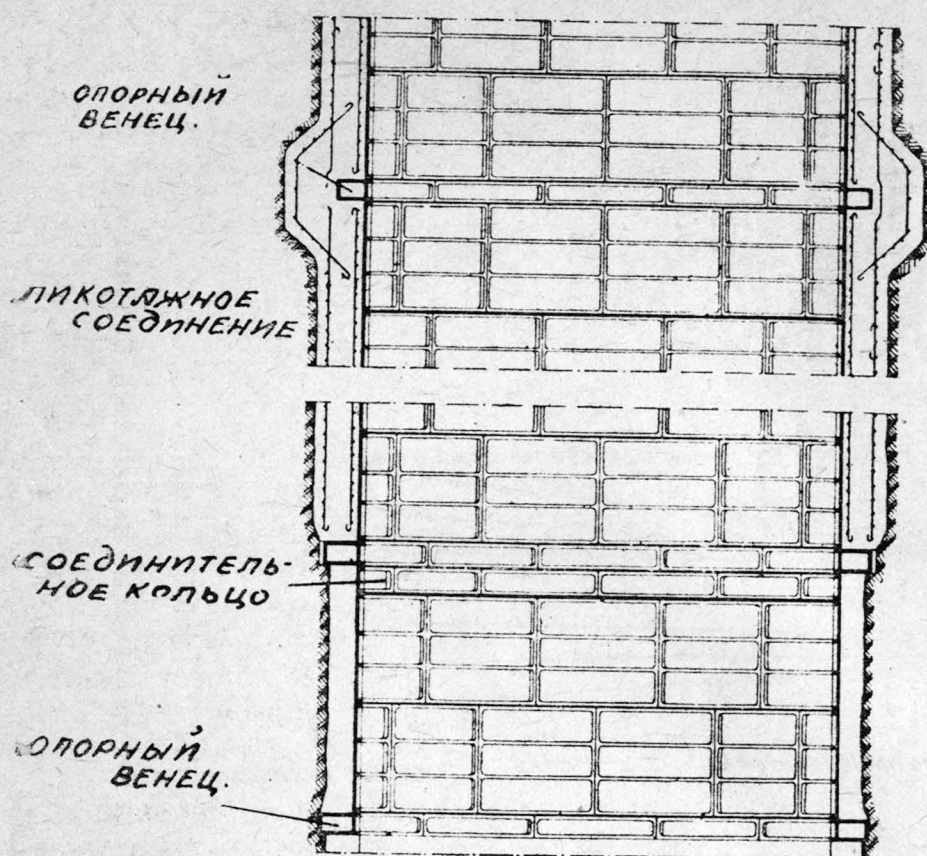
IX. ФАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА ПРОХОДКИ ШАХТ ЗАМОРАЖИВАНИЕМ

Шахта Августа Виктория 4 (Германия).

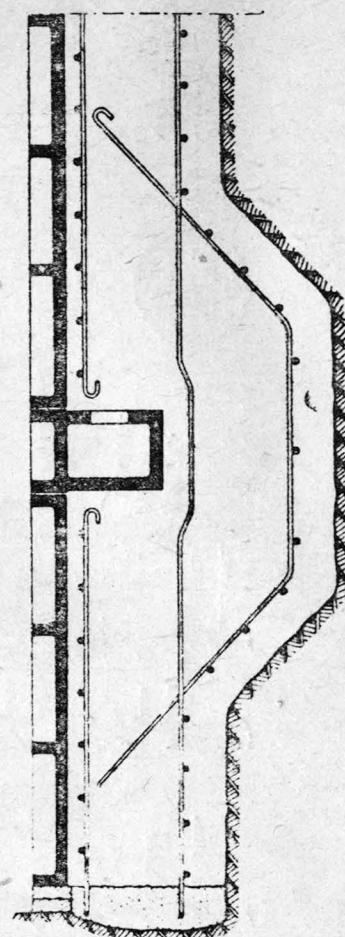
Замораживание велось на горизонте 0,0—120,22 м.

Породы—пловун.

Крепление—чугунные туббинги с железобетоном за крепью. Такое крепление было выбрано на основании лабораторных данных (фиг. 69 и 70).



Фиг. 69.



