

РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПОВЕДЕНИЯ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Водопропускные трубы являются искусственными сооружениями, встроенными в грунтовый массив насыпи, который обладает разными физико-механическими, гидрогеологическими характеристиками и свойствами. Всё это может отрицательно влиять на работу конструкций труб. Большую опасность для водопропускных труб под насыпями представляет вода, отводимая с проезжей части автомобильной дороги и зачастую содержащая в растворенном виде те или иные компоненты, применяемые для борьбы с гололедом, принесенные автомобилями с загрязненных промышленных территорий, содержащиеся в снеге и других осадках. Хлориды и сульфаты, которые содержатся в этой воде и снеге, ведут себя весьма агрессивно по отношению к бетону и арматуре железобетонных труб, и являются для них коррозионными реагентами. Снег, талая вода и вода, протекающая через отверстия водопропускных труб, также содержат различные агрессивные по отношению к материалу труб компоненты. В особенности это проявляется, когда на территории водосбора находятся промышленные предприятия, нефтехранилища, бензозаправочные станции, химические заводы. Эта вода может иметь различный химический состав с наличием сероводорода, углекислого газа, аммиака и других компонентов, которые вызывают коррозию и разрушение внутренних частей труб.

Помимо вышесказанных факторов воздействия, которые условно можно отнести к агрессивным воздействиям среды эксплуатации, необходимо упомянуть и о силовых воздействиях. Конструкция водопропускной трубы находится в постоянном взаимодействии с толщей грунта, окружающего тело трубы. Помимо этого, труба должна быть в состоянии нести и временную нагрузку от проходящих по телу насыпи транспортных средств.

Все данные о внешних воздействиях на водопропускные трубы представлены в таблице 1.

Таблица 1

Внешние воздействия на водопропускные трубы

Группа и вид воздействия	Характер воздействия					
	во времени		по направлению		по разрушающему действию	
	постоянная нагрузка	временная нагрузка	из грунта	изнутри трубы	механическое разрушение	коррозионное разрушение
1 группа - постоянные и временные силовые воздействия:						
– вертикальное и горизонтальное давление грунта насыпи;	*	-	*	-	*	-
– собственный вес трубы;	*	-	*	-	*	-
– вес воды в трубе;	*	-	*	-	*	-
– отпор грунта;	*	-	*	-	*	-
– вертикальная и горизонтальная нагрузка от наземного транспорта;	-	*	*	-	*	-
– действие строительных факторов;	-	*	*	-	*	-
– сейсмическое воздействие;	-	*	*	-	*	-
– динамическое воздействие подвижного состава;	-	*	*	-	*	-
– температурное воздействие;	-	*	-	*	*	-
– образование наледей	-	*	-	*	*	-
2 группа - агрессивное воздействие окружающей среды:						
– воздействие грунтов и	*	-	*	-	-	*



грунтовых вод;	-	*	-	*	-	*
– воздействие поверхностных вод;	*	-	*	*	-	*
– газовая (физическая и химическая) коррозия;	*	-	-	*	-	*
– атмосферная коррозия;	*	-	-	*	-	*
– биологическая коррозия;	*	-	*	-	-	*
– электрокоррозия						

В течение времени эксплуатации результатом целой системы воздействий на конструкцию водопропускной трубы, в конце концов, становится возникновение и развитие различного рода повреждений в теле трубы, которые мешают или не позволяют водопропускной трубе нормально функционировать с выполнением всех заложенных при проектировании эксплуатационных показателей.

Повреждения и дефекты водопропускных труб можно классифицировать по принадлежности их к определенным элементам конструкции водопропускной трубы (звенья труб, оголовки, фундаменты и так далее), а также по виду повреждений (приводящие к изменению расчетной схемы, осадки фундаментов труб, трещины, сколы защитного слоя, раковины, размораживание, выщелачивание бетона, коррозионные повреждения арматуры и так далее). Дефекты и повреждения водопропускных труб, снижающие их эксплуатационные показатели, можно классифицировать, рассматривая конструкцию трубы с различных точек зрения: а) водопропускная труба как гидравлическое сооружение, обеспечивающее пропуск вод; б) водопропускная труба как транспортное сооружение, обеспечивающее проезд транспорта; в) водопропускная труба как силовая конструкция, воспринимающая нагрузки и передающая их на грунт.

