

**А. Ю. Сорокин,
С. А. Удод,
Н. С. Митина,
Т. В. Копалина**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА ПРИ
ОЦЕНКЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ЗАЩИЩЁННОСТИ
ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТИПА МЕТРО
К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ
ВОЛНЫ**

*Российский Государственный Социальный
Университет
ГБПОУ МО «Колледж “Подмосковье”»
г. Клин*

Аннотация: В работе рассмотрен подход по оценке показателя защищенности подземных сооружений к воздействию воздушной ударной волны, в ключе определения значения пороговой нагрузки конструкций сооружения. Рассмотрены частные случаи состояний обделка-грунт, а также предложены рекомендации для повышения качества оценки защищенности подземного сооружения.

Ключевые слова: подземные сооружения, защищенность, ударная волна, пороговая нагрузка, Московский метрополитен.

ВВЕДЕНИЕ

В целях создания основ для реализации комплексного подхода в области обеспечения безопасности населения и территорий города Москвы от угроз различного характера, Распоряжением Правительства города Москвы от 16.04.2010 № 707-РП [2], утверждена концепция безопасности города Москвы. Среди прочих угроз, в части касающихся Метрополитена, выделена угроза длительных перебоев в работе метрополитена, в масштабах города или на значительной части его территории, возникших в результате террористической деятельности.

В частности для решения вышеприведённой задачи, была разработана методика выбора оптимальных защитных мероприятий для минимизации ущерба в результате взрыва на подземных сооружениях метрополитена [3]. Данная методика позволяет приблизиться к решению задач изложенных в [7], по средствам повышения уровня защищенности объектов в соответствие с [6], на метрополитенах. Разработанные в рамках данной методики алгоритмы оценки показателей устойчивости и защищенности учитывают давление грунта на подземные сооружения и рассчитывают его на основе метода Протодьяконова [5].

В работе [4] так же рассматривается давление грунта, которое по условию методики, полностью передаётся на обделку подземного сооружения. Однако, как показывается практика, такое теоретическое допущение, требует дополнительного уточнения и раскрытия частных случаев.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Оценка устойчивости сооружений, построена на отношении пороговой нагрузки конструкции сооружений к воздействию поражающему фактору.

$$g = \frac{P_i}{P_j}, \text{ где:} \quad (28)$$

g — показатель устойчивости;

P_i — значение пороговой нагрузки на конструкцию сооружения;

P_j — значение нагрузки поражающего фактора (избыточное давление воздушной ударной волны).

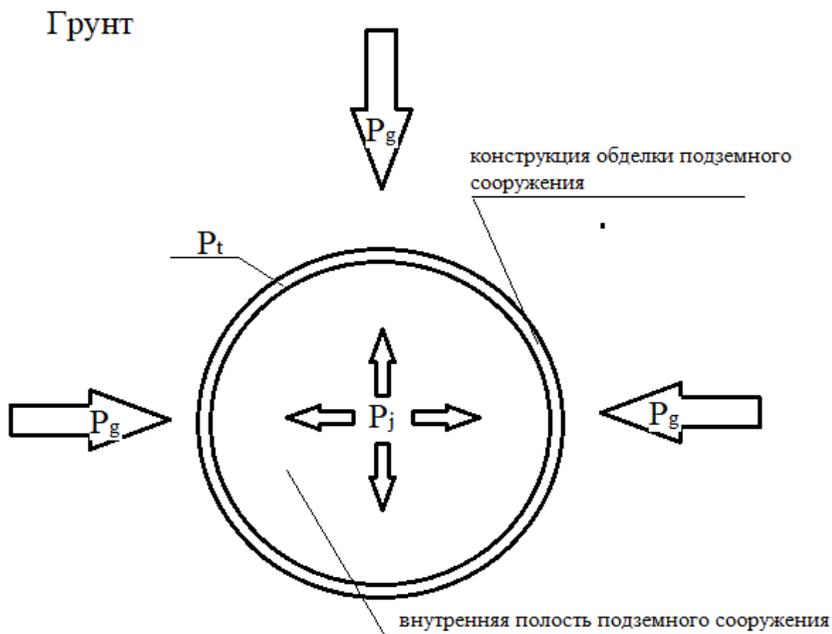


Рисунок 10 – Схема действия различных нагрузок на конструкцию подземного сооружения при взрыве в полости сооружения

