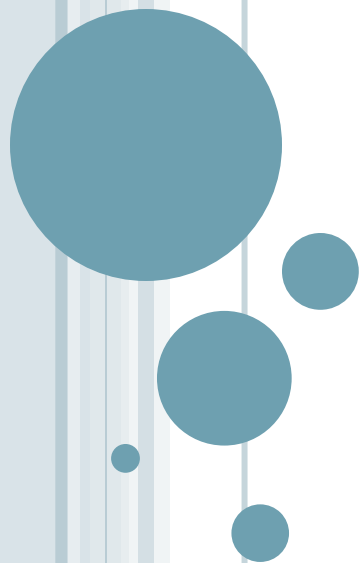


ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

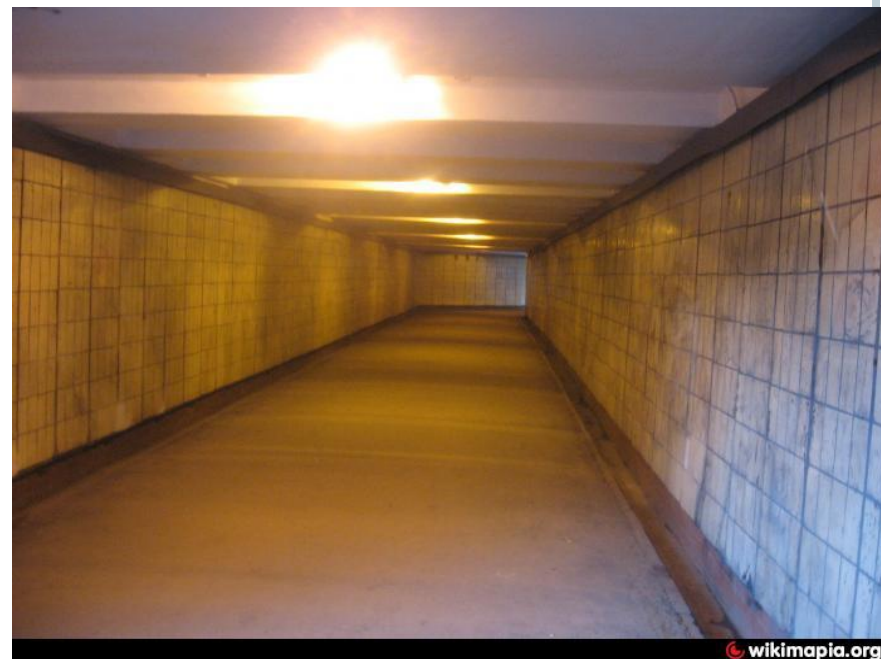


Подземные сооружения - заглубленные части (полностью или частично) жилых, общественных и производственных зданий и сооружений, а также тоннели автомобильных дорог и пешеходных переходов ниже планировочной отметки земли, включая уникальные объекты (заглубление подземной части которых ниже планировочной отметки земли более чем на 10 м).

Наиболее распространёнными видами подземных сооружений по назначению являются: подземные гаражи, спортивные, рекреационные помещения, залы для зрелищных мероприятий и т.д.; сооружения промышленно-технологического назначения (емкости водопроводных и канализационных сетей, заглубленные части дробильно-сортировочных цехов, металлургических производств, подземные атомные котельные и т.п.); убежища ГО; пешеходные и коммуникационные тоннели; жилые дома; подпорные стены.



- ❑ **Тоннель (туннель)**-протяженное подземное сооружение высотой 2 м и более до выступающих конструкций, предназначенное для прокладки железных и автомобильных дорог, пешеходных переходов, коммуникаций.
- ❑ **Подземный пешеходный переход** обычно состоит из собственно тоннеля под проезжей частью или железной дорогой и ведущих к нему ступеней, расположенных на пешеходных дорожках . Часто ступеньки оборудованы наклонными дорожками для спуска велосипедов, детских и инвалидных колясок.



