

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИИ ТОННЕЛИ МЕТРОПОЛИТЕНА
НЕГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ****THE METHODOLOGY FOR CALCULATING THE DESIGN OF UNDERGROUND
TUNNELS NOT DEEP FOUNDATIONS**

Макалада өтө терең эмес жайгашуучу метрополитендин тоннелин каптоодогу жаңыча конструкция каралат жана ийри сызыктуу ригель менен тургузуучу көтөрүүчү раманын эсептөө ыкмасы келтирилет. Эсептөө курулуш механиканын күч ыкмасы менен жүргүзүлгөн.

Ачык сөздөр: метрополитен, тоннель, арка конструкциясы, кыртыштын жалпайышы, эки ашык-машыктуу жана ашык-машыгы жок арка.

В статье рассматривается новая конструкция тоннельной обделки метрополитена мелкого заложения и приводится методика расчета несущей рамы с криволинейным ригелем. Расчет выполнен методом сил строительной механики.

Ключевые слова: метрополитен, тоннели, арочная конструкция, деформация грунта, двух шарнирная и без шарнирная арка.

The article deals new design of tunnel lining of underground shallow and driven method of calculation of the base frame with a cam bolt . Calculation vyponen by forces of structural mechanics .

Keywords: subway, tunnels, arched structure , deformation of the ground , and without two hinged hinged arch.

В настоящее время крупные зарубежные города перенасыщены автомобильным транспортом, что приводит к загрязнению воздушной среды, заторам уличного движения, возрастанию шума и аварийным ситуациям, вызванными нарушением условий безопасного движения. Такое положение диктует необходимость использования городского подземного пространства под транспортные сооружения и объединенные многоярусные подземные комплексы. Последние включают тоннели, станции и вестибюли метрополитена, автотранспортные и пешеходные тоннели, гаражи и автостоянки, коллекторы городского коммунального хозяйства и др.

Алматинский метрополитен на сегодня имеет 10 станций глубокого заложения с общей протяженностью 10 км.

Первая станция Райымбек находится на поверхности земли а последнее Московская станция на глубине –11 метров.

Глубоко подземное строительство обходится для государства очень дорого. В данный момент планируется продолжение строительства в сторону Калкамана и Вокзал Алматы 1.

По нашему мнению продолжить строительство метрополитена в сторону Аксай и Калкаман более экономичным путем, то есть заложить основы неглубоко под землей, а в сторону Алматы-1 от станции Райымбека полностью вести строительство на поверхности земли.

Нами разработана комбинированная конструкция для прогонной линии метрополитена полуподземного строительства.

Конструкция состоит из двух частей: подпорная стена и арочные покрытия в виде полуцилиндра. Соединение арочной части с подпорной стеной могут быть жесткими или шарнирными. Соответственно арочная часть могут быть двух шарнирной и без шарнирной (Рис.1.а).

На обделку подземного сооружения в основном действуют статические нагрузки от горного давления.

Обнаженные подземной выработкой грунты не только передают на конструкцию горное давление, но и работают с ней совместно, противодействуя деформациям обделки в сторону грунта. Для обеспечения совместной работы необходим плотный контакт между обделкой и грунтом, который достигается, благодаря нагнетанию на конструкцию песчано-цементного раствора.

Способность грунта деформироваться характеризуется модулем общей деформации E_0 и коэффициентом поперечной деформации μ_0 , которые используются в методах расчета подземных конструкций (предложенным проф. С. С. Давыдовым и д-ром техн. наук С. А. Орловым), основанных на применении теории упругости.

До настоящего времени в расчетах подземных конструкций обычно применяется более простой способ оценки упругих свойств грунта, основанный на использовании теории местных деформаций, вытекающей из гипотезы Винклера о прямой зависимости между напряжениями в грунте и её деформациями:

$$\sigma = k \cdot \delta, \quad (1)$$

где k – коэффициент упругого отпора грунта; δ – деформация грунта под действием вдавливающегося в него тела.

