

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СКАЛЬНОГО МАССИВА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТУННЕЛЕЙ ВСЛЕДСТВИИ ДЛИТЕЛЬНОГО РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Тоирзода С.Т.^{1*}, Носиров Н.К.¹

¹Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана

*Адрес-корреспондент: E-mail: avliyoqulov97@mail.ru

Аннотация. Инженерно - геологические условия эксплуатации левобережных строительных туннелей СТ-1 и СТ-2 во многом определяются особенностями геологического строения вмещающего горного массива. С целью получения необходимой информации о состоянии вмещающего массива строительных туннелей после длительной эксплуатации работавших в щадящем режиме, были проведены работы по определению упругих и деформационных характеристик массива комплексом геофизических методов. В статье рассматривается обработка материалов геофизических исследований позволяющие определять упругие и деформационные характеристики свойств сохранившегося массива, зон разгрузки и зон тектонических нарушений для различных инженерно – геологических элементов.

Ключевые слова: строительные туннели, массив, геофизика, разгрузка, сейсмическое профилирование, ультразвуковой каротаж, просвечивание, песчаник, алевролит.

Введение. В состав левобережных строительных туннелей 1–го и 2–го яруса входят входные оголовки (порталы), подводящий напорный участок, затворный узел с сопрягающими участками; низовой безнапорный участок, сопрягающийся с отводящими туннелями ГЭС; вспомогательный туннель. Туннели имеют корытообразную форму поперечного сечения, абсолютные отметки входного портала туннеля первого яруса 990,00 м, второго – 999,00 м [1, 2].

Оба левобережных строительных туннеля пройдены субпараллельно друг другу и в направлении с севера на юг пересекают соленосные и гипсоносные красно – коричневые аргиллиты гаурдакской свиты верхней юры (J3gr) мощностью 17 – 20 м и континентальные нижнемеловые отложения (K1) общей мощностью около 840 м, представленные песчаниками (кызылташская K1kz, верхнеобигармская K1ob2, каракузская K1kg свиты) и алевролитами (нижеобигармская K1ob1) [1, 2].

При длительной эксплуатации подземных сооружений и гидротехнических

туннелей могут формироваться объёмные зоны растягивающих напряжений в песчаных породах, разнонаправленные растягивающие напряжения и усиление процесса релаксации самонапряжённого состояния в алевролитовых массивах [3 - 6].

В 2005 г., после возобновления работ, на участке подземных сооружений был выполнен комплекс геофизических исследований с применением сейсмических и ультразвуковых методов [7 - 10]. В частности, было проведено сейсмическое просвечивание между ПК 0+10-0+60 транспортного туннеля Т-8 и ПК 3+70-4+30 строительного туннеля СТ-2. Результаты этих исследований представлены на рисунке 1.

Изучены породы кызылташской свиты. По данным сейсмического просвечивания в субвертикальной плоскости скорость продольных волн сейсмического диапазона изменяется в пределах 3,0 – 5,0 км/с. Видимая величина зоны разгрузки со стороны строительного туннеля составляет около 7 м, в полу Т-8 – около 1,5 м.