- Сборные железобетонные тоннели могут конструироваться составными из отдельных элементов - стен, днища и крышки; из элементов П-образного сечения - днища с нижними участками стен и перекрытия с верхними участками стен или из элементов, представляющих собой одну стенку с участками днища и перекрытия. Разрезка может быть и по другой, экономически обоснованной схеме.
- При небольших размерах поперечного сечения (с точки зрения удобства изготовления и транспортировки) тоннели могут конструироваться из цельных замкнутых блоков длиной 1 - 3 м.



КЛАССИФИКАЦИЯ ТОННЕЛЕЙ.

По назначению выделяют:

- транспортные тоннели, предназначенные для пропуска средств автомобильного или железнодорожного транспорта, поездов или скоростного трамвая, специальных видов транспорта (поездов на магнитной или воздушной подушке). Существуют также совмещенные транспортные тоннели для нескольких видов транспортных средств и пешеходов, судоходные тоннели и др.



- Гидротехнические тоннели сооружают в системе ГЭС, ГАЭС или АЭС для отвода и подачи воды к силовым агрегатам (энергетические и деривационные). К гидротехническим относятся также мелиоративные тоннели для осушения или орошения земель, тоннели для водоснабжения, а также лесосплавные тоннели



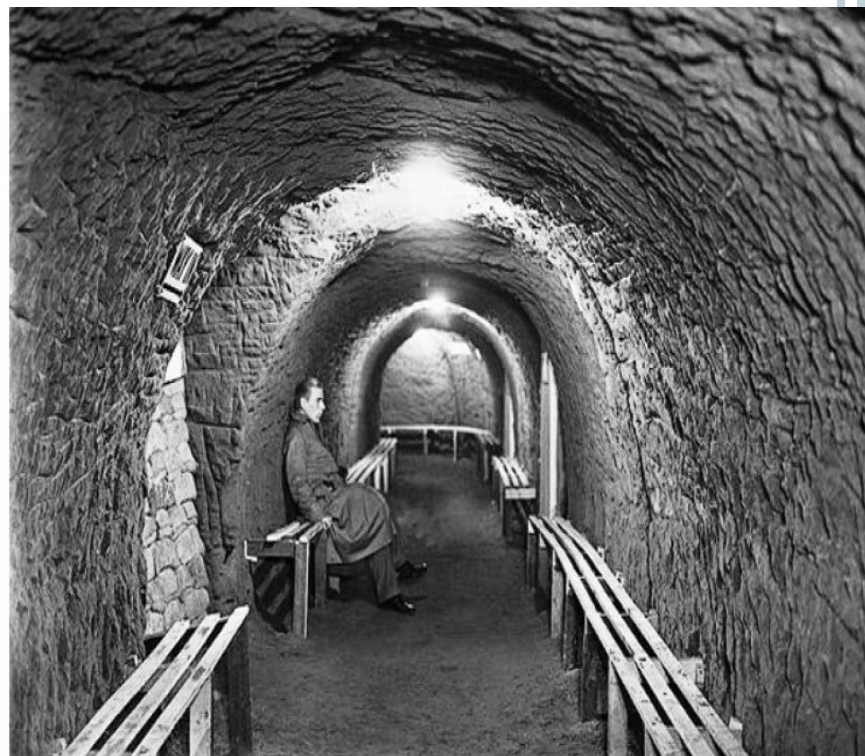
- Коммуникационные тоннели чаще всего располагают в городах для прокладки различных инженерных коммуникаций: электрических кабелей высокого или низкого напряжения, кабелей связи, теплосетей, водостока, водопровода, газопровода, канализации. Во многих случаях устраивают коллекторные тоннели для пропуска нескольких видов коммуникаций.



- Горнопромышленные тоннели строят на горнодобывающих предприятиях, шахтах и рудниках. Они служат для транспортирования руды и породы, проветривания и осушения подземных выработок.



- К тоннелям специального назначения относят подземные автостоянки и гаражи тоннельного типа, тоннели для научных исследований (например, ускорители заряженных частиц, тоннели для аэродинамических испытаний), газо- и нефтехранилища, подземные склады, тоннели оборонного характера.



СПОСОБЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ.

Данные способы делятся на две группы: способы строительства с поверхности и подземные.

Способы строительства с поверхности включают способы-котлованный, опускного колодца и «стена в грунте».

Подземные способы строительства включают в себя - закрытый, горный ,щитовой способы.



КОТЛОВАННЫЙ СПОСОБ.

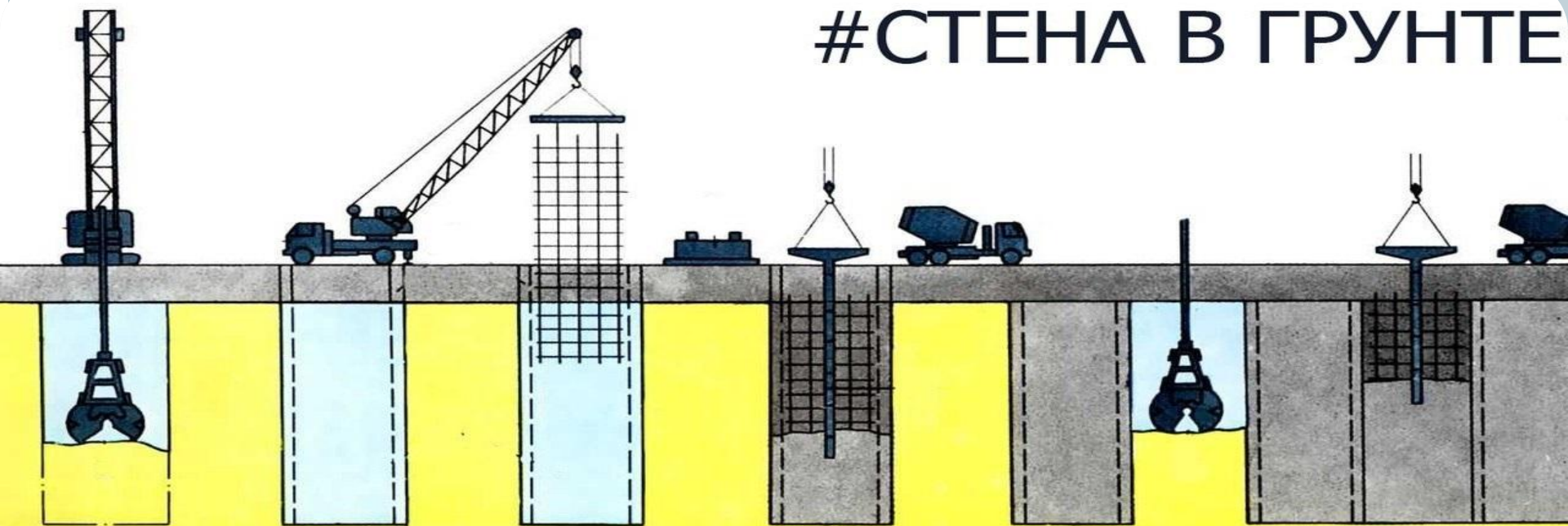
Откапывается котлован и в нём обычными способами возводится будущее подземное сооружение. После завершения строительства котлован засыпается грунтом. При использовании этого способа обеспечиваются наиболее благоприятные условия укладки бетона, возможность устройства наружной гидроизоляции. Строительные нагрузки на ограждающие конструкции при этом способе строительства не превосходят эксплуатационные.



СПОСОБ «СТЕНА В ГРУНТЕ».

Сущность способа «стена в грунте» заключается в устройстве стен из монолитного или сборного железобетона в узких и глубоких траншеях. В процессе разработки грунта устойчивость стен траншей обеспечивается за счёт заполнения траншеи глинистыми растворами (суспензиями), обладающими тиксотропными свойствами. После разработки траншеи заданных размеров глинистый раствор замещается различного рода материалами, которые образуют в грунте несущие конструкции.