В силу того, что поражающий фактор в рассматриваемом случае нагружает конструкцию изнутри, а давление грунта действует снаружи (Рисунок 10), значение пороговой нагрузки конструкции сооружений принимается как:

$$P_i = P_g + P_t, \text{ где:} \quad (29)$$

P_i — значение пороговой нагрузки конструкции сооружений;

P_t — значение пороговой нагрузки элемента конструкции;

P_g — значение горного давления в выбранной области.

Таким образом, для качественной оценки показателя устойчивости, возникает необходимости качественной оценки значения давления грунта действующего на конструкцию обделки подземного сооружения.

КЛАССИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

В решении задачи определения горного давления предполагается две ситуации:

1. В случае не образования самонесущего свода;
2. В случае образования самонесущего свода.

Для первого случая, поскольку с поверхности земли обычно залегают слои разнородных грунтов, то вертикальное давление от веса всей толщи определяют послойным суммированием [1]:

$$P_g = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i, \text{ где:} \quad (30)$$

P_g – вертикальное давление грунта;

γ_i – плотность грунта соответствующего слоя;

h_i – высота соответствующего слоя.

Горизонтальное давление грунта принимается равномерно распределенным по высоте подземного сооружения и рассчитывается:

$$P_z = \left(P_B + \frac{1}{2} \gamma h \right) \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{f}{2} \right), \text{ где:} \quad (31)$$

f – угол горизонтальной подвижки грунта.

Для второго случая, прежде всего, необходимо рассчитать параметры самонесущего свода и определить его высоту. Для этого необходимо воспользоваться графическим методом (Рисунок 11). От вертикальных касательных к контуру тоннеля откладываются наклонные линии под углом $45^\circ - f/2$. Точки пересечения этих линий с горизонтальной касательной к кровле выработки являются концами ширины свода обрушения $2b$. При большой глубине заложения тоннеля высота свода обрушения определяется выражением $h = b/k$, где k – коэффициент крепости породы по классификации Протодяконова. Для сыпучих и слабых связных грунтов он определяется как тангенс угла внутреннего трения $k = \operatorname{tg} \phi$, а для скальных пород с $k > 5$ его величина принимается равной $k = 0,01R_{сж}$, где $R_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие [4].

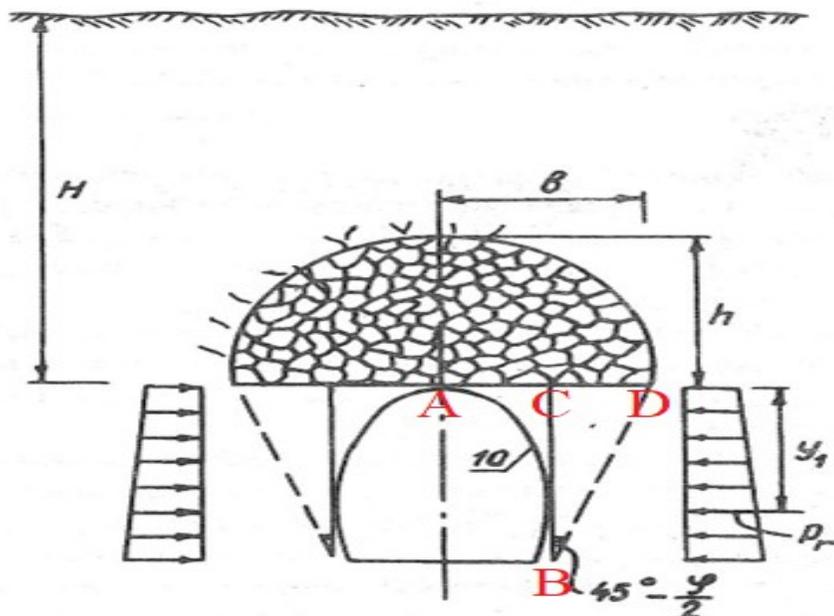


Рисунок 11 – Графическое построение самонесущего свода

Размер касательной **BC** к краю сооружения равняется внешнему диаметру. Посчитав угол **B**, возможно рассчитать сторону **CD**. **AC** равняется внешнему радиусу тоннеля. Далее для расчёта вертикального давления возможно воспользоваться формулой (28), только вместо глубины залегания необходимо подставить высоту самонесущего свода.