Под действием преобладающего вертикального горного давления верхняя часть обделки прогибается во внутреннюю сторону (Рис.1.). Область, в которой деформации конструкции направлены внутрь выработки и не встречают противодействия грунта, называют зоной отлипания. Эта зона определяется центральным углом 2α , который зависит от крепости грунта и упругих свойств обделки. Она находится в пределах от 90 для крепких грунтов до 150 для слабых грунтов.

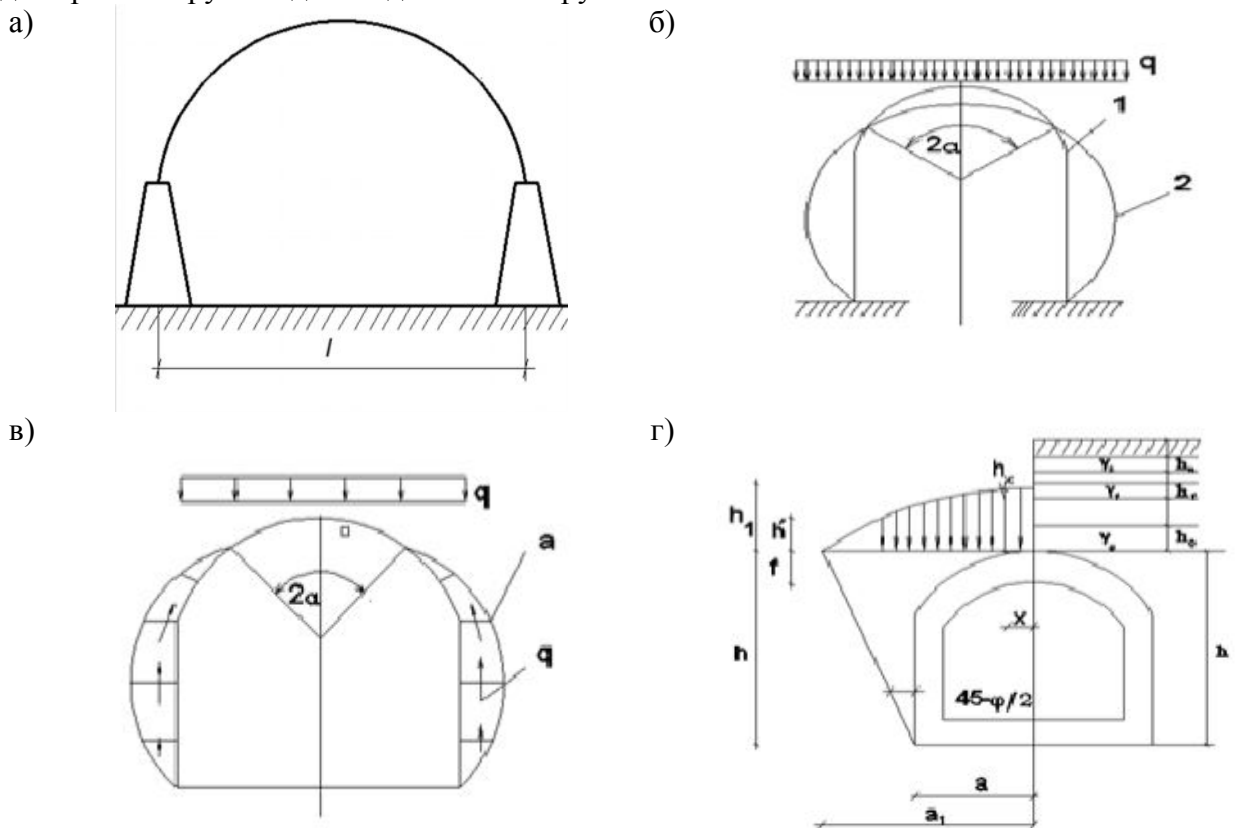


Рис. 1. Схемы деформации и формы тоннельных обделок: б-схема взаимодействия обделки и грунта: 1-зона отлипания; 2-зона упругого отпора; в-схема действия упругого отпора грунта на обделки сводчатого очертания.