#СТЕНА В ГРУНТЕ



ЗАКРЫТЫЙ СПОСОБ.

- При этом способе работ тоннели сооружают одновременно на нескольких участках, что ускоряет сроки строительства. На каждом участке с поверхности над осью тоннеля или вблизи от него закладывают ствол шахты и штольней соединяют его со строящимся тоннелем. Разработку грунта в тоннеле и обделки ведут от каждого ствола к соседним до встречи, т. е. до сбойки отдельных участков.



ГОРНЫЙ СПОСОБ

Закljučается в следующем: породу разрабатывают буровзрывным методом или механизированным инструментом, после этого немедленно выполняют временное крепление лба и контура выработки, а затем возводят обделку тоннеля. В случае сооружения обделки из монолитного бетона или железобетона при наличии грунтовой подошвы устраивают внутреннюю оклеенную гидроизоляцию из четырех — шести слоев рубероида на битумной мастике и поддерживающую ее железобетонную оболочку толщиной 20 см. Так были сооружены участки значительной протяженности на первой очереди Московского метрополитена.



ЩИТОВАЯ ПРОХОДКА

Щитовая проходка возможна в глинах, суглинах, песках, где тоннели круглого поперечного сечения сооружают, как правило, с применением специального механизма — щита.

Щит представляет собой подвижную металлическую крепь, под защитой которой в безопасных условиях разрабатывают забой, убирают разрыхленную породу и сооружают обделку тоннеля. Форма поперечного сечения щита соответствует внешнему очертанию обделки тоннеля. Наибольшее распространение имеют щиты круглой формы.



АРМИРОВАНИЕ ТОННЕЛЕЙ И ПЕРЕХОДОВ

- Тоннели рекомендуется армировать самонесущими пространственными каркасами и гнутыми сетками . Для стыкования распределительной (противоусадочной) арматуры могут быть использованы типовые сетки по действующим ГОСТам.
- Каркасы собираются из сеток и поддерживающих устройств, которые фиксируют сетки в рабочем положении и обеспечивают общую пространственную жесткость
- При армировании тоннелей, в которых первоначально бетонируется только нижняя плита, для стыковки каркасов стен с днищем следует предусматривать специальные гнутые стыковые сетки.
- Армирование участков тоннелей со сложной конфигурацией (места различных примыканий, углы поворота и т.п.) возможно осуществлять плоскими и гнутыми сетками.



