

ОПЫТ УСИЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ В ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТАХ ГОРОДА КАЗАНИ

В.Р. МУСТАКИМОВ, к.т.н, доцент, главный специалист^{1,2}

Р.И. ШАФИГУЛЛИН, аспирант, инженер^{1,2}

С.Н. ЯКУПОВ, к.т.н., инженер²

А.В. МУСТАКИМОВ, архитектор²

Р.И. ДАМИНОВ, главный конструктор³

¹ Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ул. Зеленая, д. 1, г. Казань, РФ, 420043

² Государственное унитарное предприятие «Татинвестгражданпроект»

ул. Чехова, д.28, г. Казань, РФ, 420043

³ ОАО «Институт»Татдорпроект», ул. Губкина, д.31, г. Казань, РФ, 420043

Приведен обзор и анализ проектирования, строительства и мониторинга за техническим состоянием подземных пешеходных переходов, возведённых на водонасыщенных грунтах города Казани в районах с развитой инфраструктурой. Изложены современные и эффективные способы подведения свай под фундаменты подземных сооружений, а также усиления слабых водонасыщенных грунтов основания при помощи вертикальных армоэлементов в стесненных условиях городской застройки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водопонижение, осадка, трещина, депрессионная кривая, поровое давление, гидроизоляция, свая, цементогрунтовый армоэлемент, мониторинг.

В преддверии успешно проведенным в 2013 году Универсиады и в 2015 году чемпионата мира по водным видам спорта в Казани, наряду с возведением новых и реконструкции существующих спортивных сооружений, выполнен значительный объем комплекса изыскательских, проектных, строительно-монтажных и исследовательских работ по созданию инженерно-технической и транспортно-пешеходной инфраструктуры, способствующий полноценному функционированию современного города-миллионника. Сейчас третья столица России, город Казань готовится к проведению в 2018 году чемпионата мира по футболу. Для систематизации и повышения пропускной способности основных надземных и подземных транспортных артерий города, а также создания безопасной и комфортной среды для его жителей и гостей, осуществлены и продолжают работы по активному освоению подземного пространства (метро, многоуровневые транспортные развязки, подземные пешеходные переходы, подземные одно и многоуровневые стоянки автотранспорта). Интенсивное строительство подземных объектов, способствует накоплению практического опыта проектирования и возведения подземных сооружений в особых инженерно-геологических и гидрогеологических условиях столицы Татарстана, среди которых следует отметить слабые водонасыщенные грунты [1]. Наряду с положительным опытом проектирования и возведения объектов подземной урбанизации на слабых водонасыщенных грунтах, имеются примеры геотехнических решений, практическая реализация которых, привела к образованию неравномерных деформаций осадок конструкций переходов. Возникла необходимость в проведении усилительно-восстановительных мероприятий. Поэтому, с целью исключения технико-технологических и производственных ошибок, на примере двух вновь возведённых подземных переходов в Казани, авторы делятся накопленным опытом.

Опыт возведения подземных пешеходных переходов открытым способом в Казани.

За последний период в стесненных условиях сложившейся структуры города Казани, возведено много подземных пешеходных переходов открытым способом, с использованием двух технологических приёмов, при помощи совре-

менных строительных машин и механизмов. В зависимости от конкретных градостроительных условий, подземные сооружения пешеходных переходов, возводились с полным или частичным прекращением транспортного движения по ширине проезжей части улицы. Например, подземные пешеходные переходы на пересечении улиц Вишневого-Шмидта и по улице Батурина, вблизи от Казанского Кремля, возводились одновременно на всю ширину автомобильной дороги, а конструкции коробчато-стенового железобетонного остова аналогичных переходов на пересечении улиц Ямашева-Адоратского и Эсперанто-Качалова, возведены по захваткам, с условным разделением ствола перехода вдоль оси на две очереди под проездами вначале в одном, а затем в противоположном направлении движения автотранспорта. Если одновременно возведённые подземные сооружения введены в строй и находятся в режиме нормальной эксплуатации, то подземные переходы по улицам Амирхана и Эсперанто, уже на стадии их возведения на слабых водонасыщенных грунтах, при некорректном поверхностном водопонижении, приобрели неравномерные сверхнормативные деформации осадки. Как следствие, в конструкциях покрытия, стенах и днище ствола перехода образовались сквозные трещины силового происхождения. С целью установления причин, вызвавших деформации сооружений, авторами решены задачи по инженерному обследованию технического состояния их железобетонных конструкций с инструментальным освидетельствованием фактической прочности, геометрии и мониторингового наблюдения за неравномерными осадками. По результатам проведённых полевых и камеральных работ, с учетом требований ГОСТ 53778-2010 [2] был разработан комплекс усилительно-восстановительных инженерно-технических мероприятий и рекомендован заказчику к реализации [3, 4]. Предложенные решения выполнены и за техническим состоянием подземных сооружений осуществляется мониторинговое наблюдение.

Подземный пешеходный переход на пересечении улиц Ямашева- Адоратского в г. Казани

Сооружение возведено в 2011 году и представляет собой подземный пешеходный переход, пространственная жесткость которого, обеспечивается остовом из монолитного железобетона. Железобетонный коробчатый остов состоит из днища, вертикальных стен и плиты покрытия (рис. 1). В составе комплекса подземного перехода имеются: ствол тоннеля, лестничные сходы с пандусами и технические помещения обслуживания. Протяженные участки подземного пешеходного перехода разделены на отдельные блоки простой геометрической формы, посредством устройства деформационных (осадочных) швов. Толщина железобетонного днища тоннеля составляет 400 мм, стен тоннеля по – 300 мм, толщина покрытия – 350 мм. Высота и ширина тоннельной части перехода, соответственно, составляет 2800 мм и 4500 мм. Лестницы выполнены шириной 3000 мм и со ступенями высотой по 150 мм и шириной по 300 мм.