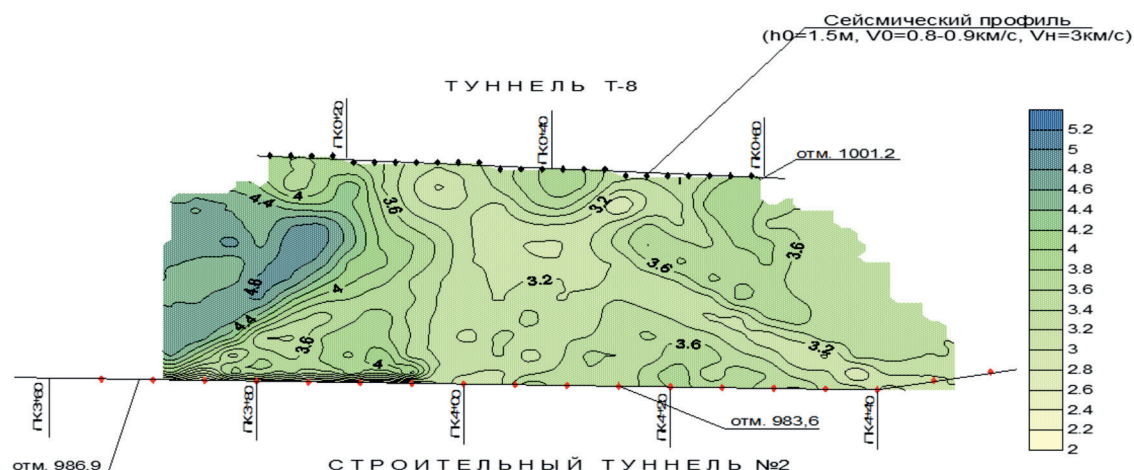


Рисунок 1. Результаты сейсмического просвечивания между транспортным туннелем Т-8 и строительным туннелем СТ-2 (2005 год).

В зоне вывала в СТ-2, на противоположной (правой) стене, была выделена зона крайне низких значений $V_p = 2,20 - 3,00$ км/с. Указанная аномальная зона ориентирована приблизительно по азимуту простирания 4 системы трещин и охватывает участок от ПК4+42 до ПК4+58. Этот участок был интерпретирован как зона возможного нового вывала. Кроме того, дополнительно были выделены два ослабленных участка на пикете ПК4+30 и на пикетах ПК4+83 – 4+90.

В 2013 году, по результатам сейсмического профилирования по обоим стенкам для строительных туннелей СТ-1 и СТ-2 были изучены породы кызылташской K1kr, нижеобигармской K1ob1, верхнеобигармской K1ob2 и каракузской K1kr свит. Для обоих туннелей выявлены две зоны разгрузки – интенсивной и слабой.

Изученный целик сложен песчаниками верхнеобигармской K1ob2 и каракузской K1kr свит. На рис. 2 в виде карты изолиний скоростей представлены результаты сейсмического просвечивания между ПК6+44 – 9+04 строительного туннеля СТ-1 и ПК6+17 – 8+45 строительного туннеля СТ-2. Здесь же нанесены значения скоростей продольных волн в зонах интенсивной и слабой разгрузки по результатам сейсмического профилирования по стенкам туннеля. Для сохранных участ-

ков массива значения скоростей продольных волн составили $V_p = 4800 - 5200$ м/с, как для верхнеобигармских, так и для каракузских отложений. Между ПК7+60 – 8+60 СТ-1 и ПК7+20 – 8+20 СТ-2 в верхнеобигармских и на границе верхнеобигармских и каракузских отложений выделяется ослабленная зона, в которой значения V_p понижаются до 4600 – 4800 м/с. Это понижение можно объяснить влиянием двух разломов (№№ 111 и 35), а также влиянием зоны разгрузки вокруг находящейся здесь сбойки №3.

Песчаники кызылташской свиты K1kz изучены сейсмическим профилированием на ПК4+00 - 4+60 СТ-1 и ПК3+55 - 5+00 СТ-2. Эти породы характеризуются значениями скоростей продольных волн $V_p = 2700 - 3000$ м/с в зоне интенсивной разгрузки, от 3300 м/с до 4000 м/с в зоне слабой разгрузки и $V_p = 5000$ м/с для сохранных массива. Для зоны трещиноватости (ПК4+90 - 5+00 СТ-2, правая стенка) $V_p = 2800$ м/с в зоне интенсивной разгрузки, $V_p = 3700$ м/с в зоне слабой разгрузки и $V_p = 4500 - 4800$ км/с в массиве. Мощность зоны интенсивной разгрузки составляет 1 – 3 м, мощность зоны слабой разгрузки – 5 – 7 м. В зоне повышенной трещиноватости мощность зоны слабой разгрузки увеличивается до 10 м.