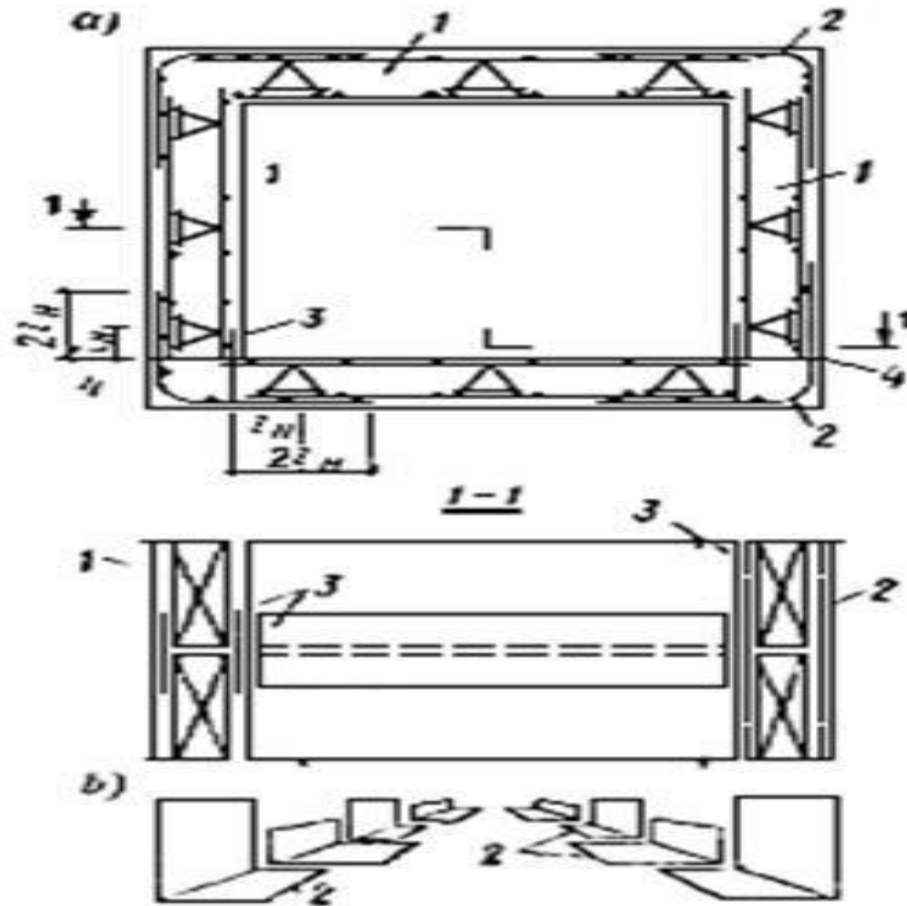


Рис. СХЕМА АРМИРОВАНИЯ ТОННЕЛЯ САМОНЕСУЩИМИ АРМАТУРНЫМИ БЛОКАМИ

А - СЕЧЕНИЕ ТОННЕЛЯ; Б - РАСКЛАДКА УГЛОВЫХ СЕТОК ВДОЛЬ ТОННЕЛЯ; 1- АРМОБЛОК; 2 - УГЛОВАЯ СЕТКА; 3 - СТЫКОВАЯ СЕТКА; 4 - ШОВ БЕТОНИРОВАНИЯ





НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ

- Нагрузки и воздействия по продолжительности их действия на обделки тоннелей следует подразделять согласно [СП 20.13330](#) на постоянные и временные (длительные, кратковременные и особые).
- К постоянным нагрузкам следует относить:
 - давление грунта;
 - гидростатическое давление;
 - собственную массу конструкций;
 - массу зданий и сооружений, находящихся в зонах их воздействия на обделку тоннеля;
 - сохраняющиеся усилия от предварительного -- напряжения конструкции и давления щитовых домкратов.



- К длительным нагрузкам и воздействиям следует относить:
 - силы морозного пучения грунта;
 - массу стационарного оборудования,
 - сезонные температурные воздействия, усадку и ползучесть бетона и некоторые другие воздействия, указанные в [СП 20.13330](#);
 - усилия от предварительного обжатия обделки.

- К кратковременным нагрузкам следует относить:
 - нагрузки и воздействия от внутритоннельного и -наземного транспорта;
- К особым нагрузкам следует относить сейсмические и взрывные воздействия, а также особые нагрузки, указанные в [СП 20.13330](#), которые могут иметь отношение к проектируемому тоннелю.



РАСЧЕТ

- Величины вертикальных и горизонтальных нормативных нагрузок на обделки тоннелей, сооружаемых закрытым способом, следует определять на основании результатов инженерно-геологических изысканий и накопленных экспериментальных данных о нагрузках, полученных при измерениях в аналогичных условиях строительства, с учетом возможности образования в грунтах самонесущего свода, когда (рисунок 1).

