

УДК 69.035.2

UDC 69.035.2

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ПРАКТИКА ПРОВЕДЕНИЯ
ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ
СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОДОРОЖНЫХ
ТОННЕЛЕЙ «ДУБЛЕРА КУРОРТНОГО
ПРОСПЕКТА» В Г. СОЧИ**

**PRACTICE OF CONDUCTING A
GEOTECHNICAL MONITORING FOR THE
CONSTRUCTION OF THE ROAD TUNNEL
“DOUBLER KURORTNOGO PROSPEKTA”
IN SOCHI**

Лесной Владимир Анатольевич
аспирант
РИНЦ SPIN-код=8699-2837
lesnoyva@mail.ru
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Lesnoy Vladimir Anatolievich
postgraduate
RSCI SPIN-code=8699-2837
lesnoyva@mail.ru
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar,
Russia*

Маций Сергей Иосифович
профессор
РИНЦ SPIN-код=2116-9634
matsiy@mail.ru
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Matsiy Sergey Iosifovich
professor
RSCI SPIN-code=2116-9634
matsiy@mail.ru
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar,
Russia*

Лейер Дарья Валерьевна
преподаватель
РИНЦ SPIN-код=1970-9816
dasha_leyer@mail.ru
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Leyer Darya Valerievna
lecturer
RSCI SPIN-code=1970-9816
dasha_leyer@mail.ru
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar,
Russia*

Конева Анна Олеговна
студент
РИНЦ SPIN-код=5353-1223
annette_koneva@mail.ru
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Koneva Anna Olegovna
student
RSCI SPIN-code=5353-1223
annette_koneva@mail.ru
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar,
Russia*

Рябухин Александр Константинович
заведующий кафедрой
РИНЦ SPIN-код=8063-2986
ryabukhin@geoproekt.net
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Ryabukhin Alexander Konstantinovich
Head of Chair
RSCI SPIN-code=8063-2986
ryabukhin@geoproekt.net
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar,
Russia*

Рябухин Лев Константинович
магистр
РИНЦ SPIN-код=9879-5327
ryabuhinlev@mail.ru
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Ryabukhin Lev Konstantinovich
magister
RSCI SPIN-code=9879-5327
ryabuhinlev@mail.ru
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar,
Russia*

Ткачева Мария Сергеевна
аспирант
tkachikpufik@rambler.ru
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Tkacheva Mariya Sergeevna
postgraduate
tkachikpufik@rambler.ru
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar,
Russia*

В данной статье описана практика проведения геотехнического мониторинга автодорожных

This article describes the practice of conducting a geotechnical monitoring of the road tunnel № № 8,

тоннелей № № 8, 8А «Дублера Курортного проспекта» г. Сочи в сложных инженерно-геологических условиях. Методика геотехнического мониторинга разработана на результатах математического моделирования, выполненного на основе инженерных изысканий и проектных решений. Особое значение в статье уделяется участкам мелкого заложения автодорожных тоннелей, так как именно в указанных зонах возникают наиболее высокие деформации, способные привести к нарушению работоспособности литотехнической системы «вмещающий массив – тоннельная крепь» и дальнейшему разрушению ограждающих конструкций автодорожного тоннеля. Проведение геотехнического мониторинга на этапе инженерных изысканий позволяет комплексно оценить состояние геологической среды в нетронутом состоянии, а также детальнейшим образом изучить влияние на нее строительных горнопроходческих работ. Реализация геотехнического мониторинга на этапах инженерных изысканий и строительства позволит выявить слабые стороны литотехнической системы «вмещающий массив-тоннельная крепь» и обеспечить безопасность эксплуатации таких технически сложных и ответственных объектов, как автодорожных тоннелей

Ключевые слова: ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ, АВТОДОРОЖНЫЙ ТОННЕЛЬ, ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

8a «Doubler Kurortnogo Prospekta» in Sochi in difficult geotechnical conditions. Geotechnical monitoring method was developed on the results of mathematical modeling performed based on engineering studies and design solutions. The particular importance is paid to areas of shallow road tunnels, because in these areas there are the highest strain that could lead to malfunction of the lithological technical system "accommodating array - fixing tunnel" and the further destruction of the road tunnel walling. Geotechnical monitoring at the stage of engineering survey allows us to assess comprehensively the condition of the geological environment in a pristine condition, as well as detailed consideration to the effect on her of construction of mining operations. Implementation of geotechnical monitoring at the stages the engineering survey and construction will identify weaknesses malfunction of the lithological technical system "accommodating array - fixing tunnel" and ensure the security of the operation of such a technically complex and demanding facilities such as road tunnels

Keywords: GEOTECHNICAL MONITORING, ENGINEERING SURVEY, ROAD TUNNEL, GEOTECHNICAL CONDITIONS, STRESS-STRAINED STATE, MATHEMATICAL MODELING

ВВЕДЕНИЕ

Геотехнический мониторинг – это комплекс работ, основанный на натуральных наблюдениях за поведением конструкций вновь возводимого автодорожного тоннеля, вмещающего массива, а также геологической среды в мульдe сдвигения для обеспечения безопасности строительства и начального этапа эксплуатации. Необходимость проведения геотехнического мониторинга в период инженерных изысканий и на этапе строительства обусловлена нормативной базой РФ (ГОСТ 31937 – 2011, СП 22.13330.2011, СП 122.13330.2012, ОДМ 218.4.022 – 2015 и т. д.), более того, выполнение геотехнического мониторинга на таких технически

сложных и ответственных объектах, как автодорожных тоннелях является неотъемлемой частью строительного производства.