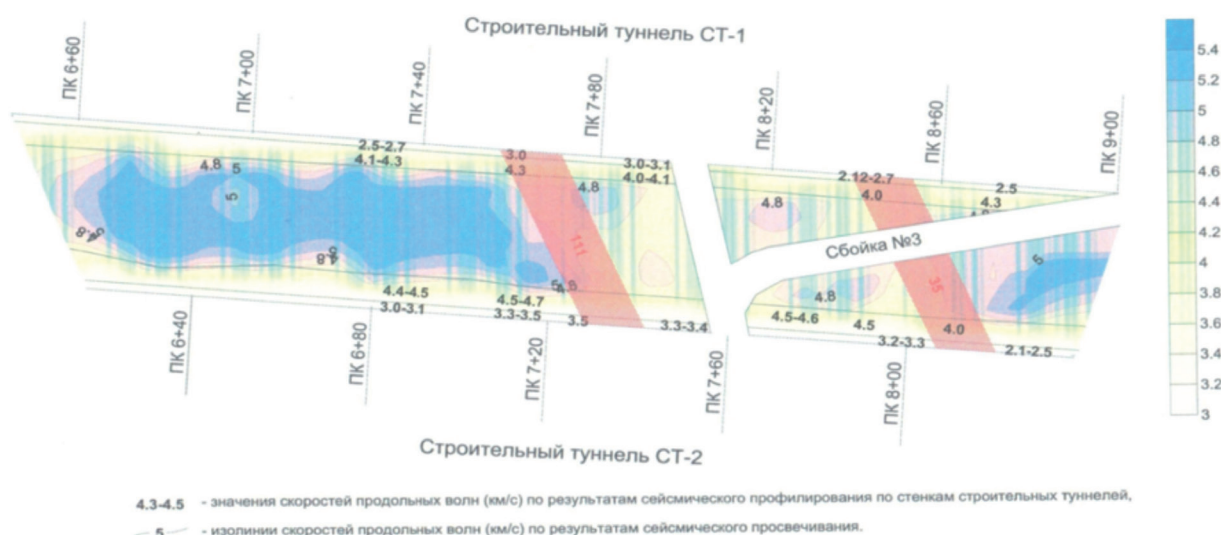


Рисунок 2. Результаты сейсмических исследований целика между строительными туннелями СТ-1 и СТ-2.

Алевриты нижнеобигармской свиты K1ob1 изучены профилированием по стенкам строительных туннелей. Значения скорости продольных волн для ненарушенного массива составили $V_p = 2500 - 2800$ м/с в зоне интенсивной разгрузки, $V_p = 3500 - 4400$ м/с в зоне слабой разгрузки и $V_p = 4900 - 5200$ м/с для сохранных пород. На участке, ослабленном трещиноватостью, $V_p = 2000 - 2700$ м/с для зоны интенсивной разгрузки, $V_p = 3600 - 4100$ м/с для зоны слабой разгрузки и $V_p = 4800 - 5000$ м/с для относительно сохранного массива. Мощность зоны интенсивной разгрузки составила 1- 2 м, в зоне трещиноватости – 1,5 - 3,5 м, мощность зоны слабой разгрузки – 4 - 6 м и 6 - 10 м соответственно.

Свойства песчаников верхнеобигармской свиты K1ob2 изучены сейсмическим профилированием по стенкам строительных туннелей и просвечиванием между ними. Значения скорости продольных волн составили здесь $V_p = 2500 - 3200$ м/с для зоны интенсивной разгрузки, $V_p = 4000 - 4300$ м/с для зоны слабой разгрузки и 4700 - 5200 м/с для относительно сохранного массива. На участках влияния разломов №111 и №35 – $V_p = 1700 - 2200$

м/с для зоны интенсивной разгрузки, $V_p = 3300 - 4100$ м/с для зоны слабой разгрузки и $V_p = 4600 - 4800$ м/с для массива. Мощности выделенных зон составили 2 - 3 м для интенсивной разгрузки и 4 - 6 м – для слабых ненарушенных участков и 3 - 4 м и 5 - 8 м соответственно для зон, ослабленных трещиноватостью. Следует отметить достаточно высокие значения ($V_p = 3300 - 3500$ м/с и $V_p = 4400 - 4700$ м/с), полученные на левой стенке СТ-2 для зон интенсивной и слабой разгрузки соответственно, что можно объяснить наличием в стенах на ПК6+34 - 7+85 железобетонных анкеров. Профиль по левой стенке СТ-2, по-видимому, был пройден вдоль линии анкеровки, что и повлияло на полученные результаты.