С целью выявления наиболее загруженных и потенциально опасных (наиболее поврежденных) участков водопропускной трубы был проведен анализ условий работы водопропускных труб на действие нагрузок и агрессивных сред.

Дорожная грунтовая насыпь, внутрь которой уложена водопропускная труба, является сооружением переменной высоты, если смотреть вдоль трубы (рис.1). Переменная высота насыпи создает переменную вдоль трубы нагрузку, а периоды времени, за которые фронт агрессивной среды достигнет разных точек тела водопропускной конструкции, будут различными. Из-за этой особенности каждый участок трубы находится в своих эксплуатационных условиях, с различными повреждениями и различным напряженно-деформированным состоянием.

Протяженность водопропускной трубы внутри насыпи порой достигает нескольких десятков метров. Условно разобьем тело трубы на 3 участка: 1 – входной участок; 2 – средний участок; 3- выходной участок (рис.1). Рассмотрим действие внешних факторов на каждую часть трубы в отдельности и определим зоны трубы, наиболее подверженные действию агрессивных сред и эксплуатационных нагрузок.

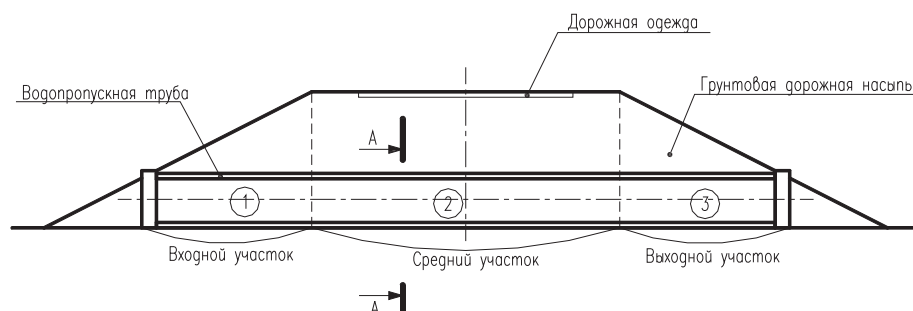


Рис.1. Схема водопропускной трубы

Вначале рассмотрим действие грунтовых нагрузок от земляного полотна дорожной насыпи на водопропускную трубу. Закон распределения давления насыпи на трубу вдоль ее оси характеризуется нагрузкой с переменной вдоль оси интенсивностью, как показано на рис. 2. Наиболее загруженным участком, как видно на рис. 2, является средняя часть тела водопропускной трубы.



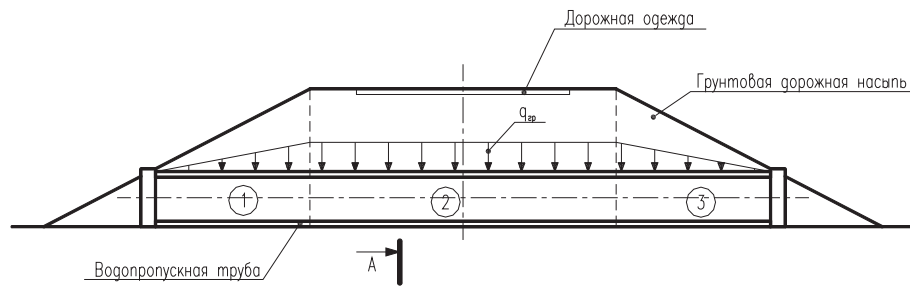


Рис.2. Эюра грунтовой нагрузки

Помимо грунтовой нагрузки значительное влияние на напряженно-деформированное состояние железобетонной водопропускной трубы оказывает временная нагрузка от транспорта, перемещающегося по проезжей части, уложенной на теле насыпи. Полагаем, что нагрузка от веса транспорта распределяется по поверхности водопропускной трубы так, как показано на рис. 3.