Методика производства геотехнического мониторинга во многом зависит от правильной интерпретации состояния геологической среды в зависимости от проектных решений автодорожного тоннеля и технологии проходческих работ. Вследствие чего, важным этапом при формировании методики геотехнического мониторинга является анализ состояния геологической среды в период инженерных изысканий, а также результатов математического моделирования литотехнической системы «вмещающий массив – тоннельная крепь» в период строительства автодорожных тоннелей с учетом всех необходимых геологических и конструктивных особенностей.

ОБЪЕКТ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Удачным примером реализации геотехнического мониторинга является его интеграция в строительное производство автодорожных тоннелей на 2 и 3 очереди «Дублера Курортного проспекта» в г. Сочи. В преддверии Олимпийских Зимних Игр проектом на реализацию транспортного обхода г. Сочи требовалось в сжатые сроки выполнить шесть парных тоннелей общей протяженностью 9956 м. Учитывая высокую плотность городской застройки и сложные инженерно-геологические условия, в частности, в районе автодорожных тоннелей № 8, 8А выполнение геотехнического мониторинга явилось важной частью строительного производства (см. рисунок 1). При выполнении инженерно-геологических изысканий участка строительства тоннелей, а также при подготовке программы геотехнического мониторинга был выполнен анализ источников по особенностям работе строительных конструкций на оползневых и оползнеопасных склонах [1-13]. В статье особое внимание уделено состоянию временной крепи тоннеля № 8 А на ПК 158 + 30,0.



Рисунок 1 – Схема расположения тоннелей № № 8, 8А третьей очереди «Дублера Курортного проспекта» (на основе спутниковых снимков «Яндекс Карты»)

ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В РАЙОНЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АВТОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЕЙ № № 8, 8А

Трасса автодорожных тоннелей протягивается от балки Бочарова ручья на северо-запад до р. Псахе, в пределах Сочинской синклинали общекавказского простирания, пересекая в районе Бочарова ручья разломную зону субмеридиональной направленности, ограничивающую с севера крупные поднятые блоки, хорошо проявленные в междуречье Мацеста-Мзымта. В районе северного портала тоннели пересекают зону Воронцовского надвига.

Территория строительства автодорожных тоннелей характеризуется сложными тектоническими условиями, расположенными в пределах Абхазской структурно-фациальной зоны вблизи её тектонической границы с расположенной севернее Чвежипсинской структурно-фациальной зоной. Также территория тоннелей характеризуется широким распространением пликативных и дизъюнктивных нарушений. Пликативные нарушения

выражаются в изгибании слоев коренных пород, что хорошо прослеживается как в плане, так и в разрезе по элементам залегания слоев. Дизъюнктивные нарушения представлены Воронцовским надвигом и тектонической зоной в районе Бочарова ручья, а также оперяющими их разломами и зонами трещиноватости. Зоны контактируют по региональному Воронцовскому надвигу, который является основным тектоническим швом, амплитуда смещения по которому составляет 10 км. Структурно-вещественный комплекс Абхазской структурно-фациальной зоны сформировался на жестком основании северного окончания Закавказской литосферной плиты.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЛИТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ВМЕЩАЮЩИЙ МАССИВ – ТОННЕЛЬНАЯ КРЕПЬ»

Выявление участков, необходимых для контроля технического состояния литотехнической системы «вмещающий массив – тоннельная крепь» выполнялось на основании результатов инженерно-геологических изысканий, проектных решений и математического моделирования, а также опыта проектирования инженерных сооружений на оползневых склонах [1-13].

На основе результатов инженерно-геологических изысканий, в том числе мониторинга геологической среды и обследований реализована программа геотехнического мониторинга автодорожных тоннелей № № 8, 8а [1]. В данную программу геотехнического мониторинга включены сведения по участкам наблюдения, объему измерений, типу и количеству применяемого геотехнического оборудования, описания принципов его работы и т. д.

Значительную роль на установление зон исследования и расположение геотехнического оборудования повлияло планировочное

расположение тоннелей, а также их конструктивные особенности. Так, например, помимо общей геологической ситуации, при проектировании измерительных приборов учитывалось глубина заложения тоннелей, расположение участков уширения, конструктив временной крепи (применяемая арматура, класс бетона, количество и расположение рошпанов и т. д.). Особое внимание уделялось участкам возведения опережающих экранов, так как, исходя из практики сооружения подобных конструкций, по их границам возможно возникновение аномально высоких растягивающих напряжений, а при проходке полным сечением возникновение вывалов из забойной части тоннелей.