Фиг. 70.

Толщина туббингов—от 35 до 63 мм, при высоте, равной 1 м, и толщина железобетонного крепления—от 480 до 613 мм, в зависимости от давления.

Диаметр шахты—6,5 м.

Диаметр круга, по которому были расположены буровые скважины,—12 м.

Количество пробуренных скважин—34 плюс одна в центре шахты. Работа производилась тремя буровыми станками (три смены, по 8 часов каждая).

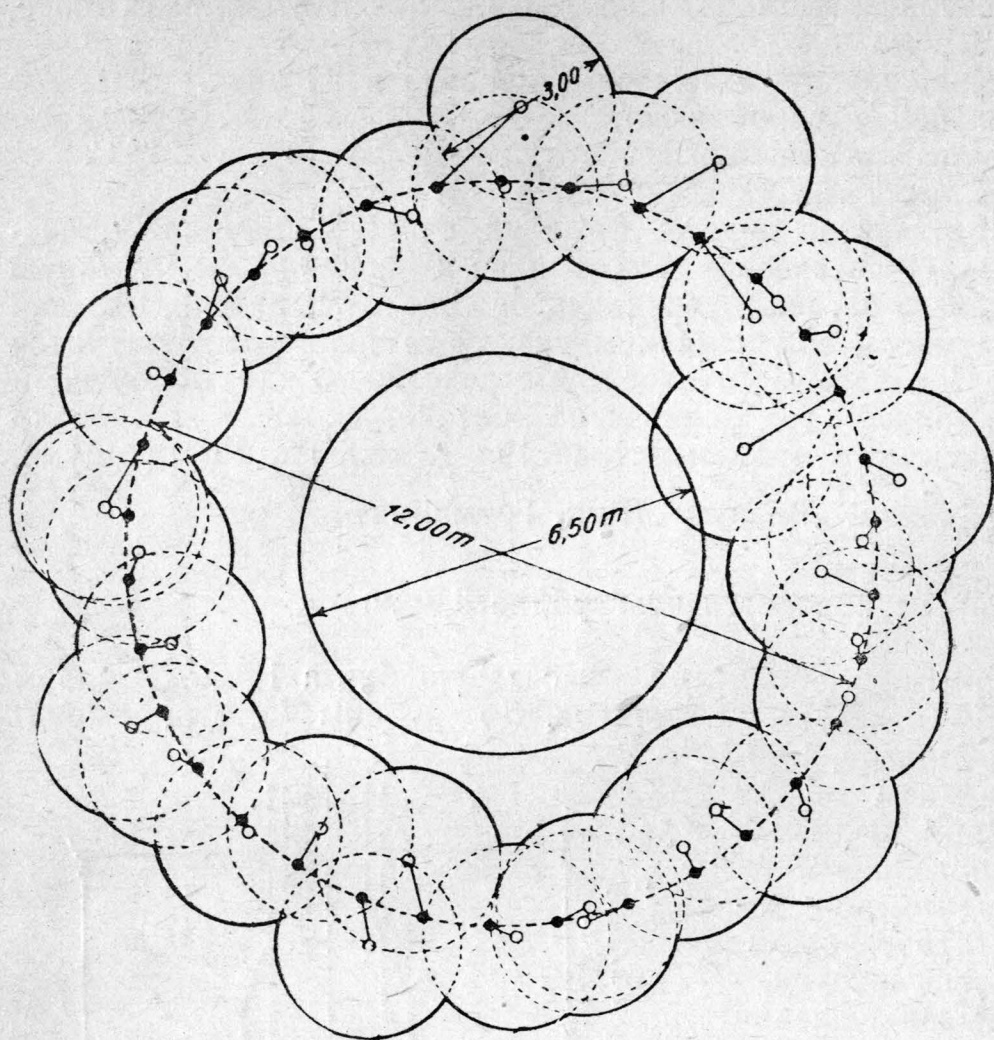
При общей длине буровых скважин 4054,9 м работа была сделана в 39 дней, т.е. со средней производительностью, примерно, 100 м.

Проверка скважин производилась лотом.

Дополнительных скважин бурить не пришлось, так как результаты были хорошие (фиг. 71).

