

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ТОННЕЛЕ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

*Андреюк Никита Евгеньевич, студент 4-го курса
кафедры «Мосты, тоннели и подземные сооружения»
Дальневосточный государственный университет
путей сообщения (ДВГУПС), г. Хабаровск
(Научный руководитель – Квашук С.В., доктор
геолого-минералогических наук, профессор)*

Сихотэ-Аленькая горно-складчатая система расположена в составе инженерно-геологического региона юга Дальнего Востока России, и замыкается на восточном побережье Восточно-Сихотэ-Алиньский вулканогенной зоной [1].

Район Кузнецовского перевала сложен меловыми осадочными и вулканогенными породами. В основании разреза лежат дислоцированные алевролиты, выход которых на дневную поверхность откартирован над западным порталом Кузнецовского тоннеля – терригенное основание. На алевролитах залегают андезито-базальты и их лавобрекчии, покровы которых слагают толщу мощностью до 300 м и занимают около половины площади района.

Терригенное основание представлено чередованием ритмично переслаивающихся пачек параллельно слоистых (иногда косослоистых) песчаников с мощностью прослоев от 5-30 мм до 200-400 мм и слоистых алевролитов. Периодически в их толще отмечаются пропластки мелкозернистых песчаников мощностью до 40 м и черных массивных алевролитов мощностью до 30 м и, разделенных разрывными нарушениями [2].

Инженерно-геологические условия района тоннеля характеризуются как сложные.

Породы, вмещающие тоннель, классифицируются как прочные и очень прочные, очень плотные. Наибольшие значения предела прочности на сжатие наблюдаются у алевролитов, а наибольшие значения предела прочности на растяжение у песчаников. Большая часть трассы тоннеля находится в трещиноватых и сильнотрещиноватых горных породах.

Именно высокая степень трещиноватости песчаников объясняет их пониженную прочность. Интервал значений плотности пород имеет значения от 2,63 до 2,72 г/см³. Оценка крепости породы тоннеля по шкале

М.М. Протодьяконова относит их к 1-3 категориям от высшей степени крепости до крепких.

Территория района пересекается протяженными, длиной до 10 км и более, уходящими за пределы района тектоническими нарушениями субширотного простирания. Кроме них, в районе проявлены менее протяженные разрывы субмеридионального, северо-восточного и северо-западного простирания. Субширотном, северо-западные и субмеридиональные разрывы отчетливо выражены в рельефе, что свидетельствует об их современной активности. Разрывы эти являются частью системы разрывов такого же простирания, расположенных, и к северу, и к югу от тоннеля, и будучи активными, представляют опасность не только для тоннеля, но и для всего участка дороги между широтами ст. Сихотэ и ст. Соллу.

Физико-механические свойства горных пород закономерно меняются при переходе от монолитного состояния к тектонически-трещиноватому. К примеру, у песчаника, не ослабленного трещинами, предел прочности на сжатие, составляет 160 МПа, у трещиноватого 45 МПа.

По оси тоннеля авторами выделено 16 участков с различными горно-геологическими условиями.

Их многообразие диктует необходимость точной оценки инженерно-геологических условий в пределах каждого участка и последующей оценки величины горного давления.

На 1 участке протяжённостью примерно 200 м инженерно-геологические условия характеризуется: по трещиноватости – от сильно трещиноватых до раздробленных; по устойчивости – от средней устойчивости до неустойчивых. Так же присутствуют зоны тектонических нарушений.

На 2 участке протяжённостью в районе 250 м: от сильно трещиноватых до трещиноватых; от средней устойчивости до неустойчивых; с зонами тектонических нарушений.

На 3 участке протяжённостью приблизительно 100 м: от сильно трещиноватых до раздробленных; со слабой устойчивостью; с послойным скольжением.

На 4 участке протяжённостью 130 м: от трещиноватых до слабо трещиноватых; от устойчивых до средней устойчивости.

На 5 участке протяжённостью примерно 370 м: трещиноватые; со средней устойчивостью. В интервалах зон тектонических разломов сильно трещиноватые до раздробленных, неустойчивые.

На 6 участке протяжённостью в районе 200 м: трещиноватые; от устойчивых до средней устойчивостью.

На 7 участке протяжённостью приблизительно 300 м: от трещиноватых до сильно трещиноватых; от устойчивых до средней устойчивости, в зонах тектонических разломов неустойчивые.

На 8 участке протяжённостью примерно 400 м: от трещиноватых до сильно трещиноватых; средней устойчивости, в зонах повышенной трещиноватости неустойчивые.

На 9 участке протяжённостью примерно 350 м: от трещиноватых до сильно трещиноватых; от устойчивых до средней устойчивости, в зонах повышенной трещиноватости неустойчивые.

На 10 участке протяжённостью 130 м: от трещиноватых до сильно трещиноватых; средней устойчивости.

На 11 участке протяжённостью в районе 250 м: от трещиноватых до сильно трещиноватых; средней устойчивости.