Песчаники каракузской свиты, изученные профилированием по стенкам строительных туннелей и просвечиванием между ними, характеризуются значениями $V_p = 2500 - 2700$ м/с для зоны интенсивной разгрузки, $V_p = 4300 - 4350$ м/с для зоны слабой разгрузки и $V_p = 4800 - 5200$ м/с для сохранного массива. На участке влияния трещиноватости $V_p = 2000 - 2100$ м/с в зоне интенсивной разгрузки, $V_p = 3400 - 3500$ м/с в зоне слабой

разгрузки и $V_p = 4500 - 4800$ м/с для относительно сохранного массива. Мощность зоны интенсивной разгрузки составила 1-2 м, слабой – 3 – 6 м, в зоне повышенной трещиноватости – 2 – 3 м и 5 – 8 м соответственно.

На участке случившегося в 1991г вывала на ПК7+70 - 8+41 (между разломами №35 и №111) в строительном туннеле СТ-1, по данным сейсмического профилирования и сейсмического просвечивания, скальный массив характеризуется значениями $V_p = 4500 - 4900$ м/с, в зоне интенсивной разгрузки – $V_p = 2500 - 3100$ м/с, в зоне слабой разгрузки – $V_p = 3300 - 4100$ м/с. Здесь наблюдается заметное увеличение мощности зоны разгрузки – до 8м. На участке вывала в строительном туннеле СТ-2, произошедшем в 1993г на правой стенке на ПК4+25 - 5+00, по результатам сейсмического профилирования получены значения $V_p = 4500 - 4700$ м/с для относительно сохранного массива, $V_p = 2800$ м/с для зоны интенсивной разгрузки и $V_p = 3600 - 3800$ м/с для зоны слабой разгрузки.

На противоположной стене, на участке прогнозируемого вывала со стороны левой стены СТ-2, эти значения составили 4500 м/с для относительно сохранного массива, 2800 м/с для зоны интенсивной разгрузки и 3300 – 3500 м/с для зоны слабой разгрузки, что существенно выше полученных в 2009 г., что объясняется проведенными мероприятиями по укреплению массива на данном участке.

По результатам ультразвукового профилирования по поверхности бетона на оголовке строительного туннеля СТ-1 бетон соответствует марке М250, за исключением ПК 0+24 (М350) и ПК 0+10 (М450), что соответствует хорошему и отличному качеству. В туннеле СТ-2 марке М250 соответствует бетон на ПК 0+21 и 0+23(левая сторона), на правой стороне ПК 0+23 получена марка М350, что также свидетельствует о хорошем качестве. Од-

нако на ПК0+25 СТ-2 состояние бетона хуже - на правой стороне он соответствует марке М150, а на своде – М200.

На участке выявленного неудовлетворительного контакта «бетон-скала» в сводовой части СТ-1 на ПК5+80-6+96 получены очень высокие показатели качества бетона – он соответствует маркам М400 и М450. Такой результат позволяет предположить, что плохое качество контакта связано, скорее всего, с имеющей здесь место сменой литологии (граница между нижнеобигармскими алевролитами и верхнеобигармскими песчаниками).