Территория застройки представляет собой заболоченную местность. В геологическом строении, сверху вниз, до глубины 15,0-20,0м принимают участие семь инженерно-геологических элементов (таблица 1, рис. 1,а).

Гидрогеологические условия участка строительства характеризуются наличием двух водоносных горизонтов. Первый водоносный горизонт - верховодка и вскрыт на глубинах 0,9-1,4м (56,14 – 56,60м, БС). Второй - обладающий местным напором, вскрыт в песках на глубинах 7,4-10,8м (46,75–50,14м БС). Установившийся уровень подземных вод зафиксирован на глубинах 3,6–4,2м (53,35–53,90м БС). В связи с высоким уровнем подземных вод и агрессивностью среды, при строительстве было выполнено строительное водопонижение уровня напорных подземных вод методом открытого водоотлива. Для этого на строи-

тельной площадке, вдоль ствола тоннельной части, были предусмотрены три зумпфа глубиной по 1,2 м ниже подошвы днища тоннеля, из которых водяными насосами производилось регулярное откачивание напорных вод со сбросом в дренажную систему (рис. 1).

Таблица 1

№№ ИГЭ	Наименование инженерно-геологических элементов	Мощность ИГЭ, м	Физико-механические свойства			
			γ , кН/м ³	φ , град	c , кПа	E , МПа
ИГЭ-1НС	Насыпной песок со щебнем до 40%	0,5-0,7	-	-	-	-
ИГЭ-1А	Насыпная глина в текучем состоянии	1,2-1,5	-	-	-	-
ИГЭ-2	Суглинок мягкотекучепластичный	1,5-2,0	19,2	23	20,0	3,0
ИГЭ-2А	Глина текучепластичная	3,5-4,0	18,2	16	22,0	3,0
ИГЭ-3	Торф среднеразложившийся	2,5-3,0	12,4	18	14,0	0,4
ИГЭ-6	Песок средней крупности, плотный, водонасыщенный с линзами суглинка	2,5-3,0	19,4	36	0,0	33,0
ИГЭ-6А	Песок ср. крупности, ср. плотности, водонасыщенный с линзами суглинка	-	20,1	34	0,0	35,0

При возведении подземного сооружения открытым способом в водонасыщенных грунтах, по всему периметру котлована, выполнено шпунтовое ограждения из стальных труб с заостренным нижним концом, забитых при помощи пневматического погружателя (рис. 1з, д, е). Инструментальным инженерным обследованием с освидетельствованием характеристик железобетонных конструкций тоннеля, методами неразрушающего контроля, установлено, что класс бетона составляет В22,5 (М300), морозостойкость F200, водонепроницаемость W4, армирование осуществлено стержнями из арматуры класса А-III и А-I. Гидроизоляция железобетонных конструкций днища, стен и покрытия тоннеля выполнена по наружному контуру из наклейки 3-х гидроизоляционных слоев системы "Изопласт" типа П ЭПП 4,0 по ТУ 5774-005-05766480-95. В деформационных швах и в местах примыкания покрытия к стенам тоннеля предусмотрены «гидрошпонки», предназначенные для гидроизоляции и герметизации стыков между блокируемыми элементами тоннеля. Герметичность деформационных швов обеспечена посредством применения слоев из: стеклоткани и жгута диаметром 40 мм, пропитанных битумом; 3-х слоев битумно-полимерного материала "Изопласт" ПЭПП 4,0.

Уже в процессе строительства подземного перехода с режимным водопонижением во вновь возведенных конструкциях остова (стенах и покрытии) тоннельной части, между разбивочными осями 8-11/Е-М, выполненных из монолитного железобетона освидетельствованного класса В22,5 (М300), стали формироваться и развиваться сквозные наклонные и слабонаклонные трещины. Инструментальными исследованиями установлено, что причинами образования трещин в конструкциях стволовой части подземного перехода послужила неравномерная деформация осадки массива водонасыщенного грунта в сложных инженерно-геологических условиях, при некорректной технологии водопонижения. Неравномерные деформации осадки зафиксированы по результатам инструментального геодезического наблюдения в режиме мониторинговых измерений высотных отметок конструкций возведенной части тоннеля. Инструмен-

тальные геодезические наблюдения выполнены ООО «Стройхолдинг». Для анализа результатов проводимого мониторинга, авторами составлена сводная сравнительная таблица, а также построены эпюры развития неравномерных осадок. Результаты инструментальной инженерно геодезической съёмки вертикальных отметок основных конструктивных элементов и эпюры неравномерных деформаций осадок фундамента тоннельной части подземного пешеходного перехода во времени приведены в таблице 2.