Для понимания работы конструкций параллельных автодорожных тоннелей и их влияния на геологическую среду предварительно до проходческих работ на основе результатов инженерных изысканий выполнено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния вмещающего массива с помощью программного комплекса Plaxis. При моделировании использовался весь набор нормированных коэффициентов для оценки физико-механических свойств вмещающего массива. Также для решения поставленных задач при выполнении моделирования учитывались данные лабораторных и полевых исследований грунтов, результатов геофизических наблюдений, выполненных в рамках мониторинга на этапе инженерных изысканий и строительства автодорожных тоннелей. По результатам математического моделирования выявлены наиболее слабые участки литотехнической системы, что позволило установить геотехническое оборудование именно в тех зонах, где контроль над состоянием конструкций автодорожных тоннелей необходим (см. рисунок 2).

Таким образом, проведение математического моделирования литотехнической системы заложило основу для качественного и эффективного геотехнического мониторинга для обеспечения

безопасности строительства и дальнейшей эксплуатации автодорожных тоннелей 2 и 3 очереди «Дублера Курортного проспекта» в г. Сочи.

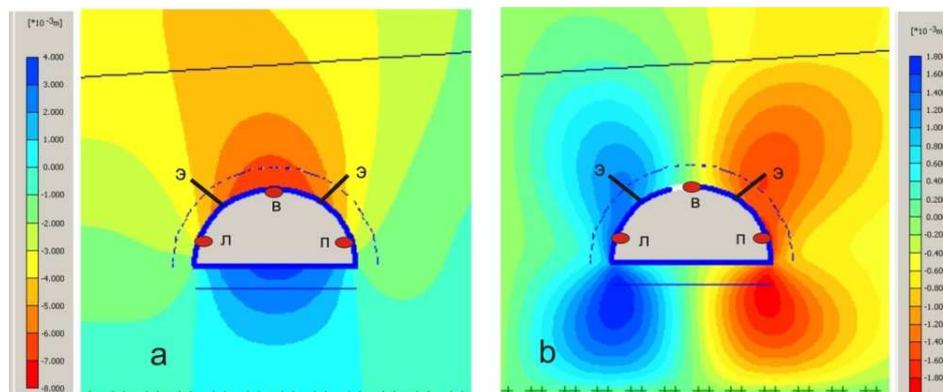


Рисунок 2 – Результат моделирования и расположения геотехнического оборудования в калоттной части тоннеля

а – поле распределения вертикальных деформаций;

б – поле распределения горизонтальных деформаций

Условные обозначения:

Э – скважинный экстензометр; В – верхний датчик деформации;

Л – левый датчик деформации; П – правый датчик деформации

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ ТОННЕЛЕЙ № № 8, 8А

Проходческие работы автодорожных тоннелей № № 8, 8А выполнялись совершенно новым для Сочинского региона методом «ADECO - RS». Главная особенность указанного метода состоит в том, что при проектировании основное внимание уделяется не только предварительному укреплению тоннеля, но и деформационным процессам, происходящим в грунте под воздействием проходческих работ. Например, для укрепления забоя используются специальные стекловолоконные элементы, по принципу своей работы напоминающие нагели, предотвращающие возникновение экструзии породы из забоя тоннеля. Данные элементы армируют массив грунта, прилегающий к выработке, и тем самым укрепляют слабые грунты, в которых ведется сооружение

автодорожных тоннелей, а также уменьшают деформации вмещающего массива.

В отличие от традиционных подходов данный метод предполагает очень тщательное отслеживание параметров деформационной реакции вмещающего массива грунта. Метод «ADECO - RS» является одним из первых внедренных методов, где применение геотехнического мониторинга составляет ключевую часть строительного производства.

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Наиболее показательным является результат геотехнического мониторинга, выполненный в тоннеле № 8 А третьей очереди «Дублера Курортного проспекта» со стороны северного портала в районе ПК 158 + 30,0. Согласно результатам геофизических наблюдений, проводимых на этапе инженерных изысканий и строительстве, на участке тоннеля от ПК 158 + 30,0 до ПК 158 + 14,0 выделен сложный участок, который с точки зрения геологии осложнен зонами тектонической трещиноватости, низкими прочностными свойствами пород и повышенным риском возникновения вывалов ввиду высокой концентрации напряжений в кровельной части массива. При обильных климатических осадках, ввиду трещиноватости вмещающего массива, возникала угроза его обводнения, что неминуемо приводило бы к снижению прочностных свойств пород и возникновению вывалов из кровельной и забойной частей тоннеля. В целом, по результатам геофизических наблюдений, выполняемых в рамках геотехнического мониторинга, вмещающий массив находился в неустойчивом состоянии, и соответствовал 5 категории устойчивости по шкале Н. С. Булычева (согласно ВСН 126 – 90 «Крепление выработок

набрызг-бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов»). Геологическая структура забоя на ПК 158 + 30,0 представляла собой сложение из рыжевато-коричневых глин, твердой и полутвердой консистенции, с прослоями голубых глин. Мощность прослоев составляла около 30 см. Количество прослоев – до 1 – 2 прослоев на 1 пог.м. В глинах имелись включения дресвы, щебня и глыб коренных пород, преимущественно выветрелого песчаника. Количество щебня к массе пород составляла около 20 ÷ 25 %, дресвы – до 5 ÷ 7 %. Размеры глыб не превышали 30 ÷ 40 см в диаметре. В нижней части забоя залежали голубовато-зеленые мергели, сильно выветрелые, крошащиеся в руках. Угол залегания около 60 °. Видимая мощность прослоя около 70 см.