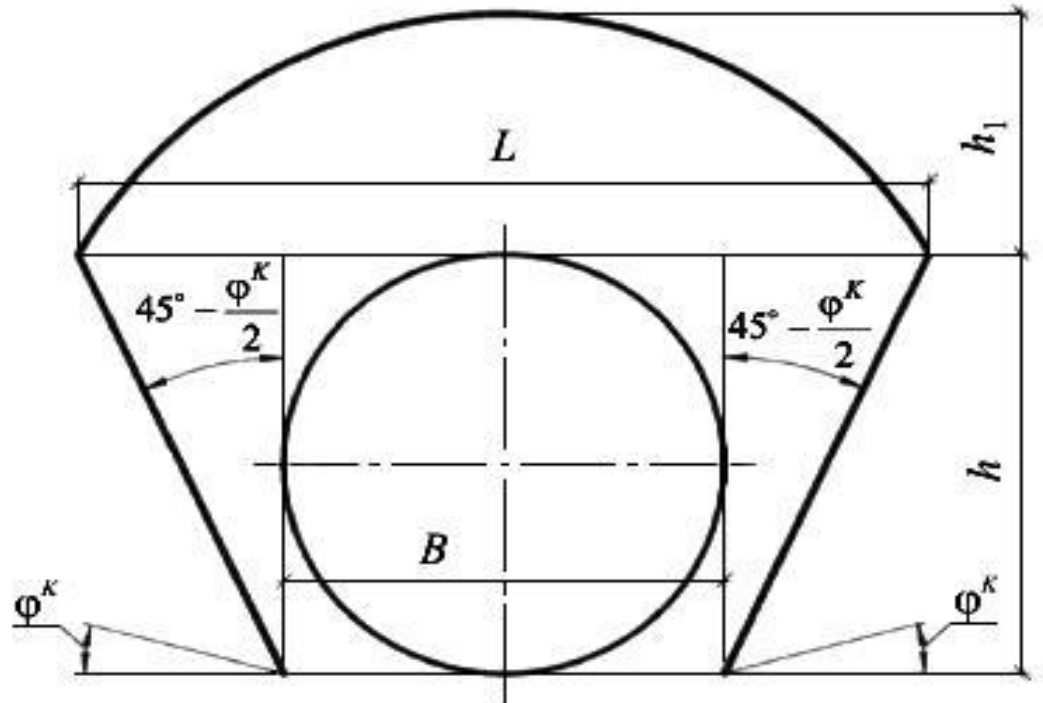


Рисунок 1 - Схема для расчета высоты свода обрушения

5.5.2.4 В неустойчивых грунтах, в которых сводообразование невозможно (водонасыщенные несвязные и слабые глинистые грунты), нагрузки следует принимать с учетом давления всей толщи грунтов над тоннельным сооружением. Нормативные вертикальную и горизонтальную нагрузки q^H и p^H , кН/м², определяют в таких случаях по формулам:

$$q^H = \sum_{i=1}^n Y_i H_i, \quad (5.1)$$

$$p^H = \sum_{i=1}^n Y_i H_i \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi^K / 2), \quad (5.2)$$

где Y_i - нормативный удельный вес грунта соответствующего слоя напластования, кН/м³;

H_i - толщина соответствующего слоя напластования, м;

n - число слоев напластований;

φ^K - кажущийся угол внутреннего трения грунтового массива в пределах сечения тоннельной обделки, градус, принимаемый по опытным данным или определяемый по формуле $\varphi^K = \operatorname{arctg} f$, где f - коэффициент крепости.

5.5.2.5 Нормативные равномерно распределенные нагрузки: вертикальную q^H и горизонтальную p^H , кН/м², в условиях сводообразования определяют по формулам:

$$q^H = \gamma h_1, \quad (5.3)$$

$$p^H = \gamma(h_1 + 0,5h) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi^K/2), \quad (5.4)$$

где h_1 - высота свода обрушения над верхней точкой обделки, м (рисунок 1);

γ - нормативный удельный вес грунта, кН/м³;

h - высота выработки, м;

5.5.2.6 Высоту свода обрушения h_1 над верхней точкой обделки в условиях сводообразования (см. рисунок 1) для нескальных необводненных грунтов определяют по

5.5.2.6 Высоту свода обрушения h_1 над верхней точкой обделки в условиях сводообразования (см. рисунок 1) для нескальных необводненных грунтов определяют по формуле

$$h_1 = \frac{L}{2f}, \quad (5.5)$$

где L - величина пролета свода обрушения, определяемая по формуле

$$L = b + 2htg(45^\circ - \varphi^K/2); \quad (5.6)$$

f - коэффициент крепости по шкале проф. М.М.Протоdjяконова, принимаемый на основании геологических изысканий;

b - величина пролета выработки, м.