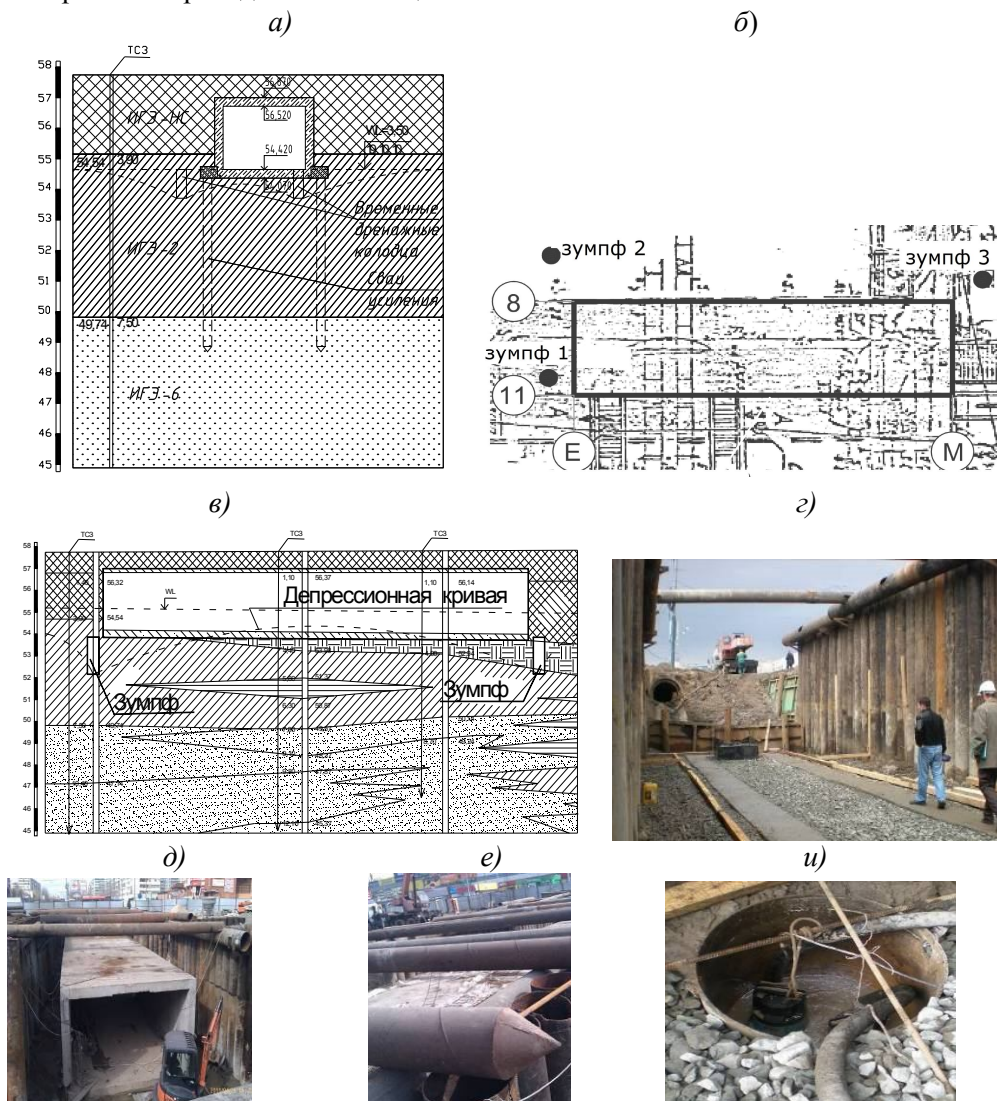


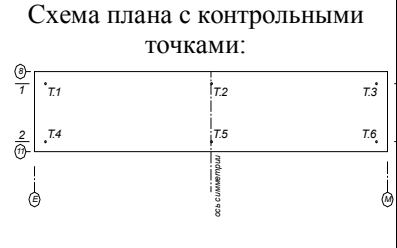
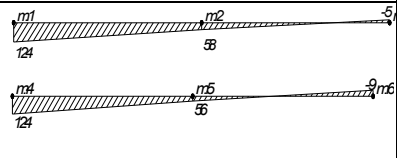
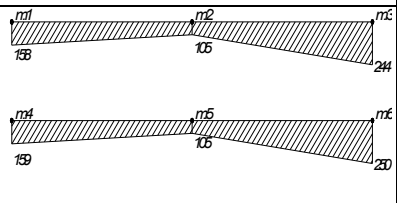
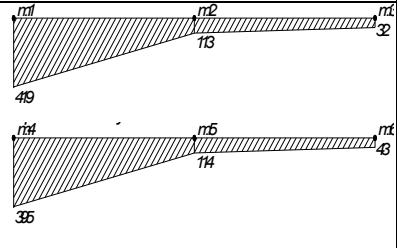
Рис. 1. Подземный пешеходный переход на пересечении улиц Ямашева-Адоратского в Казани: *а* - инженерно-геологический разрез; *б* - план с расположением зумпфов; *в* - продольный разрез по переходу с зумпфами и депрессионной кривой; *г* - котлован с креплением стен шпунтом; *д* - стволовая часть перехода; *е* - оголовки элементов погруженного шпунта и лобовая часть свай усиления *и*-зумпф с водяным насосом при строительном водопонижении методом поверхностного водоотлива

Согласно замерам, по сравнению с проектными отметками неравномерные осадки точек дна составили от 32 мм до 419 мм, что оценивается, как недопустимое состояние для коробчатой железобетонной конструкции тоннельной части. Как видно из таблицы 2 с эпюрами неравномерных деформаций осадок фундамента тоннельной части подземного перехода, замеренных во времени, в

контрольных точках №1, №2, №3 по линии 1-1 и в точках №4, №5, №6 по линии 2-2, формирование и развитие деформаций соответствует строительно-технологическому процессу по времени выполнения работ при поверхностном водоотливе.