Учитывая сложные инженерно-геологические условия, проходческие работы были приостановлены на ПК 158 + 29,50 ввиду угрозы обрушения свода и возникновения вывалов в забойной части массива и дальнейшего его укрепления. Согласно проекту забой на сложных геологических участках подлежал армированию стекловолоконными нагелями (см. рисунок 3). Технология закрепления забоя включала бурение 390 горизонтальных скважин, монтированием в них заготовленных нагелей и нагнетанием цементного раствора между нагелями и вмещающей их породой. Таким образом, осуществлялось повышение деформационно-прочностных свойств пород забоя, что практически исключало возможность возникновения местных вывалов. По мере усиления забойной части тоннеля выполнялись геофизические исследования породы, по результатам которых наблюдалось повышение устойчивости и прочности массива за счет указанных ранее мероприятий. Также в рамках геотехнического мониторинга временной крепи на ПК 158 + 30,0 предусмотрена установка пяти датчиков деформации. Датчик деформации

– это вид геотехнического оборудования, закладываемый в тело конструкций тоннельной крепи, применяемый для контроля их напряженно-деформированного состояния (НДС) за счет сжатия или растяжения измерительной струны датчика (см. рисунок 4).

Для определения напряжений с помощью датчиков деформации, действующих в конструкции временной крепи, требовалось определить относительную деформацию измерительной металлической струны датчика или относительную деформацию бетона в зоне исследования. Преобразование линейных деформаций в искомые значения напряжений выполнялось в соответствии с положениями, изложенными в законе Гука с учетом модуля упругости бетона. На пятые сутки после установки датчиков деформации и нанесения в зону их установки торкретбетона сняты нулевые показания. Далее приводится хроника развития напряжений во временной крепи, которые также представлены в таблице 1 и на рисунке 6. Схема расположения датчиков в сечении тоннеля приведена на рис. 5.

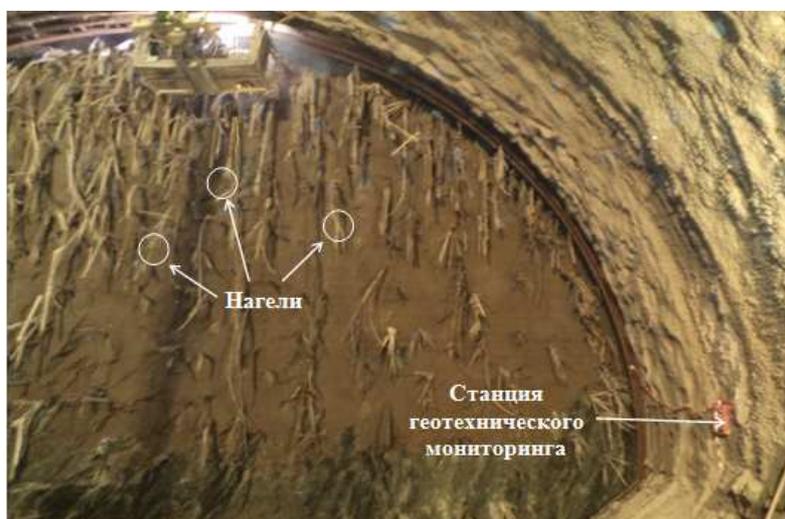


Рисунок 3 – Нагелирование забоя в тоннеле № 8 А ПК 158 + 29,50

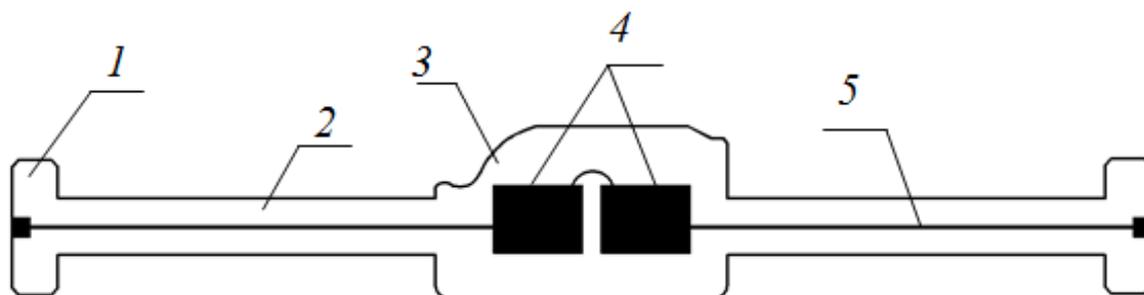


Рисунок 4 – Основные элементы датчика деформации
 1 – концевой блок; 2 – металлическая защитная трубка;
 3 – защитный корпус; 4 – электромагнитные катушки;
 5 – измерительная металлическая струна