Выводы

1. Установлено, что на участке случившегося в 1991г вывала на ПК 7+70-8+41 (между разломами №35 и №111) в строительном туннеле СТ-1, по данным сейсмического профилирования и сейсмического просвечивания, скальный массив характеризуется значениями $V_p=4500-4900$ м/с, в зоне интенсивной разгрузки – $V_p=2500-3100$ м/с, в зоне слабой разгрузки – $V_p=3300-4100$ м/с (зона пониженной характеристики). Здесь наблюдается заметное увеличение мощности зоны разгрузки (зоны разуплотнения) – до 8м. На участке вывала в строительном туннеле СТ-2, произошедшем в 1993г на правой стенке на ПК 4+25-5+00 по результатам сейсмического профилирования получены значения $V_p=4500-4700$ м/с для относительно сохранного массива, $V_p=2800$ м/с для зоны интенсивной разгрузки и $V_p=3600-3800$ м/с для зоны слабой разгрузки (зона пониженной характеристики). На противоположной стене, на участке прогнозируемого вывала со стороны левой стены СТ-2, эти значения составили 4500м/с для относительно сохранного массива, 2800м/с для зоны интенсивной разгрузки и 3300-3500м/с для зоны слабой разгрузки, что существенно выше полученных в 2009г, что объясняется проведенными мероприятиями по укреплению массива на данном участке.

2. Выявлено, что песчаники кызылташской свиты K1kz, алевролиты нижнеобигармской свиты K1ob, песчаники верхнеобигармской свиты K1ob2 и песчаники каракузской свиты характеризуются средними значениями скоростей продольных волн от 2500 до 3200 м/с в зоне интенсивной разгрузки, от 3300 м/с до 4800 м/с в зоне слабой разгрузки и выше 4800 м/с в зоне сохранных пород. Мощность зоны интенсивной разгрузки составляет в среднем для всех выше названных пород составляет 1 – 4 м, мощность зоны слабой разгрузки – 4 – 8 м.

Литература

1. Давлатшоев С.К., Сафаров М.М., Давлатзода З.Х., Хайриддинов Г.К. Современное состояние скального массива на участке строительных туннелей СТ – 1 и СТ – 2 Рогунской ГЭС // Материалы десятой Международной теплофизической школы «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий». – Душанбе, ООО «Хочи-Хасан», 2016. С. 389-397.
2. Давлатшоев С.К., Тоирзода С.Т., Чакалов С.Х. Изучение состояния скального массива строительных туннелей СТ – 1 и СТ – 2 Рогунской ГЭС после длительной эксплуатации. Материалы межд. н-пр. конф. «XIII Ломоносовские чтения» посвящённой 115-летию ак. Бободжона Гафуроа. Часть III. Естественные науки. – Душанбе, 2023. –С. 232-237.
3. Давлатшоев С.К. Оценка качества укрепительной цементации вмещающего массива песчаников в условиях растягивающих напряжений. Гидротехническое строительство, №12, 2021. –С. 15-20.
4. Давлатшоев С.К. Влияние объёмного нагружения скальных пород подземного помещения на процесс релаксации самонапряжённого состояния алевролитового массива. Гидротехническое строительство, №1, 2022. –С. 6-12.
5. Davlatshoev S. K. Evaluation of the quality of strengthening cementation of an enclosing sandstone massif under tensile stresses. Power Technology and Engineering, vol. 56, No. 1, May, 2022. Pp. 46-51. <https://doi.org/10.1007/s10749-023-01469-10>.
6. Davlatshoev S. K. Influence of volumetric loading of rocks surrounding underground chambers on the relaxation of self-stressed aleurolite massif. Power Technology and Engineering, vol. 56, No. 2, July, 2022. Pp. 157-163. <https://doi.org/10.1007/s10749-023-01488-x>.
7. Давлатшоев С.К. Контроль качества цементационных работ вмещающего массива в опытном участке методом сейсмического каротажа. Гидротехническое строительства, №2, 2020., –С. 52 - 56.
8. Давлатшоев С.К. Исследование качества цементационных работ вмещающего массива подземных сооружений ультразвуковым методом. Гидротехническое строительства, №4, 2020. –С. 2 - 7.
9. Davlatshoev S. K. Quality control of cementation operation performed in country massif in a test section by seismic well logging. Power Technology and Engineering, vol. 54, No. 2, July, 2020. Pp. 199-203. <https://doi.org/10.1007/s10749-020-01191-1>.
10. Davlatshoev S. K. Ultrasound study of the quality of consolidation grouting works retaining rocks in underground structures logging. Power Technology and Engineering, vol. 54, No. 3, September, 2020. Pp. 332-336. <https://doi.org/10.1007/s10749-020-01211-0>.

