

УДК 624.138.26:624.131.6

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ С ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТЬЮ ПУТЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СВОЙСТВ ГРУНТОВ (НА ПРИМЕРЕ АЛАБЯНО-БАЛТИЙСКОГО ТОННЕЛЯ В МОСКВЕ)

Рассматриваются проектные и технологические решения, направленные на обеспечение конструктивной устойчивости тоннеля, возведенного в сложных инженерно-геологических условиях, после длительного перерыва в строительстве. Анализируются мероприятия по восстановлению несущей способности железобетонных конструкций и ликвидации водопроявлений в тоннеле, а также результаты геотехнического мониторинга.

ИЛЬИЧЕВ ВЯЧЕСЛАВ АЛЕКСАНДРОВИЧ

Доктор техн. наук, профессор, академик РААСН и Международной инженерной академии, заслуженный деятель науки, лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники, вице-президент по направлению "Инновации" РААСН, президент РОМГГиФ (Москва, Россия).

НИКИФОРОВА НАДЕЖДА СЕРГЕЕВНА

Доктор технических наук, старший научный сотрудник, почетный строитель РФ и Москвы, профессор МГСУ, ведущий научный сотрудник НИИСФ РААСН (Москва, Россия).

ГОТМАН ЮРИЙ АЛЬФРЕДОВИЧ

Кандидат технических наук, генеральный директор ООО "Подземпроект" (Москва, Россия).

Основные направления деятельности:

- основания, фундаменты и подземные сооружения, в том числе сейсмостойкое строительство, подземное строительство в условиях городской застройки. Автор более 200 опубликованных работ.

- основания, фундаменты и подземные сооружения, в том числе на слабых грунтах, реконструкция фундаментов, геотехнический мониторинг. Автор 120 опубликованных работ.

- проектирование фундаментов, подземных сооружений, противокарстовых мероприятий, усиление фундаментов существующих зданий, реконструкция. Автор 15 опубликованных работ.

Вопросы строительства подземных сооружений, в том числе транспортных тоннелей, в грунтах, преобразованных струйной цементацией, отражены в работах [1...4] и др.

Реализация проекта "Большая Ленинградка", включавшего строительство уникального сооружения автомобильного Алабяно-Балтийского тоннеля, являющегося составной частью развязки на Соколе и Северо-Западной хорде, стартовала в 2006 г. С 2008 г. приступили к строительству Алабяно-Балтийского тоннеля, которое было приостановлено в 2012 г. Работы по консервации объекта не проводились.

Общая длина тоннеля составляет 1935 м, длина его закрытой части – 1565 м, максимальная глубина – 22,5 м. Строительство выполнялось в условиях плотной городской застройки преимущественно открытым способом, где на расстоянии 10...20 м от краев котлована располагаются жилые и общественные пяти-восьми-этажные здания, имеющие третью категорию состояния конструкций, соответствующую ограниченно работоспособному состоянию. Технические решения по строительству котлована должны были обеспечивать не только устойчивость ограждения при откопке, но и сохранность окружающей застройки путем снижения дополнительных осадков зданий до 1 см для большинства из них.

В зоне пересечения с Ленинградским проспектом на глубине 26 м тоннель проходит под автодорожным Ленинградским тоннелем и действующими тоннелями метро. Допустимое смещение тоннелей метро при проходке, установленное проектом, составляло ± 4 мм. Строительство выполнялось без прекращения движения поездов метро при постоянном контроле перемещений тоннелей в "on-line" режиме.

Для обеспечения возможности выполнения проходки в таких условиях вмещающие тоннель грунты, представленные водонасыщенными песками, в том числе рыхлыми, предварительно закреплялись методами струйной цементации. Это позволило сформировать грунтоцементный (полускальный) массив, в котором штольневим методом осуществлялась поэтапная проходка без негативного влияния на работу тоннелей метро.