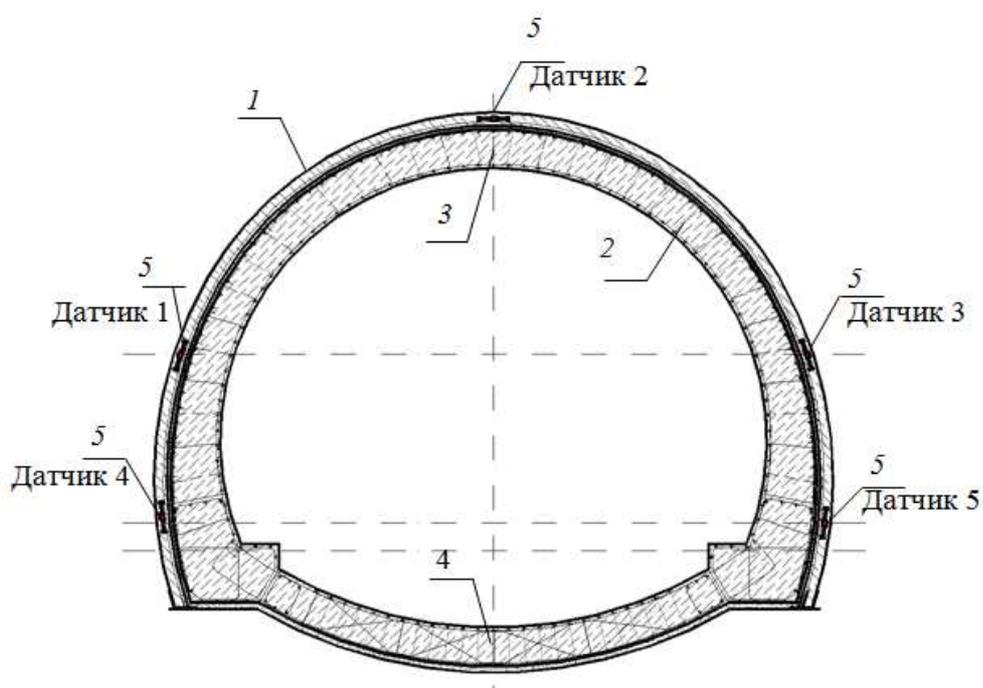


Рисунок 5 – Схема расположения датчиков деформации в сечении тоннеля
 на ПК 158 + 30,0
 1 – временная крепь; 2 – постоянная обделка; 3 – шельга свода;
 4 – обратный свод; 5 – датчик деформации

Таблица 1 – Результаты измерения напряжений во временной крепи

№	Номер датчика	Дата снятия показаний	Гц	Длина условного базиса, мкм	Деформация датчика, мкм	Напряжения $\Delta\sigma$, МПа
1	Датчик 1	03.10.2012	859	2816	-	-
2	Датчик 2	03.10.2012	766	2240	-	-
3	Датчик 3	03.10.2012	745	2113	-	-
4	Датчик 4	03.10.2012	841	2709	-	-
5	Датчик 5	03.10.2012	811	2512	-	-
6	Датчик 1	05.10.2012	874	2946	130	3,90
7	Датчик 2	05.10.2012	787	2366	126	3,78
8	Датчик 3	05.10.2012	765	2212	99	2,97
9	Датчик 4	05.10.2012	893	2693	-16	-0,48
10	Датчик 5	05.10.2012	812	2514	2	0,06
11	Датчик 1	08.10.2012	893	3043	227	6,81
12	Датчик 2	08.10.2012	819	2561	321	9,63
13	Датчик 3	08.10.2012	793	2400	287	8,61
14	Датчик 4	08.10.2012	848	2745	36	1,08
15	Датчик 5	08.10.2012	822	2577	65	1,95
16	Датчик 1	10.10.2012	898	3076	260	7,80
17	Датчик 2	10.10.2012	825	2601	361	10,83
18	Датчик 3	10.10.2012	799	2434	321	9,63
19	Датчик 4	10.10.2012	853	2777	68	2,04
20	Датчик 5	10.10.2012	823	2588	76	2,28
21	Датчик 1	15.10.2012	898	3106	290	8,70
22	Датчик 2	15.10.2012	825	2597	357	10,71
23	Датчик 3	15.10.2012	799	2439	326	9,78
24	Датчик 4	15.10.2012	850	2761	52	1,56
25	Датчик 5	15.10.2012	824	2590	78	2,34
26	Датчик 1	17.10.2012	902	3104	288	8,64
27	Датчик 2	17.10.2012	825	2598	358	10,74
28	Датчик 3	17.10.2012	798	2432	319	9,57
29	Датчик 4	17.10.2012	849	2748	39	1,17
30	Датчик 5	17.10.2012	823	2586	74	2,22
31	Датчик 1	24.10.2012	900	3093	277	8,31
32	Датчик 2	24.10.2012	822	2580	340	10,20
33	Датчик 3	24.10.2012	797	2423	310	9,30
34	Датчик 4	24.10.2012	846	2733	24	0,72
35	Датчик 5	24.10.2012	822	2602	90	2,70
36	Датчик 1	31.10.2012	883	2978	162	4,86
37	Датчик 2	31.10.2012	785	2350	110	3,30
38	Датчик 3	31.10.2012	747	2133	20	0,60
39	Датчик 4	31.10.2012	808	2492	-217	-6,51