Вообще границы между зоной отлипания и зоной упругого отпора, определяемые углом 2α , неизвестны. При расчете тоннельной обделки значением угла 2α задаются и уточняют его значение по результатам расчета, когда появляется возможность определить направление перемещений частей обделки.

Горное давление определяют в зависимости от конкретных условий по теории с водообразования или с учетом веса полного столба вышележащих пород.

Вес грунта, расположенного ниже разгружающего грунтового свода, и является вертикальным горным давлением.

$$q_{zp}^H = \gamma_0 h_x, \quad (2)$$

где $h_x = h_1(1 - x^2/a_1^2)$; $h_1 = a_1 / f_{кр}$; $a_1 = a + htg(45^\circ - \varphi/2)$; $h' = h_1(1 - a^2/a_1^2)$; γ_0 – плотность грунта; φ – угол естественного откоса грунта, град; при расчете на полный столб породы

$$q_{zp}^H = \sum \gamma_i h_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

где γ_i, h_i – плотность и толщина i -го слоя грунта.

Такие тоннели строятся открытым способом, как правило, имеют прямоугольное поперечного сечения. Обычно их проектируют с плоским железобетонным перекрытием ребристого или безбалочного типа, опирающимся на боковые железобетонные стены. При этом возводится средняя стенка с проемами или ряд колонн. Применяют также железобетонные монолитные конструкции в виде замкнутой рамы. Такие тоннели проектируются в основном в слабых грунтах, где горизонтальные давления грунта незначительные.

Учитывая что грунт по трассе Алматинского метрополитена относится к скалистым и по сейсмостойким свойствам к второй категории, мы предлагаем перекрытия прогонной трассы выполнить в виде полуцилиндра.

Выполняем расчет тоннели метрополитена в виде рамы с дугообразным ригелем.

Построим эпюры усилий для арочной двух шарнирной части вертикальными стойками, нагруженной равномерно распределенной вертикальной нагрузкой. Ось арки очерчена по дуге окружности, а жесткость элементов дуги постоянная (Рис. 2.а.).

Заданная система один раз статически неопределима. Для удобства расчетов расчленим эту систему на верхнюю двух шарнирную арку и нижнюю две вертикальной стойки с жестко заземленными концами. Для получения основной системы удалим горизонтальную связь правой шарнирной опоры и по направлению этой связи приложим неизвестную силу X_1 (Рис. 2.б.). Усилия по направлению удаленных шарнирных связей в стойках будут равны и противоположны по направлению соответствующим опорным реакциям арки.

Для определения силы X_1 запишем каноническое уравнение метода сил:

$$X_1 \delta_{11} + \Delta_{1P} = 0.$$

При вычислении коэффициента δ_{11} для криволинейной части используем интеграл Мора, а для прямолинейных – правила Верещагина (Рис. 2.в.);

$$\delta_{11} = \int_0^\pi \frac{\overline{M_1^2} ds}{EI} + 2 \frac{\overline{\omega_1 y_1}}{EI} = \int_0^\pi \frac{\overline{M_1^2} R d\varphi}{EI} + \frac{2 h^3}{3 EI} \quad \overline{X_1} = 1$$

Так как значения изгибающего момента от силы X_1 в произвольном сечении

$$\overline{M_1} = R \sin \varphi$$

криволинейной части, то, учитывая, что $h=2/3R$, получаем

$$\delta_{11} = \int_0^\pi \frac{R^4 \sin^2 \varphi d\varphi}{EI} + \frac{16 R^3}{81 EI} = 1,767 R^3 / (EI)$$

$$\Delta_{1P}$$

Грузовое перемещение в принятой основной системе будет иметь место только в криволинейной части (рис. 2,г). Уравнение изгибающего момента от заданной нагрузки для этой части имеет вид

$$M_p = qR^2(1 - \cos\varphi) - \frac{qR^2}{2}(1 - \cos\varphi)^2 = \frac{qR^2}{2}(1 - \cos^2\varphi)$$