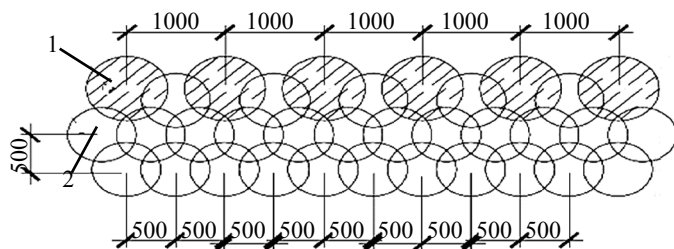


Рис. 1. Типовые решения ограждения котлована:

1 - буронабивные сваи $\varnothing 830$ мм; 2 - грунтоцементные сваи $\varnothing 700$ мм

На участке открытого способа ведения работ в тоннеле ограждающими конструкциями котлована до глубины 22,5 м являются буронабивные сваи (БНС) $\varnothing 830$ мм, с шагом 1000 мм, с забиркой из грунтоцементных свай (ГЦС) $\varnothing 700$ мм в два ряда с шагом 500 мм и одним замковым с шагом 1000 мм (рис. 1) и укреплением грунта под лотком тоннеля при помощи массива из грунтоцементных свай $\varnothing 800$ мм для исключения попадания грунтовой воды в котлован. Данная конструкция ограждения позволяет создать замкнутый контур противодиффузионной завесы, которая дополнительно играет роль распорки, поставленной заранее, что существенно снижает перемещения ограждения котлована при откопке и осадки окружающих зданий и сооружений. На стадии эксплуатации стены из буронабивных свай служат элементами основных несущих конструкций и объединяются с перекрытием, не имея жесткого объединения с лотком. К ограждающим стенам изнутри тоннеля пристраивается прижимная ж/б стена, толщиной 385...600 мм, жестко объединенная с лотком и перекрытием тоннеля.

На основании комплекса выполненных ООО "Подземпроект" расчетов для различных участков и назначений грунтоцементных массивов установлены минимальные прочностные и деформационные характеристики массивов, обеспечивающие требуемый уровень надежности работы сооружения в целом.

Принятые в проекте конструктивные и технологические параметры свай гарантированно обеспечивали достижение необходимых физико-механических характеристик закрепленного грунта для инженерно-геологических условий строительства Алабяно-Балтийского тоннеля.

Выполненные ранее специалистами АО "Мосинжпроект" совместно с учеными МГСУ (д.т.н. И.Я. Харченко) исследования влияния расхода цемента на прочность грунтов, закрепляемых цементацией, показали, что для конструкционного закрепления слабообводненных песков средней крупности с расчетной прочностью при сжатии не менее 5 МПа, обоснованным нормативом расхода цемента является 600 кг/м^3 .

В мае 2014 г. в период сильного ливня произошло частичное подтопление Алабяно-Балтийского тоннеля, что привело к необходимости временного закрытия движения автотранспорта. В связи с этим, по инициативе АО "Мосинжпроект" проф. В.А. Ильичевым была создана группа научного сопровождения из представителей организаций: НИИСФ РААСН, ГУП "Мосгоргеотрест", ООО "Горгеострой", АО "НИЦ "Строительство" (НИИОСП им. Н.М. Герсевича), ООО "Подземпроект", ЗАО "Геоспецпроект", ЗАО "ФРОМ".

В составе работ научного сопровождения были изучены гидрогеологический режим и дана оценка суффозионной опасности; проведены дополнительные инженерно-геологические изыскания в районе существующей застройки, выполнена корректировка проектов усиления фундаментов окружающей застройки, геотехнический мониторинг и обследование тоннеля; составлены экспертные заключения по ликвидации водопроявлений в тоннеле.

Также был проведен комплекс исследований по влиянию строительства на изменение гидрогеологических условий в районе станции метро Сокол, установлению причин водопроявлений в тоннелях и разработке мероприятий по ликвидации водопроявлений и их эффективности. По заданию группы научного сопровождения ГУП "Мосгоргеотрест" пробурил 15 гидрогеологических скважин, по которым проводился гидрогеологический мониторинг.