На 12 участке протяжённостью примерно 240 м: от трещиноватых до сильно трещиноватых; от устойчивых до средней устойчивости, в зонах повышенной трещиноватости неустойчивые.

На 13 участке протяжённостью 600 м: от трещиноватых до сильно трещиноватых; от устойчивых до средней устойчивости.

На 14 участке протяжённостью приблизительно 200 м: породы средней прочности, трещиноватые, средней устойчивости.

На 15 участке протяжённостью примерно 100 м: от трещиноватых до сильно трещиноватых; от устойчивых до средней устойчивости.

На 16 участке протяжённостью в районе 100 м: от трещиноватых до сильно трещиноватых; средней устойчивости.

Итого, наиболее нарушенными являются участки первых 1500 метров тоннеля и последние 400 метров условного пикета. Это связано с широким распространением разрывных нарушений и активным воздействием агентов выветривания, вследствие меньшей глубины выработки в сравнении с другими участками. Средние значения физико-механических свойств горных пород приведены в таблице 1.

Для каждого участка произведен расчет горного давления по указанной методике.

Главной задачей статического расчёта конструкций тоннельной обделки является оценка их несущей способности. В основу этой оценки положен расчёт обделок по предельным состояниям.

Для этого необходимо определить напряжённо-деформированное состояние конструкции, то есть рассчитать величины внутренних усилий и деформаций в обделке. Полученные величины этих усилий сравниваются с предельно допустимыми, т.е. Оценивается прочность наиболее напряжённых

сечений обделки, а в ряде случаев и устойчивость формы конструкции. Выбор и обоснование расчётной схемы – первый важнейший этап расчёта.

Таблица 1 – Физико-механические свойства горных пород, вмещающих тоннель

Физико-механические свойства/ горные породы	Плотность, т/м ³	Пределы прочности пород, МПа на			Модуль упругости МПа*10 ⁴	Модуль деформации, МПа*10 ⁴	Коэффициент крепости
		сжатие в сухом состоянии	сжатие в водо-насыщенном состоянии	Растяжение			
Песчаники	2,662	185,78	121,53	12,37	1,242	1,44	8,579
Песчаники с прослоями алевролитов	2,649	77,13	75,01	5,83	1,044	1,19	7,71
Переслаивание алевролитов и песчаников	2,633	105,82	152,39	6,87	1,213	1,336	10,58
Алевролиты	2,652	112,87	52,797	9,47	1,237	1,536	11,29
Седиментационные брекчии	2,642	104,029	70,85	8,87	1,038	1,408	10,4
Туф андезита	2,715	89,13	75,5	8,47	1,403	1,417	8,91
Туф риолита	2,676	80,23	47,08	4,65	1,153	1,157	8,02

Авторами произведена оценка величины горного давления и его изменения по оси тоннеля в зависимости от глубины заложения, состава горных пород, их трещиноватости, блочности в соответствии гипотезе сводообразования М.М. Протодьяконова.

В её основе лежит предположение о том, что по мере обрушения частиц или блоков грунта в выработку постепенно изменяется её очертание: бока выработки сползают, а в кровле образуется свод естественного равновесия параболического очертания.

Расчёт конструкций обделок производится на наиболее невыгодное, но реальное, сочетание нагрузок и воздействий, которые могут действовать одновременно при строительстве или эксплуатации сооружения. При этом рассматриваются основные и особые сочетания нагрузок.

Основные сочетания состоят из постоянных нагрузок и воздействий (нагрузок от горного давления, наружного гидростатического давления, собственного веса конструкции и насыпного грунта); длительно действующих временных нагрузок (нагрузок от температурных деформаций, от усадки бетона и др.) и кратковременных нагрузок (от веса транспортного и монтажного оборудования, нагнетания раствора за обделку и т.п.).

Особые сочетания состоят из постоянных нагрузок и воздействий, наиболее вероятных временных и одной из особых нагрузок (сейсмического или взрывного воздействия; нагрузок, вызванных неравномерными деформациями основания и т.п.).

Нагрузки от горного давления являются главным внешним силовым фактором. При расчёте конструкций, работающих в режиме заданных нагрузок, величина нагрузки от горного давления определяется как вес грунта в объёме возможной зоны разрушения грунта в окрестности незакреплённой выработки и, в значительной степени, зависит от несущей способности вышележащих грунтов.

В основе гипотезы сводообразования М.М. Протодяконова лежит предположение о том, что по мере обрушения частиц или блоков грунта в выработку постепенно изменяется её очертание: бока выработки сползают, а в кровле образуется свод естественного равновесия параболического очертания.