ТАҲҚИҚИ ХУСУСИЯТҲОИ ФИЗИКАӢ МЕХАНИКИИ ҶИСМҲОИ КӢҲИИ НАҚБҲОИ ГИДРОТЕХНИКӢ ДАР НАТИҶАИ РЕҶАИ ДАРОЗМУДАТИ ИСТИФОДАБАРИ

Тоирзода С.Т.^{1*}, Носиров Н.К.¹

¹Институтуи масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

*Муаллифи масъул. E-mail: avliyoqulov97@mail.ru

Аннотация. Шароити инженерии геологии ба қор андохтани туннельҳои соҳили чапи бинокории СТ-1 ва СТ-2 асосан бо хусусиятҳои сохти геологии қаторқухҳои ҳамбаста муайян карда мешавад. Бо мақсади ба даст овардани маълумоти зарурӣ дар бораи ҳолати массиви маҳкамкунан-даи туннельҳои бинокорӣ баъди дар ре-жими нарм қор фармудани дуру дароз бо ёрии маҷмуи усулҳои геофизики оид ба муайян кардани характеристикаҳои эластикӣ ва деформатсиявии массив қор гузаронда шуд. Дар мақола қорқарди маводди тадқиқоти геофизикӣ, ки имкон медиҳанд хусусиятҳои чандирӣ ва деформатсияи ҳосиятҳои массиви

ви нигоҳдошташуда, минтақаҳои борфарорӣ ва минтақаҳои шикасти тектоникии элементҳои гуногуни муҳандисию геологиро муайян мекунанд, баррасӣ карда мешавад.

Калидвожаҳо: нақбҳои сохтмонӣ, массив, геофизика, борфарорӣ, профили сейсмикӣ, қартаҷи ул-трасадой, радиография, регсанг, алевролит.

STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ROCK MASSIF OF HYDRAULIC TUNNELS DUE TO LONG-TERM OPERATION

Toirzoda S.T.^{1,*}, Nosirov N.K.¹

¹Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan

*Corresponding author. E-mail: avliyoqulov97@mail.ru

Abstract. The engineering and geological conditions for the operation of the left-bank construction tunnels CT-1 and CT-2 are largely determined by the features of the geological structure of the enclosing mountain range. In order to obtain the necessary data on the condition of the enclosing array of construction tunnels after long-term operation, which worked in a gentle mode, work was carried out to determine the elastic and deformation characteristics of the array using a set of geophysical methods. The article discusses the processing of geophysical research materials, which makes it possible to determine the elastic and deformation characteristics of the properties of a preserved mass, unloading zones and zones of tectonic disturbances for various engineering and geological elements.

Keywords: construction tunnels, massif, geophysics, unloading, seismic profiling, ultrasonic logging, transillumination, sandstone, siltstone.

Сведения об авторах: Тоирзода Сухроб Тоир – Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, докторант PhD, Тел.: (+992) 905773310, E-mail: avliyoqulov97@mail.ru; Носиров Наби Косимович – док. тех. наук, главный научный сотрудник лаборатории «Моделирование водных ресурсов и климатических процессов» Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, E-mail: nosirov1940_10@mail.ru.

Маълумот дар бораи муаллиф: Тоирзода Сухроб Тоир – Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, докторанти PhD. Тел.: (+992) 905773310, E-mail: avliyoqulov97@mail.ru; Носиров Наби Қосимович- доктори илмҳои техникӣ, Сарҳодими илмии лабораторияи “Моделкунонии захираҳои об ва равандҳои иқлим” Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, E-mail: nosirov1940_10@mail.ru.

Information about the author: Toirzoda Suhrob Toir – Institute of water problems, hydropower and ecology, doctoral student or PhD, Phone: (+992) 905773310, E-mail: avliyoqulov97@mail.ru; Nosirov Nabi Kosimovich - Doctor of Technical Sciences, Chief Scientific Officer of the Laboratory "Modeling of Water Resources and Climate Processes" of the Institute of Water, Hydropower and Ecology of NAST, E-mail: nosirov1940_10@mail.ru.