Практически вся подземная часть Алабяно-Балтийского тоннеля проходит в несвязных песчаных грунтах, представленных песками от пылеватых до крупнозернистых, крайне неоднородных (коэффициент неоднородности на некоторых участках более 10), переслаивающихся между собой. До начала строительства тоннеля и реконструкции Ленинградского проспекта (2007 г.) уровень подземных вод составлял 2...7 м (абсолютная отметка 150...158 м). К середине 2011 г. уровни в пьезометрах в районе строительства за счет водопонижения были снижены до отметок 144,0...145,0 м. В 2012 г. при завершении строительства и откачке воды наблюдался подъем УПВ

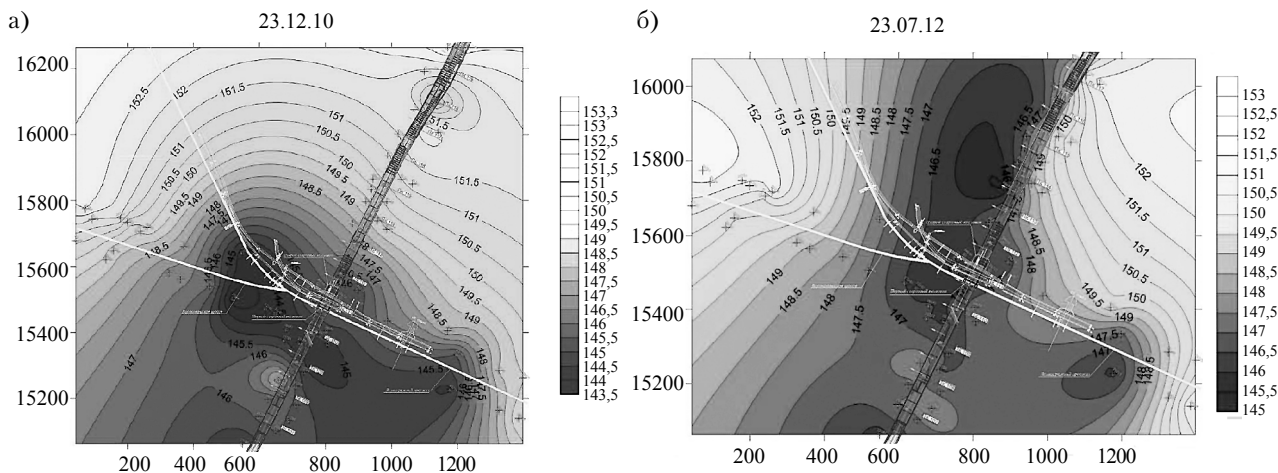


Рис. 2. Карты уровней подземных вод (гидроизогипсы) - в период строительства тоннеля (НПО "КОСМОС"): а - в 2010 г.; б - в 2012 г.