Установлено, что основной причиной образования трещин в конструкциях подземного перехода, концентрация которых зафиксирована в стенах и покрытии средней зоны протяженного тоннеля коробчатого поперечного сечения, является: неравномерная осадка плитного днища тоннельной части перехода, в основании которого расположены водонасыщенные грунты с разной степенью сжимаемости в пределах контура фундамента.

Таблица 2

Схема плана с контрольными точками: 	Осадка контрольных точек по 1-1, мм			Осадка контрольных точек по 2-2, мм		
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
	По состоянию на 01.12.2010 года:					
	-124	-58	+5	-124	-56	+9
	По состоянию на 01.02.2011 года:					
	-158	-105	-244	-159	-105	-250
	По состоянию на 22.04.2011 года:					
	-419	-113	-32	-395	-114	-43

Неравномерные деформации осадки протяженного сооружения тоннеля связаны с процессом снижения прочностных характеристик (угла внутреннего трения ϕ , удельного сцепления c) и повышением деформативности (снижение модуля деформации E и повышением осадки s) грунтов основания, вызванные некорректным применением принципа и технологии временного строительного водопонижения из локальных приямков-зумпфов, расположенных на значительном расстоянии друг от друга по торцам возводимого тоннеля (рис. 1б, в, и). Формирование депрессионной кривой между локально расположенными зумпфами при неравномерном понижении высокого уровня подземных вод вдоль ствола тоннеля, создало новое напряженно-деформированное состояние в пределах массива грунта, расположенного под подошвой днища. При этом, в средней части, вдоль ствола тоннеля, уровень подземных вод понизился незначительно, поэтому напряженно-деформированное состояние (НДС) грунта основания изменилось за счет осадки в результате преодоления реактивного дав-

ления в поровой воде « P_w » (нейтральное давление-сопротивление), а также в скелете грунта « P_{str} » (эффективное давление-сопротивление), в целом сохранив относительный баланс условного статического равновесия между внешним дополнительным контактным давлением « P_l » и суммой $P_w + P_{str}$ ($P_l = P_w + P_{str}$), и следовательно осадка происходят без отжатия воды из пор грунта, что полностью соответствует классической теории [5,8,9]. В торцевых зонах тоннеля, где при строительстве производилось понижение уровня подземных вод за счет ее откачивания из заглубленных приямков-зумпфов, расположенных на расстоянии 23,781 м друг от друга, величина замеренной осадки « S » от приложенного дополнительного давления значительно больше. При водопонижении и освобождении пор от поровой воды, величина порового давления приобретает нулевое значение $P_w = 0$. Следовательно, всю величину внешнего дополнительного давления « P_l » от тоннельной конструкции воспринимает только неустойчивая структура грунта, из пор которого, откачана и отжата вода. Поэтому статическое равновесие грунтового массива обжатого внешней нагрузкой « P_l » грунта обеспечивается только за счет реакции скелета грунта « P_{str} ». При этом происходит процесс переупаковки и уплотнения скелета грунта в зоне обжатия, а следовательно – неравномерная осадка днища тоннеля (таблица 2).

Для исключения прогрессирующего процесса развития деформации грунта основания при водопонижении и вызванной этим неравномерной осадки конструкции тоннеля, на основании выводов и рекомендаций авторов [3] АО «Институт «Татдорпроект» разработаны проектные решения и реализованы усилительно-восстановительные мероприятия по «пересадке» конструкции плитного фундамента перехода на свайные фундаменты из стальных пневмопогружных свай с заделкой лобовой их части в надёжные песчаные слои грунта. В качестве опорного слоя для размещения лобовой части свай усиления, рекомендован плотный песок средней крупности ИГЭ №6 и песок средней крупности, средней плотности ИГЭ №6а, (таблица 1 и рис. 1а). Инженерно-технические решения по «пересадке» плитного фундамента на свайные ряды с подведением пневмопогружных трубобетонных стальных свай под продольные крайние стены тоннеля и лестницы входов, позволили стабилизировать неравномерные осадочные деформации и ввести объект в эксплуатацию (рис. 2).

Подземный пешеходный переход на пересечении улиц Эсперанто-Качалова в Казани

Сооружение возведено в 2012 году, но уже в 2013 году зафиксировано образование и развитие сквозных трещин в несущих конструкциях продольных стен и покрытия тоннельной части, выполненной из монолитного железобетона. Причиной деформации послужила неравномерная осадка водонасыщенного грунта основания под подошвой плитной конструкции днища, в результате нарушения технологии и принципов строительного водопонижения при возведении сооружения. Площадка с возведенным подземным сооружением сложена аллювиально-делювиальными отложениями (таблица 3).

Геоморфологически, объект расположен на первой надпойменной террасе левобережья Волги, на расстоянии 1000 м от озера Средний и Нижний Кабан. Абсолютные значения отметок проезжей части, шириной 31 м составляют 58,69–58,81 м (БС), при уровне расположения подземных вод $WL = 55,13$ –55,30 м (БС). Уровень пола подземного перехода 54,50 м (БС). Следовательно, отметка пола подземного перехода на 0,63–0,80 м ниже уровня напорной подземной воды WL . Питание водоносного горизонта осуществляется за счет «подпора» Куйбышевского водохранилища, а также гидравлической взаимосвязи с уровнем воды в озерах Нижний и Средний Кабан.