40	Датчик 5	31.10.2012	898	2616	104	3,12								
41	Датчик 1	06.11.2012	847	2737	-79	-2,37								
42	Датчик 2	06.11.2012	770	2263	23	0,69								
43	Датчик 3	06.11.2012	725	2005	-108	-3,24								
44	Датчик 4	06.11.2012	782	2333	-376	-11,28								
45	Датчик 5	06.11.2012	805	2472	-40	-1,20								
46	Датчик 1	26.11.2012	846	2733	-83	-2,49								
47	Датчик 2	26.11.2012	769	2255	15	0,45								
48	Датчик 3	26.11.2012	726	2014	-99	-2,97								
49	Датчик 4	26.11.2012	774	2285	-424	-12,72								
50	Датчик 5	26.11.2012	803	2459	-53	-1,59								
51	Датчик 1	28.11.2012	844	2718	-98	-2,94								
52	Датчик 2	28.11.2012	769	2256	16	0,48								
53	Датчик 3	28.11.2012	728	2022	-91	-2,73								
54	Датчик 4	28.11.2012	774	2286	-423	-12,69								
55	Датчик 5	28.11.2012	803	2461	-51	-1,53								
Стабилизация напряжений														
Примечание: « - » – сжатие; « + » – растяжение.														
Приложение к таблице 1														
<table border="0"> <tr><td style="background-color: #90EE90; width: 20px; height: 15px; display: inline-block;"></td><td>- низкие напряжения сжатия/растяжения (0 ÷ 10 МПа / 0 ÷ 2 МПа);</td></tr> <tr><td style="background-color: #FFFF00; width: 20px; height: 15px; display: inline-block;"></td><td>- средние напряжения сжатия/растяжения (10 ÷ 20 МПа / 2 ÷ 5 МПа);</td></tr> <tr><td style="background-color: #FFA500; width: 20px; height: 15px; display: inline-block;"></td><td>- высокие напряжения сжатия/растяжения (20 ÷ 30 МПа / 5 ÷ 7 МПа);</td></tr> <tr><td style="background-color: #FF0000; width: 20px; height: 15px; display: inline-block;"></td><td>- критические напряжения сжатия/растяжения (30 ÷ 32,6 МПа / 7 ÷ 8 МПа)</td></tr> </table>								- низкие напряжения сжатия/растяжения (0 ÷ 10 МПа / 0 ÷ 2 МПа);		- средние напряжения сжатия/растяжения (10 ÷ 20 МПа / 2 ÷ 5 МПа);		- высокие напряжения сжатия/растяжения (20 ÷ 30 МПа / 5 ÷ 7 МПа);		- критические напряжения сжатия/растяжения (30 ÷ 32,6 МПа / 7 ÷ 8 МПа)
	- низкие напряжения сжатия/растяжения (0 ÷ 10 МПа / 0 ÷ 2 МПа);													
	- средние напряжения сжатия/растяжения (10 ÷ 20 МПа / 2 ÷ 5 МПа);													
	- высокие напряжения сжатия/растяжения (20 ÷ 30 МПа / 5 ÷ 7 МПа);													
	- критические напряжения сжатия/растяжения (30 ÷ 32,6 МПа / 7 ÷ 8 МПа)													