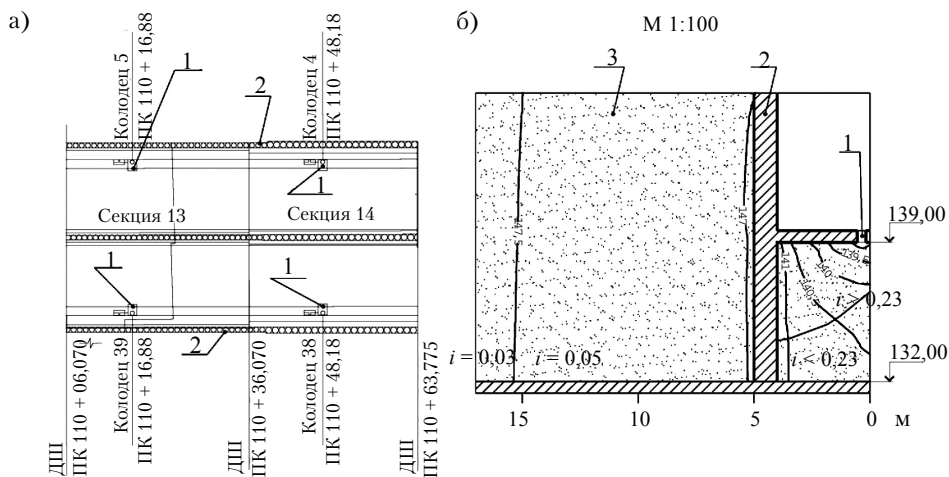


Рис. 3. Схема разгрузочных отверстий и фильтрационный профиль: а - исполнительная схема расположения разгрузочных отверстий в секциях 13 и 14; б - фильтрационный профиль через разгрузочные отверстия; 1 - разгрузочные отверстия; 2 - БНС; 3 - пески разноразмерные $K_{cp} = 5$ м/сут

до 4...7 м (147...150 м). Размеры депрессионной воронки в плане достигали 2 км. По мере продвижения строительства тоннеля на участке ул. Алабяна и, соответственно, откачек воды по Балтийской улице – форма депрессионной воронки изменялась (рис. 2).

В период строительства и на начальных этапах эксплуатации для ликвидации активных протечек и снятия напора подземных вод на отдельных участках тоннеля через его основание было пробурено 10 отверстий диаметром 100 мм, через которые происходил излив большого количества воды.

Гидрогеологические расчеты, выполненные ЗАО "Геоспецпроект", показали, что фильтрационный поток, проходя через БНС, теряет до 6 м напора. С внешней стороны буронабивных свай градиент напора i был равен 0,03...0,05. На участке между буронабивными сваями и разгрузочным отверстием выделено две зоны градиентов – $i > 0,23$ и $i < 0,23$. Значение $i = 0,23$ соответствовало казуальной (случайной) прочности грунта, представленного мелким песком, который чаще всего встречается вдоль трассы тоннеля.

Гидрогеологическое моделирование, выполненное для оценки возможности развития суффозионных процессов в результате применения водопонижения, показало, что радиус опасной зоны развития суффозии равен 4 м от разгрузочного отверстия (рис. 3).

Для выявления разуплотнений в грунтовом массиве проводились дополнительные геофизические исследования грунтового массива: под дном тоннеля (ЗАО "ФРОМ"), у окружающей застройки (ООО "Геологоразведка"), за обделкой тоннеля и БНС (ЗАО "НПФ "Геодизонд"). Вблизи зданий, требующих усиления фундаментов, проводились испытания образцов грунта из скважин, а также статическое зондирование (ГУП "Мосгоргеотрест").