Значение нормативных равномерно распределённых вертикальной и горизонтальной нагрузок от горного давления в условиях сводообразования для однородной толщи грунта определяют по следующим формулам:

Вертикальное горное давление: $q^H = \gamma h_B$,

Горизонтальное горное давление: $p^H = \gamma * ((h_B + 0,5 * h) * \text{tg}^2(45^\circ - \phi/2))$,

Величину пролёта в условиях сводообразования определяют по формуле:

$$L = B + 2 * h * \text{tg}^2(45^\circ - \phi/2),$$

Высота свода обрушения при расположении тоннеля в не скальных неоднородных грунтах (крупнообломочных, глинистых, песчаных) при глубине заложения тоннеля менее 45 м определяется по формуле:

$$h_B = L / (2 * f),$$

Высоту свода обрушения грунта для тоннелей, сооружаемых в глинистых грунтах на глубину более 45 метров, следует принимать с коэффициентом:

$$K = H / 45$$

где H – глубина заложения тоннеля от поверхности земли до низа обделки в метрах.

Для скальных грунтов, оказывающих вертикальное и горизонтальное горное давление высота свода обрушения определяется по формуле:

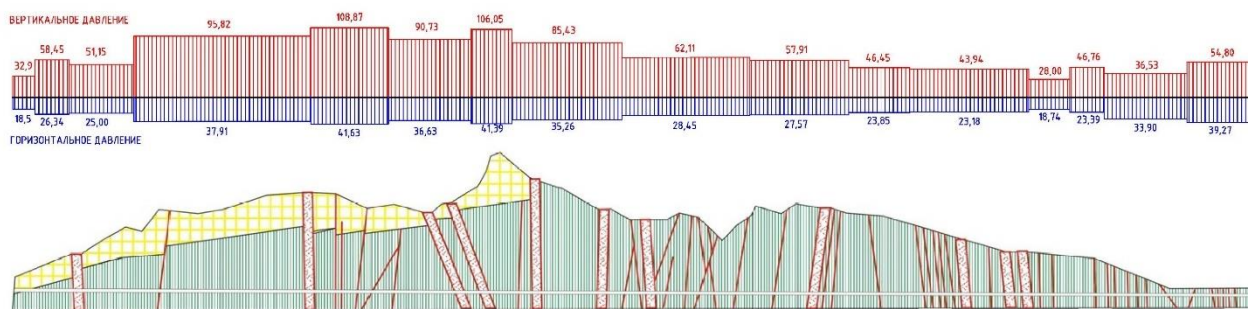
$$h_B = L / (2 * f * a) = L / (0,2 * R * a * K),$$

где f – расчётный коэффициент крепости грунта; R – предел прочности грунта одноосное сжатие в образце, Мпа; K – коэффициент структурной нарушенности, принимаемый в зависимости от категории грунтов по трещиноватости; a – коэффициент, учитывающий неблагоприятные факторы.

При высоте свода обрушения скального грунта менее 1/6 его пролёта расчёт подземных конструкций следует выполнять на воздействие вывалов. Для крепких скальных грунтов, оказывающих вертикальное, но не оказывающих горизонтальное давление высота свода обрушения определяется по формуле:

$$h_B = B / (2 * f * a) = B / (0,2 * R * a * K),$$

Результат расчёта был выполнен в виде эпюры вертикального и горизонтального горного давления и приведён на рисунке 1.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ



Рисунок 1 – Эпюра вертикального и горизонтального горного давления

Полученные результаты крайне необходимы для расчета сечения и материала обделки, назначения ее оптимальной конструкции.

Литература:

1. Инженерная геология СССР. Т.4 : Дальний Восток / под ред. Е.Г. Чаповского. – М.: Изд-во МГУ, 1977, 501 с.
2. Квашук, С.В. Инженерно-геологические и гидрогеологические условия проектируемого Кузнецовского тоннельного перехода (северный Сихотэ-Алинь) [Текст] / С.В. Квашук, В.В. Кулаков. // Международная научно-техническая конференция «Тенденции и перспективы развития гидрогеологии и инженерной геологии в современных экономических условиях России». 5-6 декабря 2006 г. XII научные чтения имени профессора Н.И. Толстихина. Санкт-Петербург, 2006.
3. Злобин Г.А., Кулаков В.В. Гидрогеологическая обстановка Кузнецовского тоннеля (северный Сихотэ-Алинь) [Текст] / Г.А. Злобин, В.В. Кулаков // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, 2014, № 4, с. 304–316
4. Квашук, С.В. Анализ инженерно-геологических условий Кузнецовского тоннеля и их прогноз для строительства второй очереди [Текст] / С.В. Квашук, Г.А. Злобин // Проблемы комплексного освоения георесурсов: материалы IV Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых (Хабаровск, 27-29 сентября 2011 г.). В 2 т. – Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2011. – Т.1. – С. 45-51
5. Квашук, С.В. Геодинамические проблемы при транспортном освоении Дальнего Востока России [Текст] / Квашук С.В., Колтун П.А., Злобин Г.А.// Превентивные геотехнические меры по уменьшению природных и техногенных бедствий: сборник трудов IV Международного геотехнического симпозиума (26-29 июля 2011 г.; Хабаровск, Россия, ДВГУПС)/ под ред. С.А. Кудрявцева и А.Ж. Жусупбекова. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2011. – С. 320-324.