а) высоту свода обрушения h_1 над верхней точкой обделки для тоннелей, сооружаемых в глинистых грунтах на глубине более 45 м, принимают с коэффициентом, $K = H/45$, где H - глубина заложения тоннеля от поверхности земли до низа тоннельной обделки, м;

б) при заложении тоннелей в глинистых грунтах, прочность которых уменьшается под влиянием поступающих подземных вод, высоту свода обрушения h_1 увеличивают до 30%.

5.5.2.7 Высоту свода обрушения h_1 над верхней точкой обделки в условиях сводообразования для скальных грунтов определяют по формулам:

а) для скальных грунтов, оказывающих вертикальное и горизонтальное давление:

$$h_1 = \frac{L}{0,2R\alpha}, \quad (5.7)$$

б) для скальных грунтов, оказывающих только вертикальное давление:

$$h_1 = \frac{b}{0,2R\alpha}, \quad (5.8)$$

где R - предел прочности грунта на сжатие "в куске" (образце), МПа;

α - коэффициент, учитывающий влияние трещиноватости массива, принимаемый по таблице 6 исходя из предела прочности грунта на сжатие "в куске" и категории массива по степени трещиноватости, которая определяется в зависимости от трещинной пустотности и густоты трещин (среднего расстояния между трещинами наиболее развитой их системы) по таблице 7 и дополнительных характеристик трещиноватости по [14].

4.10. При расчетах конструкций тоннелей и каналов необходимо учитывать симметричное и одностороннее загрузения их временными вертикальными нагрузками. Расчет следует производить с учетом упругого отпора грунта в вертикальном и горизонтальном направлениях, принимая упругое основание в виде однородной среды, характеризуемой модулем деформации E для грунта ненарушенного сложения (грунта основания) и модулем деформации E для грунта засыпки. Модуль деформации E допускается определять по формуле (6).

4.11. При симметричном загрузении (черт. 4) изгибающий момент в нижнем узле тоннеля M_1 с шарнирным опиранием плит перекрытия следует определять по формуле

$$M_1 = -\frac{1}{1+k} \left[(p_{a1} v_3 + p_{a2} v_1) h_2 + N_1 b k \frac{\psi_n}{\psi_w} \right], \quad (15)$$

где k - коэффициент, учитывающий изменение момента в нижнем узле за счет его поворота:

$$k = \frac{3E_0 I}{\pi E b^2 h} \psi_w, \quad (16)$$

N_1 - нормальная сила (черт. 4, а);

ψ_N, ψ_M - коэффициенты, определяемые по формулам:

$$\psi_n = 0,3(6 + 0,1 \alpha_n), \quad (17)$$

$$\psi_w = 0,2(100 + \alpha_w), \quad (18)$$

здесь α_γ - показатель гибкости днища:

$$\alpha_\gamma = \gamma E b^3 / E_0 I, \quad (19)$$

В формулах (15) - (19) приняты следующие обозначения:

I_γ - момент инерции 1 м сечения днища;

E - модуль деформации грунта основания;

v_3, v_4 - коэффициенты, учитывающие изменение толщины стены по высоте и принимаемые по табл. 3 в зависимости от толщины стены в верхней t_1 и нижней t_2 частях тоннеля.