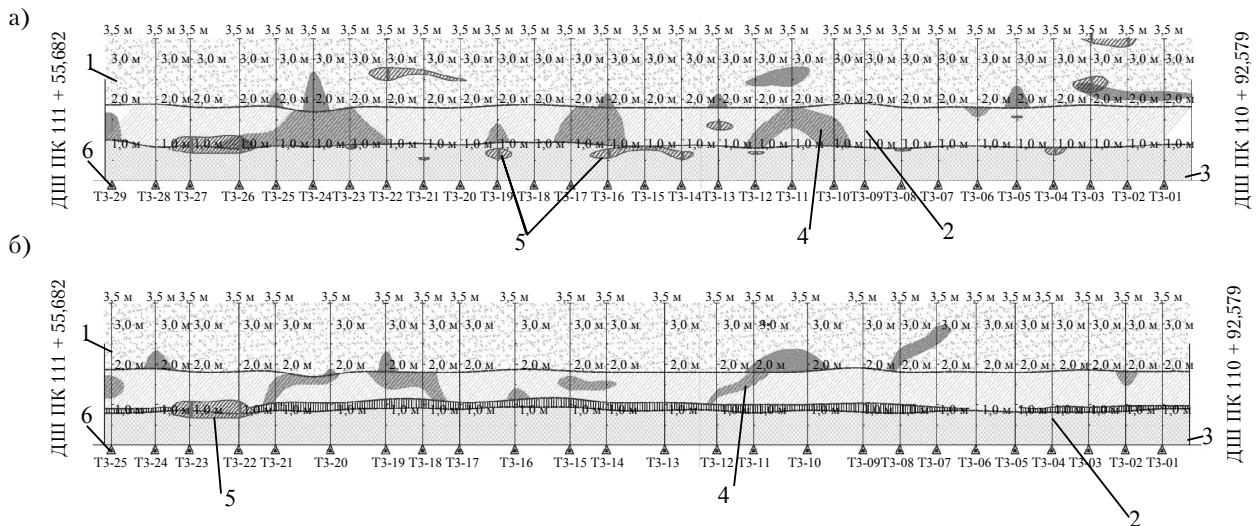


Рис. 4. Разрезы, выполненные на правой стенке Алабяно-Балтийского тоннеля (по данным ООО "ГорГеоСтрой"): а - до закрепления цементным раствором; б - после закрепления; 1 - вмещающие грунты; 2 - БНС противодиффузионной защиты; 3 - монолитный железобетон; 4 - участки обводненных грунтов; 5 - зоны разуплотнения; 6 - точки зондирования, номер и глубина

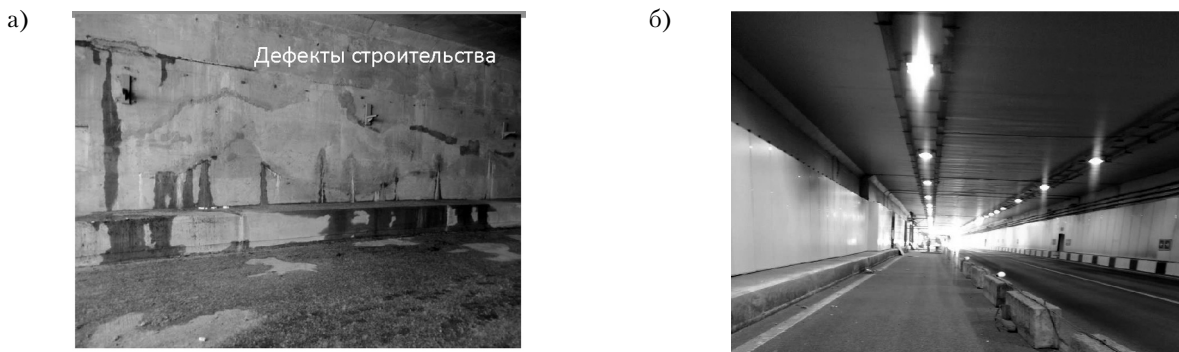


Рис. 5. Алабяно-Балтийский тоннель: а) водопроявления в стенах и примыканиях; б) на этапе завершения работ после перерыва в строительстве

Результаты исследований подтвердили наличие локальных зон суффозионных разуплотнений под днищем тоннеля до 3 м за его обделкой, под улично-дорожной сетью и в основании окружающей застройки.

Разуплотнению грунтов под днищем тоннеля способствовало наличие утолщений (так называемых "зубов") в плите проезжей части, которые блокировали ток воды, создавая локальные напорные градиенты.

Результаты геофизических исследований ЗАО "НПФ "Геодизонд" до начала работ по ликвидации водопроявления показали наличие зон разуплотнения грунта в заобделочном пространстве тоннеля, а после выполнения ООО "ГорГеоСтрой" инъекции цементного раствора за обделку тоннеля подтвердили, что закрепление на обследованном участке выполнено относительно равномерно. При этом толщина слоя грунта, упрочненного инъекционными растворами, варьировалось в пределах 8...23 см (рис. 4).

Подъем уровня подземных вод с июня по октябрь 2014 г. составил 0,2...0,4 м, что можно объяснить существенным сокращением откачки воды через отверстия в днище тоннеля и реализацией мероприятий по ликвидации водопроявлений. На рис. 5 показан вид тоннеля до (а) и после (б) ликвидации водопроявлений.