Замораживающая установка: две, аммиачные, с производительностью 200000 cal каждая; охлаждающая жидкость—хлористый магний.

Пока цилиндр не сомкнулся (один месяц), работали обе машины, с производительностью в среднем 9530000 *cal* в день. Далее, до начала проходки, работали одной машиной, с производительностью в среднем 7156000 *cal* в день.



Фиг. 71.

Попытка работать в этот период одной машиной привела к тому, что температура охлаждающей жидкости при выходе из замораживающих труб была слишком высокая и поэтому от работы одной машины пришлось отказаться.

Разница температур входящей и выходящей из замораживающих труб жидкости первое время доходила до 4° и потом была снижена до 1°.

Самая низкая температура замораживающей жидкости достигала—26°.

Количество подаваемого раствора, при работе обеих установок, достигало до 120 куб. м.

Во время проходки работала одна установка с производительностью до 3083000 *cal*.

Всего затрачено на замораживание 1040 млн. *cal* в течение 5 месяцев и 26 дней.

Стоимость 1 пог. м 9800 марок, при общей стоимости 1176060 марок.

По отдельным элементам стоимость разбивается так:

бурение (с оборудованием)	1036,5	марок
замораживание	1780,0	"
проходка и крепление	6983,5	"

Собственно бурение обошлось около 31 марки погонный метр.

В стоимость замораживания включена сумма (соответствующая расходам на данный участок) 159.400 марок, потраченная на оборудование замораживающей установки.

В стоимость проходки и крепления включена сумма на оборудование 83500 и, кроме того, стоимость туббингового крепления 299200 марок.

Проходка данной шахты относится к 1928 г.

Совершенно аналогичным способом, но, может быть, с меньшими предосторожностями, ранее была пройдена шахта Августа Виктория 3, в ко-

торой, спустя 28 месяцев после окончания работ (июнь месяц 1927 г.), произошел обвал, причиной которого считали неравномерную нагрузку, вследствие неравномерного оттаивания, на туббинговое крепление.

В этом случае глубина промораживания была почти в два раза более, чем на шахте № 4 (218 м).

Процесс замораживания продолжался 8 месяцев и 25 дней.

Затрачено было 1650 миллионов *cal*.

Температура замораживающей жидкости, наинизшая, была -21°C .

Крепление было простыми туббингами.

Последнее обстоятельство и надо, пожалуй, считать причиной происшедшего здесь обвала. Надо сказать что раньше к введению за чугунную крепь бетона или железо-бетона относились вообще скептически, так как думали, что бетонная масса, под влиянием низкой температуры, получится недоброкачественной; поэтому в пустое пространство между туббингами и породой вводили только то количество бетона, сколько требовало пространство; старались при этом пространство уменьшать до минимума.

Проходка „Валзум“ (Рур, Германия)

Порода—пески, пливун.

Водоносный горизонт кончается на глубине 350 м.

Диаметр шахты—7 м.

Крепление чугунными туббингами. Высота туббинга 1,5 м. В одном кольце помещалось 13 отдельных сегментов. До глубины 65 м шло крепление одним рядом туббингов, а ниже — двумя, с заполнением между ними бетоном. Двойной ряд был выбран в силу большого диаметра шахты и большой глубины, при котором только гидростатическое давление воды выражалось цифрой—35 атмосфер (не учитывая давления пород).

Холодильные машины — углекислотные: 4 агрегата, из них — один в запасе.

Машины предположено было использовать последовательно на двух шахтах № 1 и № 2.

Расход углекислоты—11 кг в неделю.

Стоимость 1 м проходки с креплением около 10000 марок.