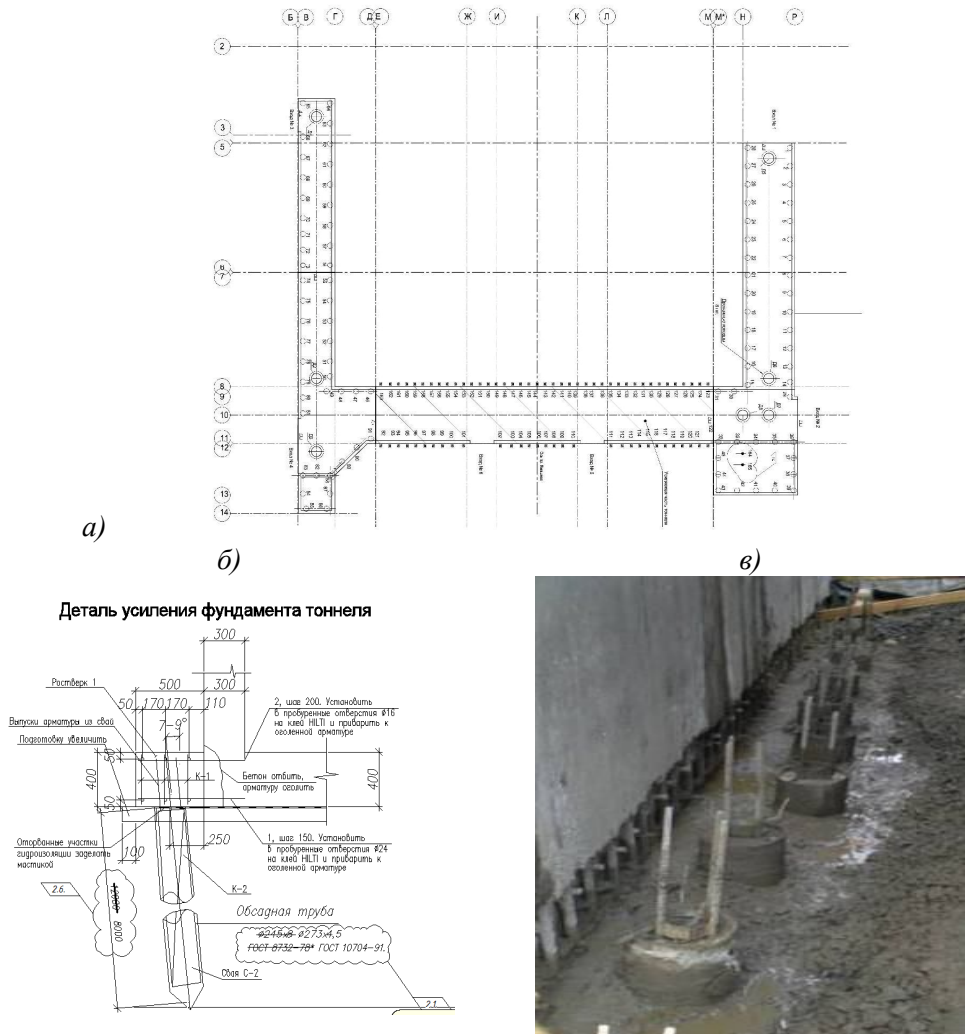


Таблица 3

№№ ИГЭ	Наименование инженерно- геологических элементов	Мощность ИГЭ, м	Физико-механические свойства				
			γ , кН/м ³	φ , град	c , кПа	E , МПа	k_f , м/сут
ИГЭ-НС	Насыпной грунт	1,5-5,0	19,7	33	23,0	29,0	1,800
ИГЭ-2а	Глина полутвердая с торфом	1,4-2,5	18,7	15	39,3	13,9	0,005
ИГЭ-4а	Супесь твёрдая	1,3-2,1	19,0	24	15,0	10,0	0,150
ИГЭ-4б	Супесь пластичная	1,2-3,4	19,3	19	11,4	8,4	0,170
ИГЭ-4в	Супесь текучая	1,5-1,8	20,0	17	9,0	5,3	0,200
ИГЭ-6а	Песок мелкий, ср. плотности, водонасыщенный ($S_r = 0,99$)	3,2-6,0	19,7	33	3,0	29,0	1,800
ИГЭ-7а	Песок ср. крупн., ср. плотн., водонасыщенный ($S_r = 0,92$)	1,0-7,2	20,2	38	2,0	40,0	1,380

Причиной образования трещин в конструкциях подземного пешеходного перехода, концентрация которых наблюдается в срединной части ствола короб-

чатого тоннеля, является неравномерная осадка его днища, в основании которого расположены водонасыщенные грунты в сложных инженерно-геологических условиях с разной сжимаемостью по длине перехода. Неравномерная осадка тоннеля вызвана процессом снижения прочностных характеристик (φ , c) и повышением деформативности грунтов основания за счет снижения модуля деформации (E). Эти изменения, вызваны некорректным проведением работ по строительному водопонижению из аварийного приямка глубиной 3,50м от уровня пола, расположенного в помещении проектной насосной (рис. 3).