Расчёт горизонтального давления принимается в данном случае следующим вид:

$$P_2 = y(h_n + x) \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{f}{2} \right), \text{ где:} \quad (32)$$

h_n – приведённая высота слоя породы оказывающего такое же давление на бока тоннеля, как и вес породы в пределах свода обрушения, имеющего на единице длины тоннеля объём V .

$$h_n = \frac{V}{2b}, \text{ где:} \quad (33)$$

x – вертикальное расстояние от верха тоннеля до уровня, в котором определяется горизонтальное давление.

ДАВЛЕНИЕ ГРУНТА ПРИ ОЦЕНКЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Классический метод определения горного давления может быть использован для расчётов показателя устойчивости в тех случаях, когда грунт полностью прилегает к обделке подземного сооружения. В случаях же, когда между обделкой и грунтом существуют пустоты или зазоры, определение пороговой нагрузки конструкции сооружений может весьма осложниться.

Для рассмотрения данного факта, стоит проанализировать процесс строительства подземных сооружений. Как известно, они могут строиться открытым или закрытым способом [6]. При строительстве открытым способом, к примеру «Стена в грунте», боковое пространство между обделкой и грунтом засыпают мелкозернистым песком. Далее происходит засыпание грунта сверху. Такой метод исключает возможность образования статических пустот.

В случае строительства закрытым способом, к примеру «щитовой проходкой», возникновение зазоров и пустот вполне возможно. Щит при проходке в буквальном смысле «выгрызает» тоннель в грунтовом массиве. Если обратиться к классификации горных пород по Протодяконову [6] (Таблица 6), возможно по коэффициенту крепости определить вероятность наличия пустот и зазоров.

Таблица 6 – Классификация горных пород по крепости М. М. Протодяконова

Категория пород	Степень крепости	Породы	Коэффициент крепости, f
I	В высшей степени крепкие	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты и базальты. Исключительные по крепости другие породы	20
II	Очень крепкие	Очень крепкие гранитные породы. Кварцевый порфир, очень крепкий гранит, кремнистый сланец. Менее крепкие, нежели указанные выше кварциты. Самые крепкие песчаники и известняки	15
III	Крепкие	Гранит (плотный) и гранитные породы. Очень крепкие песчаники и известняки. Кварцевые рудные жилы. Крепки конгломерат. Очень крепкие железные руды	10
IIIa	Крепкие	Известняки (крепкие). Некрепкий гранит.	8

А. Ю. Сорокин, С. А. Удод, Н. С. Митина, Т. В. Копалина Определение давления грунта при оценке показателя защищённости подземных сооружений типа метро к воздействию воздушной ударной волны

Категория породы	Степень крепости	Породы	Коэффициент крепости, f
		Крепкие песчаники. Крепкий мрамор. Доломит. Колчеданы	
IV	Довольно крепкие	Обыкновенный песчаник. Железные руды	6
IVa	Довольно крепкие	Песчаные сланцы. Сланцевые песчаники	5
V	Средней крепости	Крепкий глинистый сланец. Некрепкий песчаник и известняк, мягкий конгломерат	4
Va	Средней крепости	Разнообразные сланцы (некрепкие). Плотный мергель	3
VI	Довольно мягкие	Мягкий сланец, очень мягкий известняк, мел, каменная соль, гип. Мёрзлый грунт, антрацит. Обыкновенный мергель. Разрушенный песчаник, цементированная галька, каменистый грунт	2
VIa	Довольно мягкие	Щебенистый грунт. Разрушенный сланец, слежавшаяся галька и щебень. Крепкий каменный уголь. Отвердевшая глина	1,5
VII	Мягкие	Глина (плотная). Мягкий каменный уголь. Крепкий насос, глинистый грунт	1
VIIa	Мягкие	Лёгкая песчаная глина, лёсс, гравий	0,8
VIII	Землистые	Растительная земля. Торф. Лёгкий суглинок, сырой песок	0,6
IX	Сыпучие	Песок, осыпи, мелкий гравий, насыпная земля, добытый уголь	0,5
X	Плывучие	Плывуны, болотистый грунт, разжиженный лёсс и другие разжиженные грунты	0,3