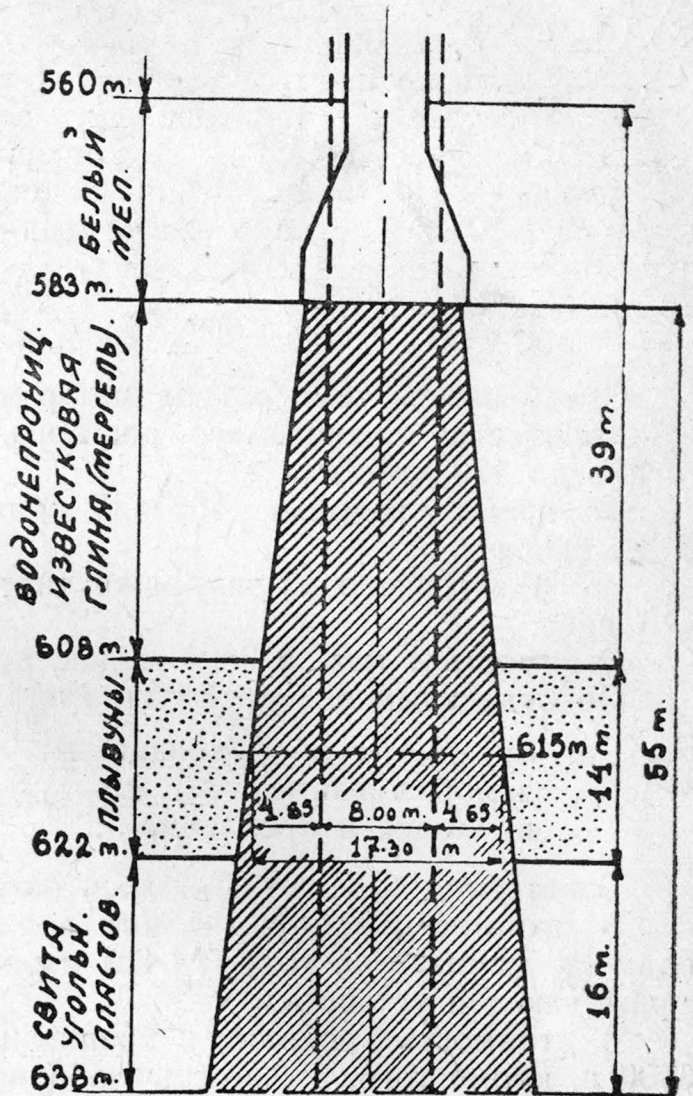
Проходка в Беерингене (Бельгия)

Замораживание производилось на глубине 608—622 м.

Порода — пливун.

Лабораторными опытами была установлена необходимость заморозить конус пород формы и размеров, показанных на фиг. 72.

Присутствие пливунов было обнаружено с горизонта 571 м, когда шахта была уже пройдена и закреплена до этого горизонта.



Фиг 72.

Далее шахта была расширена с тем, чтобы дать возможность расположить три концентрических круга с диаметрами в 5, 10 и 15 м, по которым соответственно располагались буровые скважины числом—10, 20 и 30. Здесь внутренние скважины были заложены исключительно с целью ускорить процесс замораживания; при дальнейшей проходке от них отказались и замораживающая жидкость циркулировала только по скважинам двух кругов.

Направляющие трубы, диаметром 212,5 мм и высотой 5 м были закреплены так, чтобы наиболее обезопасить правильное направление скважин. Обсадные трубы применялись диаметром в 175 мм и длиной в 20 м. После окончания бурения и установки сборочной аппаратуры было приступлено к замораживанию.

Температура замораживаемого массива поддерживалась—25°C.

Крепление было чугунными туббингами.

Вся операция по прохождению этого участка была закончена в 7 месяцев и 21 день.

Устройство для бурения, замораживания и проходки шахты видно на фиг. 68.

Проходка способом замораживания в СССР

Примером проходки по способу замораживания в СССР может служить шахта № 2 первого калийного рудника (около г. Соликамска, Уральской области).

Здесь, в зоне контакта пустых пород с покровной солью, на глубине около 102 м, был обнаружен бурением очень большой приток циркулирующего рассола, крепостью 24° Бомэ.

Это обстоятельство—появление циркулирующего рассола—и вызвало необходимость проходить шахту способом замораживания.

Другим примером (в настоящее время производится бурение) являются шахты № 1—№ 2 Щегловские, Кемеровского района, в Кузбассе, где обе шахты намечены к закладке в условиях проходки через речники, насыщенные большим количеством воды, расположенные на глубине, примерно, 45 м от поверхности земли, мощностью до 10 м.

Х. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРОХОДКИ СПОСОБОМ ЗАМОРАЖИВАНИЯ

Чтобы определить время, необходимое для производства всех операций, связанных с проходкой по способу замораживания, разделим весь процесс на отдельные фазы.