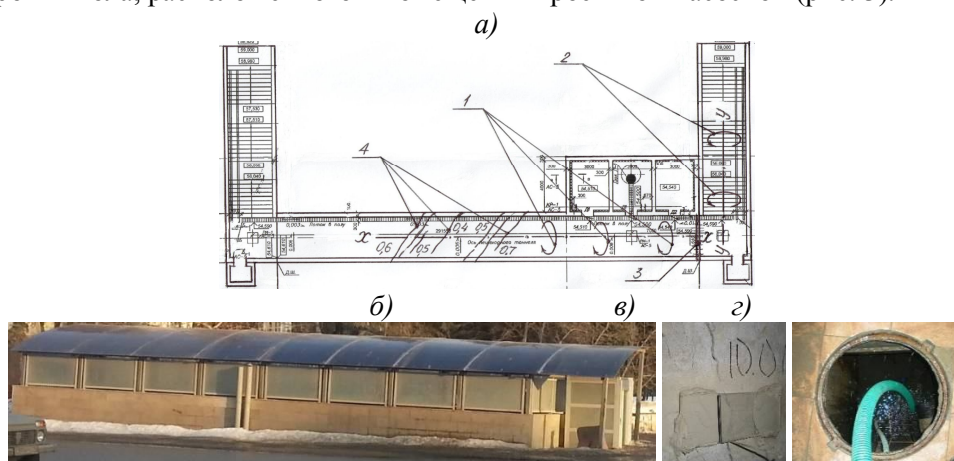


Рис. 3. Подземный переход на пересечении улиц Эсперанто-Качалова в Казани: *а*-план с изображением сквозных наклонных трещин в конструкции покрытия, деформаций кручения ствола тоннеля и лестницы; *б*-неравномерная осадка надземной части одного из выходов; *в*-трещины в стенах; *г*-аварийный приямок с насосом; *1*-схематизированное изображение деформации неравномерной осадки с кручением части ствола вдоль продольной геометрической оси X-X; *2*-то же, вдоль продольной геометрической оси Y-Y одной из лестниц; *3*-повреждения бетона в зоне деформационного шва; *4*-сквозные наклонные трещины с раскрытием 0,4-0,7мм, протяженностью 750-4200мм в конструкции покрытия из железобетона.




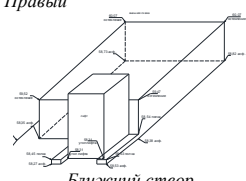


Рис. 4. Подземный переход на пересечении улиц Эсперанто-Качалова в Казани: *а* – процесс возведения подземной части дренажной камеры после сооружения ствола тоннеля; *б* – вымыв грунта из под ствола пешеходного перехода в ходе СМР; *в* – дренажная камера, процесс вымывания грунта из-под днища пешеходного перехода

Установлено [4], что при строительстве с водопонижением, была нарушена последовательность выполнения технологических процессов, герметичность соединения дренажной системы и аварийного приямка (рис.4). Длительное откачивание подземной воды из негерметичного приямка привело к вымыванию минеральных частиц (механической суффозии) из массива слабого водонасыщенного грунта за счёт разряжения, создаваемого функционирующим водяным насосом, размещённым в помещении насосной станции. Откачиваемая вода имела мутный цвет (рис.4, д). Формирование депрессионной кривой при строительном понижении уровня подземных вод WL с единовременным выносом ми-

неральных частиц, создало новое напряженно-деформированное состояние (НДС) в пределах массива грунта, расположенного под подошвой днища. В срединной части ствола тоннеля, уровень подземных вод понизился незначительно, поэтому НДС грунта основания изменилось за счет осадки в результате преодоления реактивного давления в поровой воде « P_w », а также в скелете грунта « P_{str} », в целом сохранив относительный баланс условного статического равновесия между внешним давлением « P_l » и суммой $P_w + P_{str}$, т.е. ($P_l = P_w + P_{str}$) [8, 9]. При этом осадка произошла без отжатия воды из пор грунта. На конечном участке тоннеля, где производилось регулярное откачивание подземной воды из неисправного приямка, расположенного на расстоянии 25м от противоположного края тоннеля, величина осадки « S » зафиксирована со значительно большими значениями чем в остальных зонах под плитой фундамента. При откачивании поровое давление понизилось до нуля ($P_w = 0$). Следовательно, всю величину внешнего дополнительного давления « P_l » от тоннельной конструкции воспринимает только скелет слабого грунта « P_{str} », структура которого нарушена и значительная часть минеральных частиц откачана вместе с водой. Статическое равновесие грунтового массива обжатого внешней нагрузкой « P_l » грунта обеспечивается только за счет реакции ослабленного скелета грунта « P_{str} », при этом $P_l > P_{str}$. Происходит процесс уплотнения скелета грунта в зоне образования механической суффозии и неравномерная осадка днища тоннеля (таблица 4).

Таблица 4. Схемы неравномерной осадки тоннельной части и лифта подземного перехода во времени

Схема к геодезическому мониторингу неравномерной осадки тоннельной части подземного перехода	Конструктивные элементы перехода	Геодезические марки на конструкциях	Абсолютная отметка (БС) в м., по результатам инструментального наблюдения во времени			Деформация, ±-осадка - подъем мм	
			10.01.2013	06.03.2013	17.03.2013		
<p>Тоннель подземного перехода: Съёмка 10.01.2013г.</p>  <p>Съёмка 06.03.2013г.</p>  <p>Съёмка 17.03.2013г.</p> 	Вход левый	Днище	53,96	53,94	53,84	-120	
		Стены	55,41	55,37	-	-40	
		Потолок	56,48	56,44	56,09	-390	
	Тоннельная часть перехода	Днище	Слева	54,22	54,19	53,92	-300
			Центр	54,42	-	54,28	-140
			Справа	54,56	54,56	54,55	-10
		Стены	Слева	55,42	55,39	-	-30
			Центр	-	-	-	-
			Справа	56,03	56,03	-	-
		Потолок	Слева	56,49	56,46	56,15	-340
			Центр	-	-	56,47	-
			Справа	56,96	56,97	56,95	-10
	Вход правый	Днище	-	-	54,50	-	
Стены		55,72	55,73	-	+10		
Потолок		-	-	56,97	-		
<p>Покрытие входа и лифт Съёмка 27.03.2014г. Дальний створ</p> <p>Левый Правый</p>  <p>Ближний створ</p>	Покрытие над лестницей входа	Дальний створ	Левый	60,07	-	-	-
			Правый	60,07	-	-	-
		Ближний створ	Левый	59,52	-	-	-550
			Правый	59,47	-	-	-600
	Лифт	Дальний створ лифта	Левый	58,38	-	-	-
			Правый	58,38	-	-	-
		Ближний створ лифта	Левый	58,31	-	-	-70
			Правый	58,31	-	-	-70