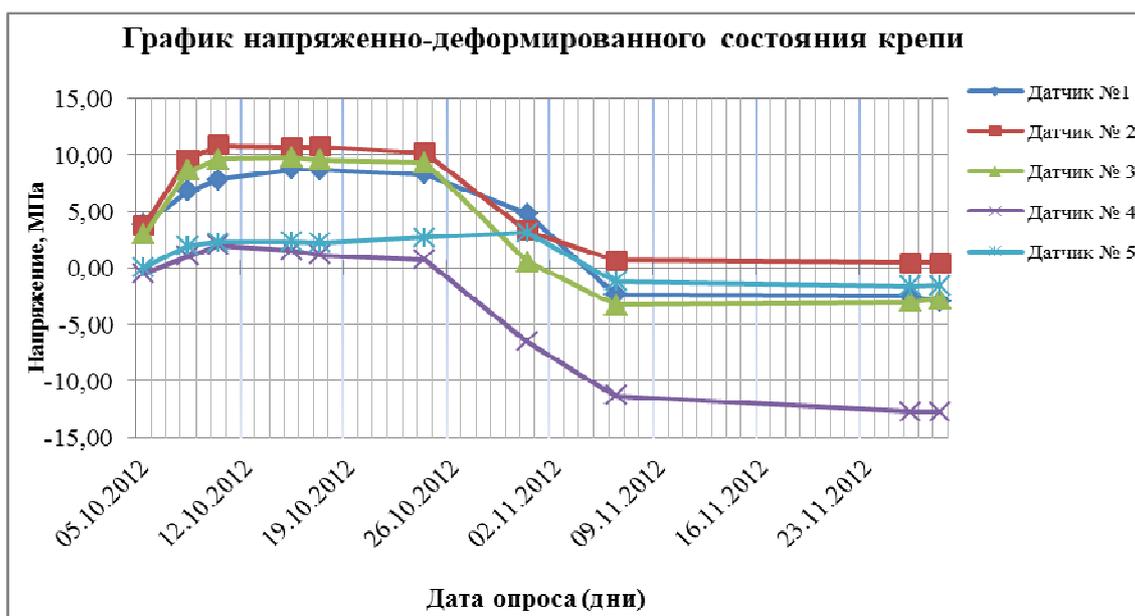


Рисунок 6 – График напряженного состояния временной крепи на ПК 158+30,0

По результатам опроса датчиков деформации на 05.10.2012 г в сводной части временной крепи выявлено развитие растягивающих напряжений. Через три дня напряжения выросли в 2,5 раза и приблизились к критериальным значениям. Экстремум напряжений зафиксирован 10.10.2012 г., который составил 10,83 МПа в шельге свода временной крепи. После устройства более 50 % нагелей, в своде наблюдалась тенденция снижения напряжений. После усиления забоя, перед возобновлением проходки напряжения снизились примерно на 65 % от ранее зафиксированного максимума. Учитывая постепенную стабилизацию напряженно-деформированного состояния временной крепи и вмещающего массива проходческие работы были возобновлены. При проходке тоннеля на опасном участке до ПК 158 + 14,0 наблюдения за состоянием конструкций тоннеля выполнялись ежедневно, активизации напряжений за период геотехнического мониторинга не зафиксировано. Таким образом, проведение геотехнического мониторинга в указанном сечении позволило своевременно определить состояние литотехнической системы, оценить геотехнические условия проходки автодорожного тоннеля в данной динамики напряженно-деформированном состоянии. По результатам анализа геотехнического мониторинга и оценки рисков приостановлены проходческие работы и выполнено усиление забоя нагельными конструкциями, что позволило стабилизировать напряженно-деформированное состояния литотехнической системы «вмещающий массив – тоннельная крепь».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопровождение строительства тоннелей геотехническим мониторингом позволяет отследить развитие напряженно-деформированного состояния тоннельных конструкций и вмещающего массива, выявить причины их возникновения, оптимизировать

конструктивные решения, а также своевременно предупредить всех заинтересованных лиц, выдать необходимые рекомендации для усиления строительных конструкций, сократить продолжительность работ, повысить качество строительного производства. В дополнение стоит добавить, что внедрение геотехнического мониторинга на этапе инженерных изысканий и в строительное производство улучшило представление инженеров о взаимной работе различных конструкций сооружения с инженерно-геологическими условиями площадки строительства. Выявленные зависимости привели к частичному пересмотру проектных решений в зависимости от фактического состояния литотехнической системы «вмещающий массив – тоннельная крепь» благодаря реализации геотехнического мониторинга на этапе инженерных изысканий и в период строительства автодорожных тоннелей.

Список литературы

1. *Лейер Д.В., Маций С.И., Безуглова Е.В.* Мониторинг и моделирование оползневых процессов на примере города Сочи // Строительство и архитектура. - 2013. - Т. 1. № 1. - С. 54-61.
2. *Рябухин А.К., Маций С.И., Безуглова Е.В.* Исследование диапазона допустимых горизонтальных перемещений буронабивных свай противооползневых сооружений // Труды Кубанского государственного аграрного университета. - 2013. - № 41. - С. 160-163.
3. *Рябухин А.К., Маций С.И., Безуглова Е.В.* Исследование диапазона допустимых горизонтальных перемещений буронабивных свай противооползневых сооружений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2013. - № 31-2 (50). - С. 279-283.
4. *Смирнов С.Г., Шадунц К.Ш., Маций С.И.* Противооползневое сооружение для защиты подземных трубопроводов // Патент на изобретение RUS 2186907 15.06.2001.
5. *Смирнов С.Г., Шадунц К.Ш., Маций С.И.* Противооползневое сооружение для подземных трубопроводов // Патент на изобретение RUS 2234572 01.04.2003
6. *Маций С.И.* Взаимодействие свайных рядов с грунтом оползней // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Санкт-Петербург. - 1991.
7. *Лейер Д.В., Богомолов А.Н., Маций С.И., Калашиников С.Ю., Бабаханов Б.С., Безуглова Е.В., Кузнецова С.В.* Причины активизации оползня на федеральной автомобильной дороге г. Сочи и мероприятия по его стабилизации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2012. - № 29 (48). - С. 6-14.
8. *Лейер Д.В., Богомолов А.Н., Маций С.И., Бабаханов Б.С., Безуглова Е.В.,*

Кузнецова С.В. Стабилизация оползня на участке строительства железной дороги в г. Сочи // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2012. - № 29 (48). - С. 15-25.