Основные фазы: бурение и оборудование скважин замораживающими трубами; собственно замораживание, считая это время до начала проходки, и проходка с креплением. Сюда надо еще добавить: предварительные работы (по приготовлению к бурению), оттаивание и извлечение труб.

Бурение

В случае необходимости ускорить проходку шахты, для производства буровых работ берут не менее трех буровых станков, работающих одновременно. Если процесс бурения идет нормально, во время работы никаких затруднений не встречается, то при глубине скважин до 150 м, один буровой станок может дать в сутки 15—20 м буровой скважины.

Диаметр шахты возьмем равным 6 м, тогда диаметр концентрического круга, по которому расположим буровые скважины, будет: $6 + 5 = 11$ м.

Количество скважин будет, при условии расположения их через метр:

$$2 \pi R : 1 = \approx 33 \text{ (при } R = 5,5).$$

Общую длину буровых скважин получим $150 \times 33 = \approx 5000 \text{ м.}$

Время потребное для бурения тремя станками, при скорости в сутки около 17 м на станок, будет:

$$5000 : (3 \times 17), \text{ или около } 100 \text{ дней.}$$

Это—время, необходимое только для производства бурения.

Сюда надо добавить еще время, необходимое для оборудования буровых скважин замораживающими трубами, распределительной аппаратурой, а также на извлечение обсадных труб, что даст не менее 20% от затраченного на бурение времени, т.-е. для первой фазы получим необходимое время $100 + 0,20 \cdot 100 = 120 \text{ дней, или } 4 \text{ месяца.}$

При более глубоких шахтах, порядка 250—400 м, можно ожидать меньше перерывов в работе по бурению, а следовательно, бурение пойдет с большей скоростью (до 40 м в сутки).

В этом случае не надо забывать, что при более глубоких скважинах, вероятнее отклонение от вертикального положения, а следовательно, при расчете надо брать во внимание некоторое количество дополнительных скважин.

При шахтах глубиной до 400 м время, потребное для бурения и оборудования буровых скважин, будет порядка 8—9 м.

Замораживание

Время, необходимое для собственно замораживания, различно для разных глубин и зависит от массы других причин.

Практика дает в этом отношении также разнообразные данные.

В общем можно считать, что в нашем примере, при глубине шахты в 150 м, необходимо не менее 2 месяцев.

Это время с глубиной шахты будет увеличиваться, и для шахты порядка 300 м глубиной будет, примерно, 2,5—3,0 месяца.

На шахте Виктория Августа № 4 это время было около 3 месяцев, при глубине шахты 115 м, при диаметре шахты 6,5 м.

Проходка и крепление

Производительность по проходке за последнее время сильно возрасла. Это надо в большей степени объяснить переходом на проходку взрывными работами.

Так на шахте „Грассерт II“ 175 м было пройдено и закреплено подвесной туббинговой крепью в 5½ месяцев, что дает в среднем в один месяц около 32 м готовой шахты.

При благоприятных условиях, когда нет больших перерывов в работе, можно принять производительность проходки с креплением в замороженных породах в среднем до 25 м в месяц, т.-е. в нашем примере, при глубине шахты в 150 м, на проходку с креплением потребуется 6 месяцев.

Отсюда общая средняя месячная производительность шахты, включая в работу все три основные фазы процесса проходки шахт способом замораживания будет.

$$150 : (8 + 2 + 6), \text{ или, приблизительно, } 9 \text{ м.}$$

Forster Brown дает следующие производительности, составленные на основании данных трех фирм, ведущих проходку способом замораживания. (таблица № 5).

Таблица 5.

Ф а з ы р а б о т ы	Для шахт глубиною в 250 м.	Для шахт глубиною в 600 м
1. Сборка и установка до начала работ по бурению	1,5 мес.	3— 6 мес.
2. Бурение и установка замораживающих труб	1,5—12,0 „	10—20 „
3. Образование ледяной стенки . .	1,5—3,0 „	3— 6 „
4. Проходка и крепление	18—20 м мес.	—
5. Оттаивание	1,5—3,0 мес.	3— 6 „
6. Извлечение труб	1—3 „	3— 5 „

ХІ. СТОИМОСТЬ

Heise-Herbst дает следующие данные стоимости *пог. м.* (общей) проходки шахт по способу замораживания в зависимости от глубины шахт (таблица № 6).