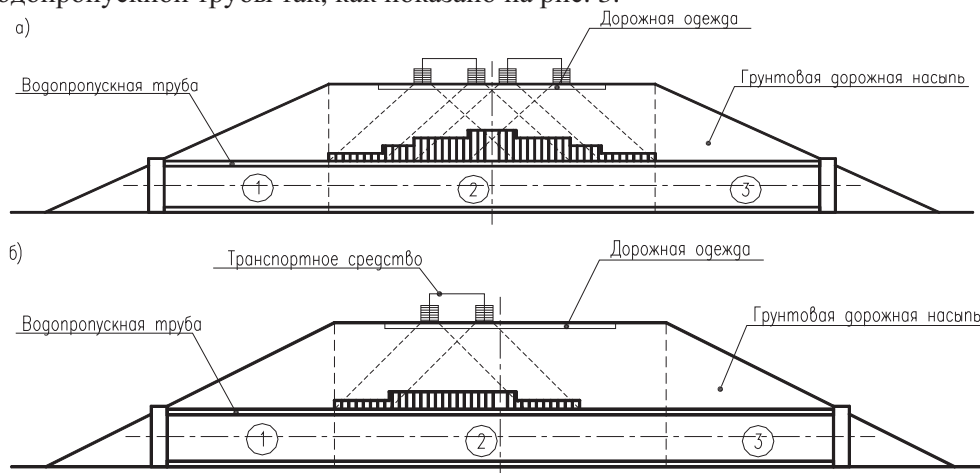


Рис.3. Временная нагрузка от подвижного состава:
а – загружено две полосы движения; б – загружена одна полоса движения.

Максимальное загрузке трубы достигается в момент прохождения транспорта над трубой по всем полосам движения с одновременным действием статической нагрузки от грунта насыпи. Суммарная эюра такой нагрузки показана на рис.4.

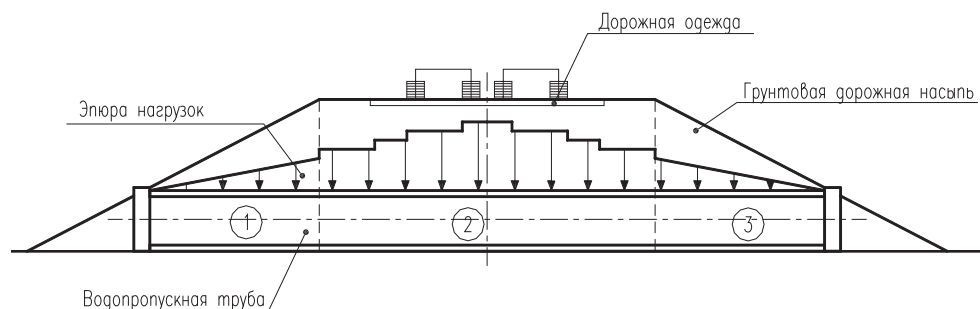


Рис.4. Общая схема загрузки водопропускной трубы грунтовой нагрузкой и нагрузкой от подвижного состава по всем полосам движения

Как видно из рисунка 4, наиболее загруженным участком водопропускной трубы является центральный участок (участок 2), поэтому на данном участке часто проявляются различные повреждения силового происхождения, такие как осадка звеньев и раскрытие деформационных швов между секциями (в случае, если рассматриваются сборные железобетонные трубы). Для нормального функционирования водопропускной трубы без нарушения эксплуатационных показателей у тела трубы в центральной части необходимо устраивать строительный подъем, который будет рассчитываться с учетом временной подвижной и статической грунтовой нагрузки.

Теперь рассмотрим водопропускную трубу, добавляя к силовым факторам агрессивные воздействия эксплуатационной среды.