Для предотвращения прогрессирующей во времени неравномерной деформации осадки конструкций тоннеля, включая: ствол; одну из лестниц; лифт, были рассмотрены различные варианты, предложенные разными организациями. По настоянию застройщика, основным критерием для всех вариантов должна

быть схема «пересадки» плиты фундамента на сваи или опоры. В этой связи рассматривался вариант «пересадки» на сваи усиления, при котором, работы проводились из внутренней полости тоннеля с прорезкой конструкции днища и нарушением целостности гидроизоляции, со всеми вытекающими из этого последствиями по её восстановлению в водонасыщенных грунтах с постоянным подпором подземной воды. Авторами предложен [4], АО «Институт «Татдор-проект» разработан проект и подрядной организацией реализован комплекс инженерно-технических мероприятий, включая: закрепление водонасыщенного грунта основания под подошвой плитного фундамента тоннеля с его наружной стороны, без нарушения целостности и герметичности гидроизоляции, при помощи подведения под опорную часть плиты фундамента вертикальных цементогрунтовых армирующих элементов-столбов, выполненных по технологии струйной цементации с техническим мониторингом (рис. 5); после завершения прогрессирующей неравномерной осадки и достижения стабилизации деформаций, произвести инъекцию всех трещин ремонтными составами на основе цемента; выполнить рихтовку ствола накренившейся шахты лифта.

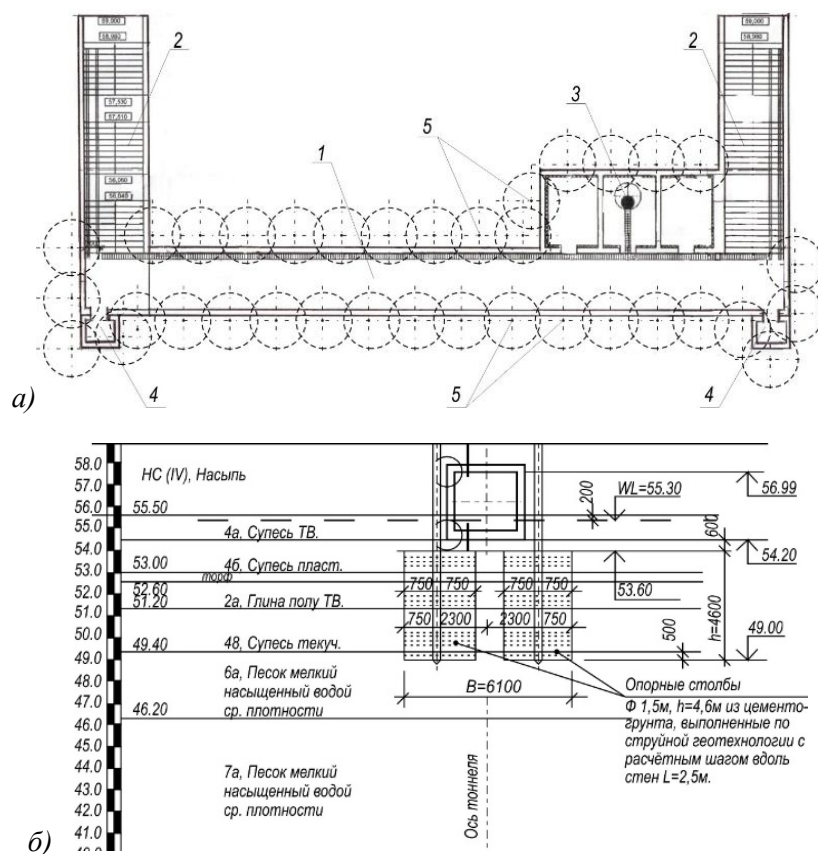


Рис. 5. Усиление слабого водонасыщенного грунта основания под подошвой плитного фундамента подземного пешеходного перехода на пересечении улиц Эсперанто- Качалова методом подведения вертикальных цементогрунтовых армоэлементов с наружной стороны сооружения, выполненных по технологии струйной цементации. а - план подземного перехода с расположением вертикальных цементогрунтовых армоэлементов; б - поперечный разрез ствола подземного перехода с элементами усиления; 1- ствол перехода; 2-лестницы; 3-приямок; 4-лифты; 5-элементы усиления из цементогрунта

При выборе наиболее приемлемого в конкретных инженерно- геологических и гидрогеологических условиях варианта усиления грунта основания, бы-

ли приняты во внимание следующие факторы: уровень напорных подземных вод расположенный на 1,5 м выше отметки пола подземного перехода; сохранение целостности и герметичности конструкции вертикальной и горизонтальной гидроизоляции ствола и лестниц тоннеля; эксплуатация подземного перехода должна осуществляться при режимном включении водяного насоса для откачивания скапливающейся подземной воды в железобетонном приямок. В настоящее время деформации неравномерной осадки стабилизировались. Объект готовится к вводу в эксплуатацию.