Таблица 6.

Глубина в метрах	Стоимость в марк.
100	3500— 4000
200	4000— 6000
300	6000— 7000
400	7000— 9000
500	9000—11000

Как видно из таблицы, стоимость повышается с увеличением глубины.

Это вполне понятно: с увеличением глубины увеличивается диаметр буровых скважин, увеличивается толщина стенок замерзшей стены, необходима более низкая температура охлаждающей жидкости, удорожается стоимость самой проходки, стоимость туббингового крепления и др.

В Руре (Германия), где проходка шахт способом замораживания получила наибольшее распространение, средняя стоимость проходки 1 м не менее 10.000 марок.

Стоимость проходки на ш. Виктория Августа—9.800 марок (при глубине шахты 115 м).

Основными элементами стоимости, которые сильно удорожают проходку по способу замораживания, надо считать:

1. Собственно замораживание, куда относится стоимость холодильной установки.

Общая стоимость замораживающей установки исчисляется, примерно, в 250.000 марок (ш. Виктория Августа 4). Если даже машины и пойдут впоследствии на вторую шахту, все же надо не менее 60% этой суммы отнести на шахту, где машины устанавливаются впервые.

2. Вторым элементом, удорожающим проходку замораживанием надо считать крепление, куда входит стоимость туббингов.

В процентном отношении к общей стоимости проходки отдельные элементы будут участвовать, примерно, так:

бурение 24%,
замораживание 28%,
проходка и крепление 48%, причем на собствен-

но проходку падает менее 15%.

Это для неглубоких шахт, порядка 100 м.

С увеличением глубины стоимость бурения будет соответственно падать, а стоимость крепления увеличиваться, так как большие давления требуют и более тяжелого крепления.

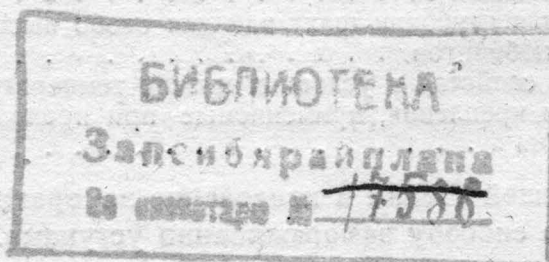
ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ.

1. Heise-Herbst.—Bergbaukunde, zweiter Band.
2. Edward Otto Forster Brown.—Vertical Shaft Sinking.
3. „Glückauf“, 1930 г., № 18.
4. „ „ 1928 г., 40.
5. Colliery Guardian, 1930 г., август месяц.
6. Der Bergbau, 1929 г., № 43.
7. „ „ 1930 г., № 47.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
Предисловие	3
I. Введение.	5
II. Способ замораживания.	5
История способа замораживания.	6
Сущность и применение способа замораживания	6
Подготовительные работы для проходки шахт замораживанием	7
III. Бурение.	9
Глубина буровых скважин	12
Количество и размеры буровых скважин.	12
Крепление скважин	13
IV. Замораживание.	13
Замораживающие трубы	13
Порядок введения буровых скважин в работу	17
Замораживающие жидкости	18
Холодильные установки. Сущность устройства	19
Циркуляция охладителя	20
Аммиак и углекислота в качестве производителей холода.	22
Расчет необходимого количества холода	26
Сопротивление давлению замерзшей породы	30
Необходимая толщина ледяного цилиндра и пределы углубки шахты способом замораживания	31
Образование замерзшего цилиндра	33
Влияния, которые можно оказать на образование замерзшей стены	35
Наблюдение за образованием замерзшей стены.	36
V. Проходка шахт.	37
VI. Крепление.	38
Чугунные туббинги	39
Английские туббинги	40
Установка английских туббингов	40
Немецкие туббинги	40
Установка немецких туббингов	41
Укладка английских туббингов	43
Укладка немецких туббингов	44
Подвешенный немецкий туббинг	46
Сравнение английского способа крепления туббингами с немецким.	51
Расчет туббингов	51
Стальные туббинги	54
Туббинги—для глубоких шахт или для особо высоких давлений	54
Испытание туббингов	55
Бетон и его свойства в условиях низких температур	55
Другие типы крепления, применяемые при проходках шахт способом замораживания	56
VII. Оттаивание замерзшей стенки и извлечение замораживающих труб.	57
VIII. Проходка шахт по способу замораживания уступами.	58
IX. Фактическое применение способа проходки шахт замораживанием.	59
Шахта „Августа Виктория 4-ая“ (Германия)	59
Проходка „Валзум“ (Рур, Германия)	62
Проходка в Беерингене (Бельгия)	62
Проходка способом замораживания в СССР	63