По результатам исследований была произведена корректировка проектов усиления фундаментов и надфундаментных конструкций, а также укрепления грунтов основания. Ее реализация позволила обеспечить стабилизацию осадок зданий по Балтийской ул. в зоне влияния тоннеля, что подтверждается данными геотехнического мониторинга, осуществляемого НИИОСП им. Н.М. Герсванова.

Научно-Технический совет по строительству объектов метро и транспортной инфраструктуры Департамента строительства города Москвы одобрил комплексный подход НИЦ "ОПП" ("Освоение подземного пространства") и ОАО "Мосинжпроект", по ликвидации водопроявлений на Алабяно-Балтийском тоннеле.

Выводы

1. Основная причина, вызвавшая необходимость проведения работ по ликвидации водопроявлений в Алабяно - Балтийском тоннеле и восстановлению несущей способности железобетонных конструкций заключалась в отсутствии мероприятий по консервации объекта при длительном перерыве в строительстве.

2. Высокая степень фильтрационной неоднородности водонасыщенных грунтов водоносного комплекса является не только следствием природных факторов, но и техногенного влияния инъекций быстросхватывающегося раствора и кольматации водонасыщенных грунтов.

3. Сложные инженерно- и гидрогеологические условия способствовали развитию неблагоприятных природных и техногенных процессов: развитию суффозии, кольматации дренажа, разрушению герметичности швов и мест стыка конструкций Алабяно-Балтийского тоннеля. Это в свою очередь вызвало водопроявление в тоннеле, а также возникновение зон разуплотненного грунта за обделкой тоннеля (по боку и под днищем).

4. Осадки окружающей застройки были вызваны тем, что разработанные ранее защитные мероприятия не были в полной мере реализованы. Проведение работ по укреплению грунтов основания фундаментов зданий и отдельных надземных конструкций по откорректированным проектам стабилизировало осадки зданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильичев В.А., Готман Ю.А. Расчет размеров грунтоцементного массива по контуру котлована для снижения перемещений ограждения котлована до требуемой величины методом оптимального проектирования // "ОФМГ". - 2011. - № 4. - С. 24-31.
2. Мангушев Р.А., Ланько С.В. Влияние грунтоцементных конструкций на горизонтальные перемещения ограждения глубоких котлованов // Вестник ВолгГАСУ. - Волгоград, 2012. - № 27 (46) . - С. 24-31.
3. Никифорова Н.С. Обеспечение сохранности зданий в зоне влияния подземного строительства. - МИСИ-МГСУ, 2016. - 2-е издание. - 154 с.
4. Черняков А.В. Применение инновационных разработок при строительстве тоннелей в сложных градостроительных и инженерно-геологических условиях. // Метро и тоннели. - М., 2011. - № 3. - С. 8-12.

КАЗАРНОВСКИЙ ВЛАДИМИР ДАВИДОВИЧ (1933-2017)

В апреле 2017 г. на 84 году ушел из жизни профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик Международной академии транспорта РФ, почетный строитель России, почетный дорожник России, член РОМГГиФ, председатель экспертно-научного совета Межправительственного совета дорожников, Казарновский Владимир Давидович.

Владимир Давидович был ученым с мировым именем в области проектирования и строительства дорожных конструкций, создал теорию индивидуального проектирования земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. Он усовершенствовал теорию расчета нежестких дорожных одежд и активно участвовал в разработке отраслевых нормативных документов. Казарновский В.Д. возглавлял направление научно-технического сопровождения проектов строительства автомобильных дорог в сложных инженерно-геологических условиях.

Владимир Давидович обладал всесторонней эрудицией, был отзывчив, внимателен ко всем, с кем общался.

Многочисленные последователи научной школы д.т.н. Казарновского В.Д. продолжают развивать его идеи и разработки, основываясь на научных трудах Владимира Давидовича, число которых составляет более 300.

Казарновский Владимир Давидович навсегда останется в памяти друзей, коллег и учеников.