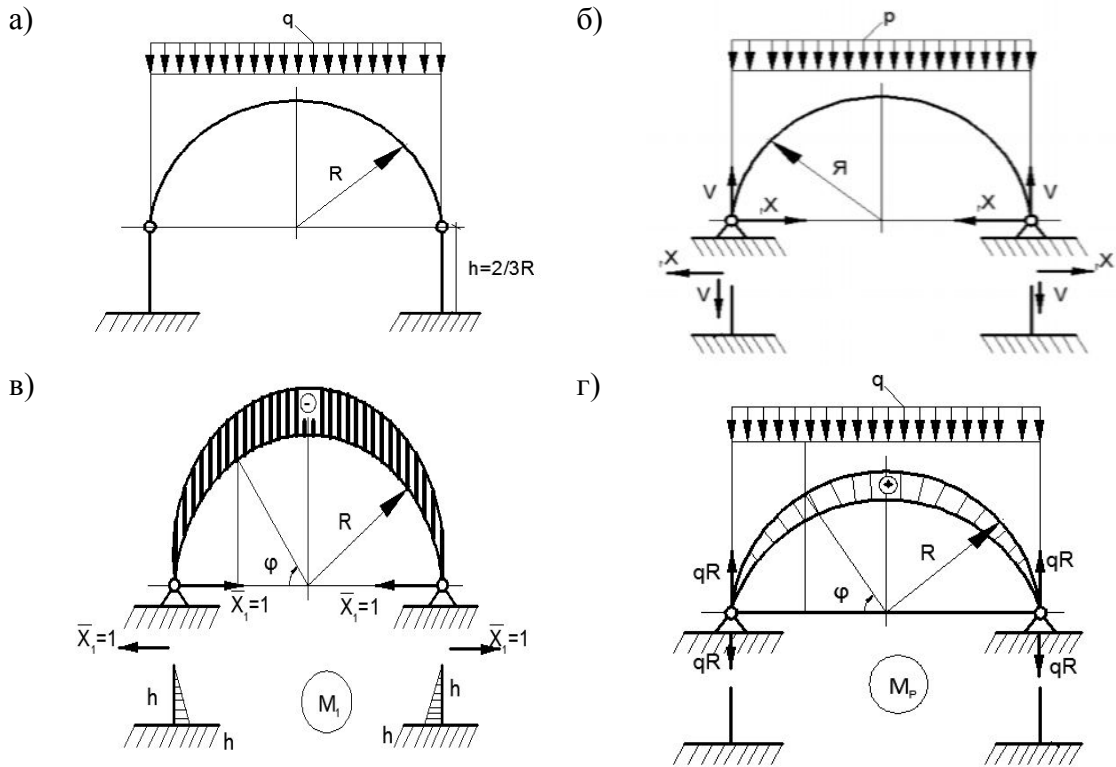


Рис.2. Расчетные схемы двух шарнирной арки со стойкой

тогда $\Delta_{1p} = \int_0^\pi \frac{M_p \overline{M}_1 ds}{EI} = -\frac{qR^4}{2EI} \int_0^\pi (1 - \cos^2\varphi) \sin\varphi d\varphi = -2qR^4 / (3EI)$

Подставляя полученные выражения моментов в каноническое уравнения, определяем неизвестную силу X_I :