X. Производительность проходки способом замораживания.	63
Бурение	63
Замораживание	64
Проходка и крепление	64
XI. Стоимость.	65
Литературные источники.	66



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ГОРНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

НОВОСИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ — НОВОСИБИРСК, СОВЕТСКАЯ, 20.

Имеются в продаже следующие издания:

- Материалы по обогащению углей Сибири. Сборн. I. Цена 3 р. 85 к.
Материалы по обогащению углей Сибири. Сборник II. Цена 6 р. 50 к.
Шахта Коксовая I. Цена 1 р. 25 к.
Пути развития Сибирской каменноугольной промышленности.
Цена 3 руб.
Курындин.—Продукты перегонки барзасских сапропелитов. Цена 40 к.
Иностранный опыт в каменноугольной промышленности. Сборник I.
„Проходка шахт“, под редакцией горн. инж. В. М. Еремеева. Цена 4 р.
Иностранный опыт в каменноугольной промышленности. Сборник III.
„Механизация добычи угля в Германии“, под редакцией горн. инж. Г. В. Завьялова. Цена 3 руб.
Отчет о научной заграничной командировке работников Сибугля.
Цена 9 руб.
Чечулин и Зотов.—Врубовая машина SEKA — 40 Эйкгоффа. Цена
2 р. 75 к
Горн. инж. А. Ф. Суханов.—Пути рационализации бурения шпуров.
Часть I. Цена 4 р. 20 к.
Горн. инж. А. Ф. Суханов.—Пути рационализации бурения шпуров.
Часть II. Цена 1 р. 10 к.
Горн. инж. Д. А. Стрельников.—Системы разработки мощных пластов
Прокопьевского рудника в Кузбассе. Цена 3 р. 10 к.
Горн. инж. Г. П. Ксюнин.—Паровой подъем в условиях Кузбасса.
Цена 2 р. 50 к.
Инженер-механик И. С. Патрушев.—Современный скиповый подъем
на рудниках Германии. Цена 1 р.
Горн. инж. Е. Р. Майер.—Механизацию в рудники Сибири. Часть I.
Цена 1 р. 10 к.
Инженер-геолог Л. А. Рагозин.—Пластинчатожаберные из угленосных
отложений южной части Кузнецкого бассейна. Цена 2 р. 20 к.
Горный инженер Л. Л. Халфин. Материалы к стратиграфии северной
окраины Кузнецкого угольного бассейна. I. Верхнедевонские брахиоподы
Черепанова брода на реке Яе. Цена 1 р. 10 к.
Проф. А. В. Хахлов.—Материалы к стратиграфии Кузнецкого каменно-
угольного бассейна. Цена 2 р. 20 к.
Проф. В. А. Хахлов.—Юрская флора из Кузнецкого бассейна. Цена 2 р.
„Материалы по геологии и полезным ископаемым Восточной Си-
бири“. Содержание: 1) проф. М. К. Коровин.—„Канский угленосный бас-
сейн“. Геологический очерк. 2) А. В. Аксарин.—„Описание некоторых
представителей пермокарбоновой флоры из Канского бассейна“. Цена 1 р. 85 к.
Инж.-эл. Л. В. Гладилин.—Выбор типа преобразователя для рудничных
установок. Цена 80 к.
Инж. А. Г. Фролов.—Пути развития железнодорожного транспорта в
каменноугольных районах Кузбасса. Цена 1 р. 30 к.
Горн. инж. Б. Ф. Гриндлер и горн. инж. В. А. Цибульский.—
Правила и наставления по производству взрывных работ на каменноуголь-
ных рудниках. Цена 2 р. 25 к.
Материалы по изучению качества углей Сибири. Сборник I.
Цена 3 р.
Проходка шахт методом замораживания. Перевод с немецкого
под редакцией горн. инж. В. М. Еремеева. Цена 1 р. 90 к.