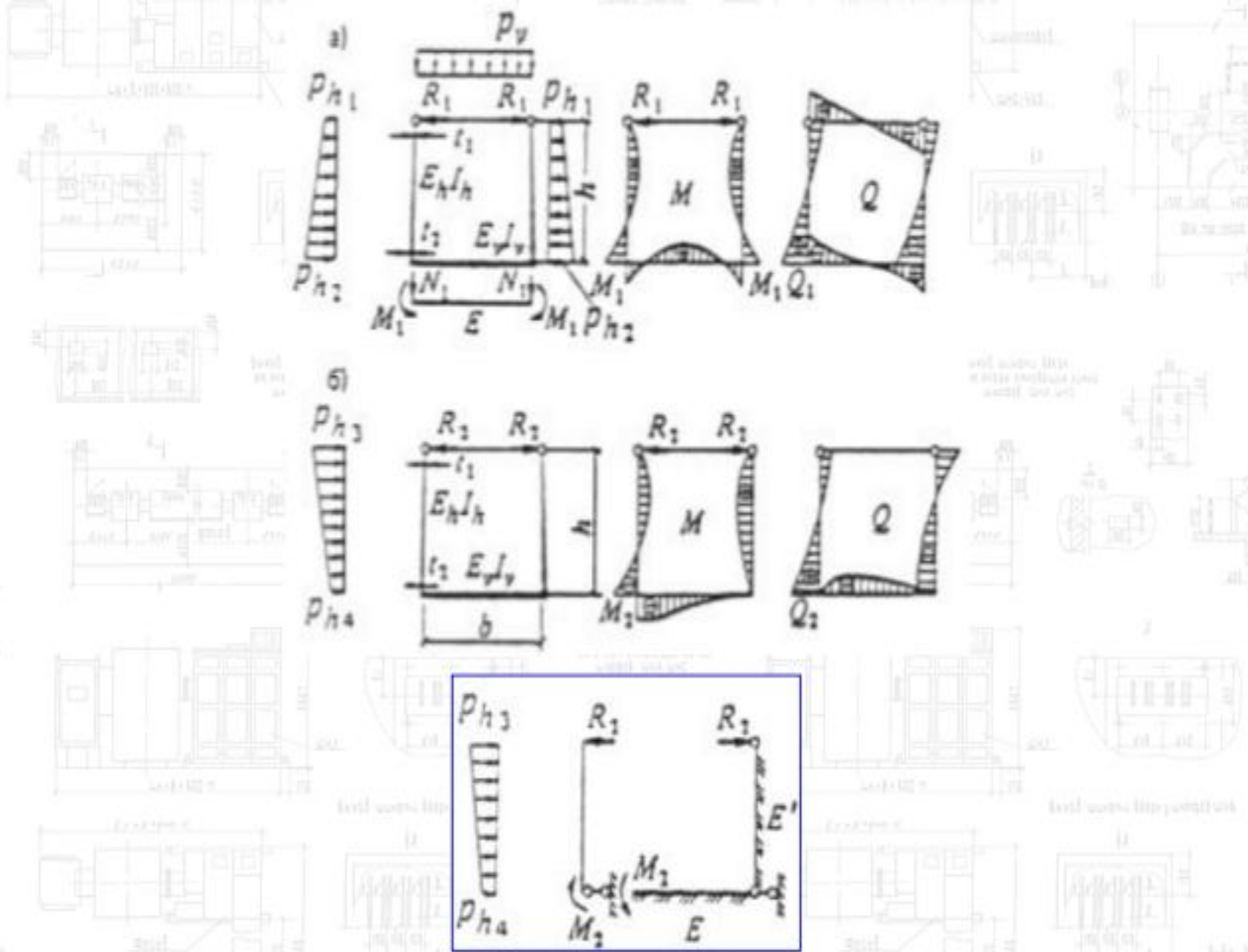
Таблица 3

t_1/t_2	1,0	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
v_3	0,0583	0,0683	0,0753	0,0813	0,0883	0,0993
v_4	0,0667	0,0747	0,0747	0,0837	0,0907	0,0977

Усилия в стене следует определять как для балки, лежащей на двух опорах, с нагрузками p_{h1}, p_{h2} , реакцией на верхней опоре (распорке) R_1 и опорным моментом на нижней опоре M_1 .

Усилие в верхней распорке R_1 определяется по формуле

$$R_1 = -\left(2 p_{h1} + p_{h2}\right) \frac{h}{6} - \frac{M_1}{h}, \quad (20)$$



Черт. 4. Расчетная схема тоннеля с шарнирами в уровне плит перекрытия