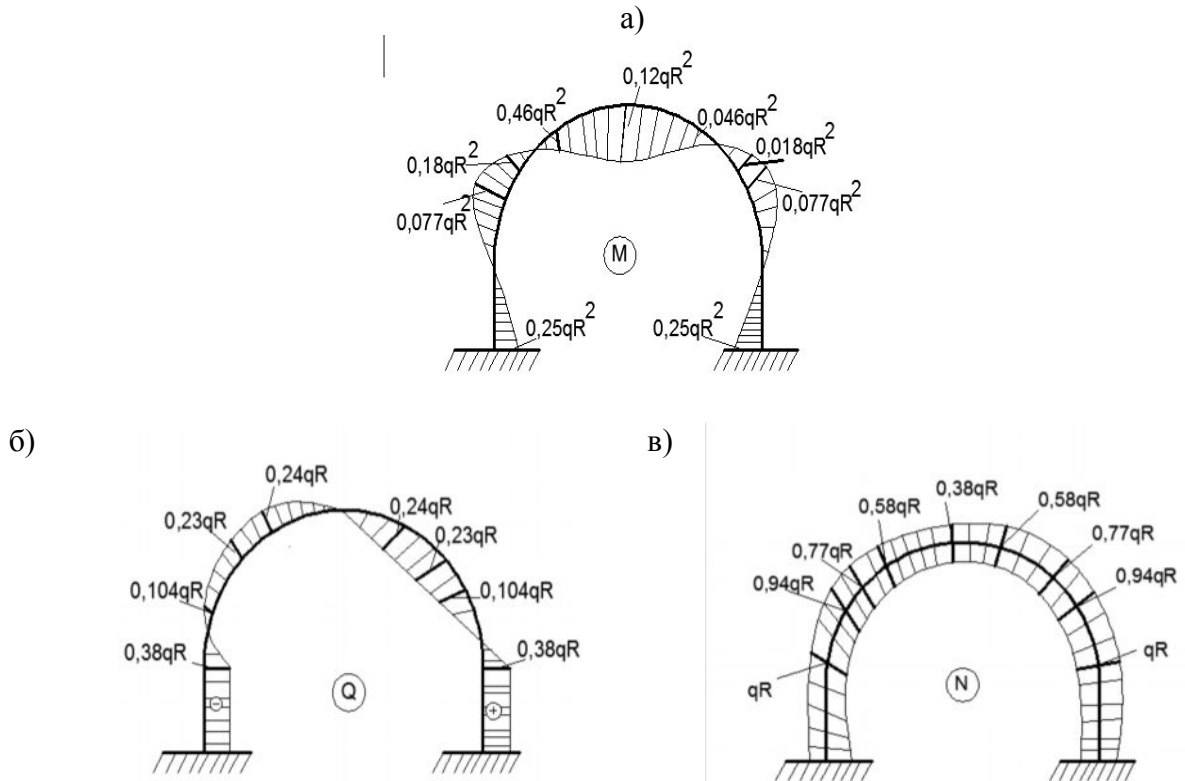


Рис. 3. Окончательные эпюры M, Q, N.

$$X_1 = -\frac{\Delta_{1p}}{\delta_{11}} = \frac{2qR^4 / (3EI)}{1,767 / (EI)} = 0,38qR$$

Прикладываем к общим частям системы полученное значения силы X_1 и составляем уравнение для определения усилий.

Тогда для арки получим:

$$M = M_p - X_1 R \sin \varphi = \frac{qR^2}{2} (1 - \cos^2 \varphi) - 0,38qR^2 \sin \varphi = 0,5qR^2 (\sin^2 \varphi - 0,76 \sin \varphi)$$

$$Q = 0,5qR (\sin 2\varphi - 0,76 \cos \varphi)$$

$$N = -qR (\cos^2 \varphi + 0,38 \sin \varphi)$$

Для стоек (продольную ось стоек обозначим x)

$$M = 0,38qRx \quad Q = -0,38qR \quad N = -qR$$

На основании полученных уравнений строим эпюры усилий, которые приведены на Рис. 3. а,б,в.

Список литературы

1. Фролов Ю.С. Расчет монолитных обделок подковообразного очертания [Текст] / Ю.С.Фролов, Т.В.Иванес. - Л.: 1979.
2. Баклашов И.В., Тимофеев О.В. Конструкция и расчет крепей и обделок [Текст] / И.В. Баклашов, О.В. Тимофеев. - М.: Недра, 1979. – 263 с.
3. Архангельский М.М. Расчет тоннельных обделок [Текст] / М.М.Архангельский, Д.И. Джинчарадзе, А.С.Курисько // Под редакцией проф. М.И.Дандурова. - М.: Трансжелдориздат, 1960. - 344 с.
4. Байнатов Ж.Б. Конструкции и методы расчета тоннельных обделок [Текст]: Учебно-методическое пособие / Ж.Б.Байнатов. - Алматы: 2010.