Таким образом, учитывая особенности культуры производства строительно-монтажных работ в процессе проведения инструментального инженерного обследования с геотехническим мониторингом и комплексом рекомендованных авторами [3, 4], разработанных АО «Институт «Гатдорпроект» и реализованных подрядной строительной организацией инженерных усилительно-восстановительных мероприятий, можно сделать следующие выводы:

1. Конструкции фундаментов подземных пешеходных переходов, возводимых на водонасыщенных грунтах в сложных инженерно-геологических условиях с использованием строительного водопонижения, по технологическим захваткам, с целью исключения неравномерных деформаций осадок фундаментов над зонами депрессионных воронок от водопонижения, рекомендуется проектировать и возводить на свайных фундаментах или искусственных основаниях из вертикальных цементогрунтовых армоэлементов, лобовая часть которых должна быть заделана в надежные грунты основания.

2. Герметизацию горизонтальных и вертикальных технологических и осадочно-температурных швов в конструкциях фундаментов, стен и покрытия подземных сооружений, целесообразно выполнять из современных типов гидрошпонок, воспринимающих гидравлический напор от подземных вод и проявляющих свойство набухания при контакте с водой подтопления.

Л и т е р а т у р а

1. Мустакимов В.Р. Проблемы геотехники в современном строительстве и реконструкции зданий и сооружений Казани// Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – №2(6)/2006. – КГАСУ, Казань. – С. 66-68.

2. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. –Москва: Стандартинформ, 2010.

3. Техническое заключение по результатам инженерного обследования строительных конструкций строящегося подземного пешеходного перехода, расположенного на пересечении улиц Ямашева-Адоратского в г. Казани РТ. Заказ №6104/3.2, инв. №ТО-11754. ГУП «Татинвестгражданпроект», Казань, 2011, с. 81.

4. Техническое заключение по результатам инженерного обследования строительных конструкций строящегося подземного пешеходного перехода, расположенного на пересечении улиц Эсперанто-Качалова в г. Казани РТ. Заказ №8431, инв. №ТО-11286. ГУП «Татинвестгражданпроект», Казань, 2013, с. 81.

5. Основания, фундаменты и подземные сооружения: Справочник проектировщика. – М. И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В. И. Крутов и др.; Под общ. ред. Е. А. Сорочана и Ю. Г. Трофименкова.-М.: Стройиздат, 1985.- С. 411-457.

6. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*, Минрегионразвития РФ, М., 2011, 93с.

7. СП 21.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85, Минрегионразвития РФ, М., 2011, 90с.

8. Ninomiya, Y., Hagiwara, R., Azuma, T. Rise of excess pore water pressure and uplift of underground structures due to liquefaction// Proceedings of the First International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, 1995, pp. 1023-1028.

9. Hetenyi M. Beams on Elastic Foundation. – University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1976.

References

1. *Mustakimov, V.R.* (2006). Geotechnical problems in contemporary construction and reconstruction of buildings and structures of Kazan, Kazan: *Izvestiya KGASU*, No 2(6), p. 66-68.
2. *GOST R 53778-2010*. Buildings and Structures. Rules of inspection and condition monitoring, Moscow, 2010.
3. A technical report on the results of the engineering survey of building structures being built underground pedestrian crossing located at the intersection of Yamashev and Adoratskiy Strs. in Kazan (Order №6104/3.2), SUE "Tatinvestgrazhdanproekt", Kazan, 2011.
4. A technical report on the results of the engineering survey of building structures being built underground pedestrian crossing located at the intersection of Esperanto and Kachalov Strs. in Kazan RT (Order №8431). SUE "Tatinvestgrazhdanproekt", Kazan, 2013, p. 81.
5. *Gorbunov – Posadov M.I.* (1985). *Osnovaniya, Fundamenty i Podzemnie Sooruzheniya*, Directory designer, Moscow: Stroyizdat, p. 411-457.
6. *SP 22.13330.2011. Osnovaniya Zdaniy i Sooruzheniy*. The updated edition of SNIP 2.02.01-83. Moscow: 2011.
7. *SP 21.13330.2011. Svaynie Osnovaniya*, The updated edition of SNIP 2.02.03-85, Moscow: 2011.
8. *Ninomiya, Y., Hagiwara, R., Azuma, T.* (1995). Rise of excess pore water pressure and uplift of underground structures due to liquefaction, Proceedings of the First International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, pp. 1023-1028.
9. *Hetenyi, M.* (1976). *Beams on Elastic Foundation*, Univ. of Michigan, Ann Arbor, Michigan.

**THE EXPERIENCE OF STRENGTHENING OF PEDESTRIAN SUBWAYS
IN THE SATURATED SOILS OF THE KAZAN CITY**

V.R. MUSTAKIMOV^{1,2}, R.I. SHAFIGULLIN^{1,2}, S.N. YAKUPOV²,
A.V. MUSTAKIMOV², R.I. DAMINOV³

¹ *Kazan State University of Architecture and Construction*

² *State Unitary Enterprise "Tatinvestgrazhdanproekt";* ³ *Institute "Tatdorproekt "*

A review and analysis of the design, construction and monitoring of the technical state of underground pedestrian crossings, erected in the city of Kazan water saturated soils in areas with developed infrastructure is given. Modern and effective methods of erecting of stock piles under the foundations of underground structures are described, as well as amplification of weak water-saturated soil base with using of vertical reinforced concrete elements in cramped urban conditions.

KEYWORDS: dewatering, sludge, crack, depression curve, pore pressure, waterproofing, pile, cement-and soil element, saturated soil.