ВСЕ ЭТИ ИЗДАНИЯ ВЫСЛАЮТСЯ НАЛОЖЕННЫМ ПЛАТЕЖОМ
ПО ПЕРВОМУ ТРЕБОВАНИЮ.

Заказы направлять по адресу: Новосибирск, Улица Сверд-
лова, 39. Западно-Сибирское отделение Книгоцентра.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ГОРНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

НОВОСИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ == НОВОСИБИРСК, СОВЕТСКАЯ, 20.

Вышли и поступили в продажу книги:

„Доклады Кузбассугля второй всесоюзной топливной конференции“. (К вопросу о развитии Кузнецкого и Минусинского бассейнов в 1933—37 г.г.). Цена 3 руб.

Инж. Гусев и Неверов.—Об отбойном молотке. Серия „Горняку-механизатору“. Цена 20 коп.

Инж. Балашев.—Изучи мотор. Серия „Горняку-механизатору“. Цена 20 к.

Горн. инж. И. И. Аммосов.—Петрографическое исследование пластов I Внутреннего и II Внутреннего Прокопьевского месторождения Кузбасса. Цена 2 р. 20 коп.

Горн. инж. С. Н. Белоусов.—Новое в Донбассе. Цена 1 руб. 20 коп.

Рудничные пожары и борьба с ними.—Сборник статей под редакцией и с комментариями гор. инж. Г. Ф. Гриндлера — Цена 2 руб.

Инж.-мех. А. А. Хворостов.—Отопление стволов шахт Кузнецкого бассейна. Часть I. Обзор типов огневых калориферов. Цена 1 р. 20 к.

Горн. инж. В. А. Цибульский.—Породные работы при проходке шахт, приствольных выработок, квершлагов и туннелей. Часть I. Принадлежности и оборудование для бурения. Цена 3 р. 50 к.

Горн. инж. В. А. Цибульский.—Породные работы при проходке шахт, приствольных выработок, квершлагов и туннелей. Часть II. Взрывчатые вещества и принадлежности для паления. Цена 3 руб.

Красин, Шакуров и Пьенэ.—Нормировочник проходческих работ Кузбассугля. — Цена 1 р., в переплете 1 р. 80 к.

Инж. П. Э. Жданов.—Сжатый воздух в горнозаводском деле. Цена 1 р. 20 коп.

Инж. П. В. Гречинский.—Азбука рудничного камеронщика. Цена 80 к.

Горн. инж. И. П. Ветошкин.—Проходка шахт способом замораживания. Цена 2 р. 20 к.

Горн. инж. И. П. Ветошкин.—Проходка шахт способом цементации. Цена 1 р. 50 к.

Печатаются:

Иностранный опыт в каменноугольной промышленности. Сборник II „Механизация процессов угледобычи за границей“, по редакцией горн. инж. А. М. Гусева.

„Методы прохождения горизонтальных породных выработок“.—Перевод с английского, под редакцией горн. инж. В. А. Цибульского.

Инж. А. Г. Фролов.—Организация движения по рельсовым путям в шахте Угленосные районы Сибири. Справочник под редакцией проф. М. К. Коровина.

Изучение углей Западной Сибири.—Сборник работ проф. Бутаква, Доброхотова, инж. Суханова и др.

Обогатимость черемховских углей, под редакцией проф. Н. С. Пенн.

Будрин В. П.—Заработная плата в каменноугольной промышленности.

Г. В. Быков и В. А. Красин —Нормировочник ручных горных работ Кузбассугля—Второе дополненное издание.

ВСЕ ЭТИ ИЗДАНИЯ ВЫСЫЛАЮТСЯ НАЛОЖЕННЫМ ПЛАТЕЖОМ
ПО ПЕРВОМУ ТРЕБОВАНИЮ.

Заказы направлять по адресу: Новосибирск, Улица Свердлова, 39. Западно-Сибирское отделение Книгоцентра.