Чем выше показатель прочности породы, тем выше вероятность возникновения различных сколов и неровностей при щитовой проходке. В силу того, что порода прочная, с течением времени она не будет давать усадку на обделку подземного сооружения. В связи с данным фактом, на этапе строительства, для обжатия обделки обычно производят заполнение обделочного пространства цементными растворами. Но, как показывает практика, данные работы не всегда имеют высокий показатель качества.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЗНАЧЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ДЕЙСТВУЮЩЕГО НА ОБДЕЛКУ КОНСТРУКЦИИ СООРУЖЕНИЯ, ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ

Таким образом, для качественной оценки устойчивости и защищенности подземного сооружения к воздействию воздушной ударной волны предлагаются следующие практические рекомендации:

1. Установить способ строительства оцениваемого сооружения. В случае строительства открытым способом, для определения значения горного давления действующего на подземное сооружение, возможно пользоваться классическим методом (формулы 30-33). В случае строительства закрытым способом, следовать согласно следующим пунктам рекомендаций.

2. Определить тип грунта, в котором залегает подземное сооружение. Данную информацию возможно получить из проектной документации подземного сооружения.

3. Определить показатель прочности грунта по таблице крепости пород М.М. Протодяконова (Таблица 6);

4. При показателе крепости ≤ 4 , возможно считать, что примыкание грунта полное. Так как такие грунты будут давать значительную усадку. Следовательно, возможно использовать классический метод (Формулы 30-33);

5. При показателе крепости > 4 , необходимо произвести обследование за обделочного пространства. Обследование и оценка состояния грунт-обделка осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 57208-2016 «Тоннели и метрополитены. Правила обследования и устранения дефектов и повреждений при эксплуатации».

6. В случае неполного примыкания обделки к грунту, необходимо определить высоту зазора, так как при действии взрывной нагрузки конструкция будет выгибаться в сторону грунта. Если высота зазора меньше высоты порогового прогиба или деформации элемента конструкции, тогда давление грунта может быть учтено по классической методике. В случае если величина зазора больше высоты порогового прогиба или деформации элемента конструкции, то характеристиками грунта в оценке устойчивости и защищенности можно пренебречь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, рассмотренный материал заполняет пробелы в разработке методического аппарата для оценки защищенности подземных сооружений метрополитена к воздействию воздушной ударной волны.

Частные случаи состояний грунт-обделка, ведут к необходимости разработке соответствующих математических алгоритмов оценки поведения конструкций сооружения при статической и импульсной нагрузке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Картопольцев В. М., Картопольцев А. В. Тоннели. Изд. 2-е, перераб. и дополн. — Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2017. — 300 с.
2. Распоряжением Правительства города Москвы от 16.04.2010 № 707-РП.
3. Сорокин А. Ю. Методика выбора оптимальных защитных мероприятий, для минимизации ущерба в результате взрыва на подземных сооружениях типа метро. Безопасность и охрана труда — 2018: Труды международной молодежной конференции (Москва, 11-14 декабря 2018 г.) — М.: Издательский дом МЭИ 2018 С. 125 — 129.
4. Сорокин А. Ю. Методика оценки защищенности перегонного тоннеля метрополитена из чугунно-тюбинговой обделки к воздействию воздушно-ударной волны. Вестник НЦ БЖД. — 2018. — № 4(38). — С. 116-125.
5. Сушкевич Ю. И. Тоннели метрополитенов: устройство, эксплуатация и ремонт/Справочно-учебное пособие, Междунар. ассоц. "Метро". — Москва: "Метро и тоннели", 2009. — 463 с.
6. Указ Президента Российской Федерации № 12 от 11 января 2018 года. Основы государственной политики в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года.
7. Федеральный закон от 12 февраля 1998 г. № 28-ФЗ. О гражданской обороне.