9. Рябухин А.К., Маций С.И. Исследование диапазона перемещений анкерных свай в инженерно-геологических условиях Сочинского района Краснодарского края // Труды Кубанского государственного аграрного университета. - 2012. - № 39. - С. 155-159.

10. Ляшенко П.А., Шмидт О.А., Гохаев Д. В., Исследование на модели развития осадки буронабивной сваи // Научный журнал КубГАУ (Электронный ресурс), 2013, № 90 (06).

11. Лейер Д.В., Маций С.И., Безуглова Е.В., Деревенец Ф.Н. Исследование взаимодействия глинистых грунтов с противооползневыми сооружениями инженерной защиты опор эстакад // Интернет-журнал Науковедение. - 2014. - № 5 (24). - С. 63.

12. Лейер Д.В., Маций С.И. Исследование взаимодействия оползневого грунта с защитными сооружениями опор эстакад // Строительство и архитектура. - 2013. - Т. 1. № 1. - С. 49-53.

13. Шмидт О.А., Гохаев Д. В., Сопротивление сдвигу грунта при повторном нагружении образца // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении: материалы международной научно-технической конференции, г. Новочеркасск 13-15 мая 2015 г. / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2015. С. – 198-202.

References

1. Lejer D.V., Macij S.I., Bezuglova E.V. Monitoring i modelirovanie opolznevyh processov na primere goroda Sochi // Stroitel'stvo i arhitektura. - 2013. - Т. 1. № 1. - S. 54-61.

2. Rjabuhin A.K., Macij S.I., Bezuglova E.V. Issledovanie diapazona dopustimyh gorizontal'nyh peremeshhenij buronabivnyh svaj protivopolznevyh sooruzhenij // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2013. - № 41. - S. 160-163.

3. Rjabuhin A.K., Macij S.I., Bezuglova E.V. Issledovanie diapazona dopustimyh gorizontal'nyh peremeshhenij buronabivnyh svaj protivopolznevyh sooruzhenij // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura. - 2013. - № 31-2 (50). - S. 279-283.

4. Smirnov S.G., Shadunc K.Sh., Macij S.I. Protivopolznevoe sooruzhenie dlja zashhity podzemnyh truboprovodov // Patent na izobretenie RUS 2186907 15.06.2001.

5. Smirnov S.G., Shadunc K.Sh., Macij S.I. Protivopolznevoe sooruzhenie dlja podzemnyh truboprovodov // Patent na izobretenie RUS 2234572 01.04.2003.

6. Macij S.I. Vzaimodejstvie svajnyh rjadov s gruntom opolznei // Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk. - Sankt-Peterburg. - 1991.

7. Lejer D.V., Bogomolov A.N., Macij S.I., Kalashnikov S.Ju., Babahanov B.S., Bezuglova E.V., Kuznecova S.V. Prichiny aktivizacii opolznja na federal'noj avtomobil'noj doroge g. Sochi i meroprijatija po ego stabilizacii // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura. - 2012. - № 29 (48). - S. 6-14.

8. Lejer D.V., Bogomolov A.N., Macij S.I., Babahanov B.S., Bezuglova E.V., Kuznecova S.V. Stabilizacija opolznja na uchastke stroitel'stva zheleznoj dorogi v g. Sochi // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura. - 2012. - № 29 (48). - S. 15-25.

9. Rjabuhin A.K., Macij S.I. Issledovanie diapazona peremeshhenij ankernyh svaj v inzhenerno-geologicheskikh uslovijah Sochinskogo rajona Krasnodarskogo kraja // Trudy

Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. - 2012. - № 39. - S. 155-159.

10. Lyashenko P.A., Shmidt O.A., Gohaev D. V. Issledovanie na modeli razvitiya osadki buronabivnoi svai // Nauchnii jurnal KubGAU _Elektronnii resurs, _ 2013_ № 90 _06.

11. Lejer D.V., Macij S.I., Bezuglova E.V., Derevenec F.N. Issledovanie vzaimodejstvija glinistyh gruntov s protivopolznevymi sooruzhenijami inzhenernoj zashhity opor jestakad // Internet-zhurnal Naukovedenie. - 2014. - № 5 (24). - S. 63.

12. Lejer D.V., Macij S.I. Issledovanie vzaimodejstvija opolznevogo grunta s zashhitnymi sooruzhenijami opor jestakad // Stroitel'stvo i arhitektura. - 2013. - T. 1. № 1. - S. 49-53.

13. Shmidt O.A., Gohaev D. V., Soprotivlenie sdvigu grunta pri povtornom nagruzhonii obrazca // Mehanika gruntov v geotehnike i fundamentostroenii: materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoi konferencii, g. Novoherkassk 13-15 maja 2015 g. / Juzhno-Rossiiskij gosudarstvennyj politehnicheskij universitet (NPI) imeni M.I. Platova. – Novoherkassk: JuRGPU (NPI), 2015. S. – 198-202.