Причины возникновения агрессивных сред, контактирующих с телом водопропускной трубы, как уже упоминалось выше, различны. Рассмотрим характерные случаи и определим наиболее вероятные зоны повреждения тела железобетонной водопропускной трубы от хлоридных реагентов.

Случай 1. Трасса находится в прибрежных районах, воздух которых насыщен хлоридами. Агрессивная среда через откосы насыпи с атмосферными осадками проникает вглубь земляного полотна. Дорожная одежда почти не пропускает атмосферную влагу, насыщенную хлоридами. Вся влага отводится с дорожной одежды в стороны на обочины и откосы, поэтому обочины получают наибольшее количество влаги. Этот случай, когда хлориды проникают через откосы, но не проходят через дорожную одежду, схематично показан на рис. 5. Зоны распространения агрессивного фронта показаны схематично.

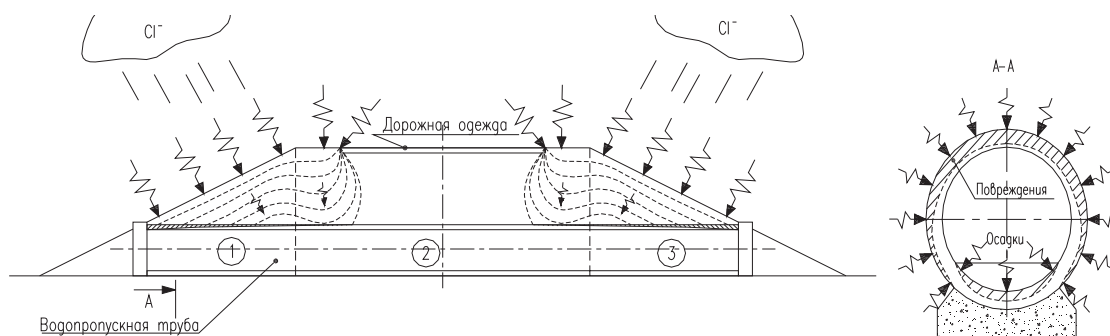


Рис.5. Схематичное изображение случая, когда хлориды проникают через откосы, но не проходят через дорожную одежду

Быстрее всего хлоридный фронт достигает водопропускной трубы на внешних краях крайних секций, поэтому деградация железобетона начинается именно в этих местах. Со временем коррозия железобетона трубы распространяется к центру сооружения вглубь насыпи. Объем хлоридных реагентов в районе обочин больше, чем на откосах из-за отвода воды с поверхности автодороги, из-за этого агрессивный фронт под обочинами движется быстрее, чем под откосами. Это вызывает повреждение концов среднего участка (участок 2) водопропускной трубы. Однако относительная герметичность дорожной одежды не позволяет хлоридам проникнуть через насыпь и повредить центральную часть сооружения. В результате описанных выше хлоридных воздействий наиболее поврежденными частями трубы являются входной и выходной участки (участки 1 и 3), а степень их деградации уменьшается от наружной поверхности вглубь насыпи. По сечению трубы наибольшим повреждениям подвержена верхняя половина сооружения с внешней стороны (рис.5), однако для данного случая при выпадении осадков, содержащих агрессивные вещества, атмосферная влага потечет внутри по лотку водопропускного сооружения, тем самым, добавляя коррозионные повреждения внутри трубы в нижней ее половине.

Случай 2. В зимнее время, для борьбы с гололедом соевым раствором (или песчано-солевой смесью) обрабатывают поверхность автодороги. Химическая реакция соли со льдом протекает с выделением тепла, что в свою очередь растапливает лед, превращая его в воду, содержащую агрессивные реагенты. Жидкость, содержащая хлориды отводится за счет уклона автодороги в сторону обочин и впитывается в массу грунтовой насыпи. Дорожную одежду относительно обочин можно считать герметичной для проникания воды. Таким образом, имеет место случай, когда хлоридные вещества проникают вглубь насыпи только через обочины автодороги. Этот случай схематично показан на рис. 6.

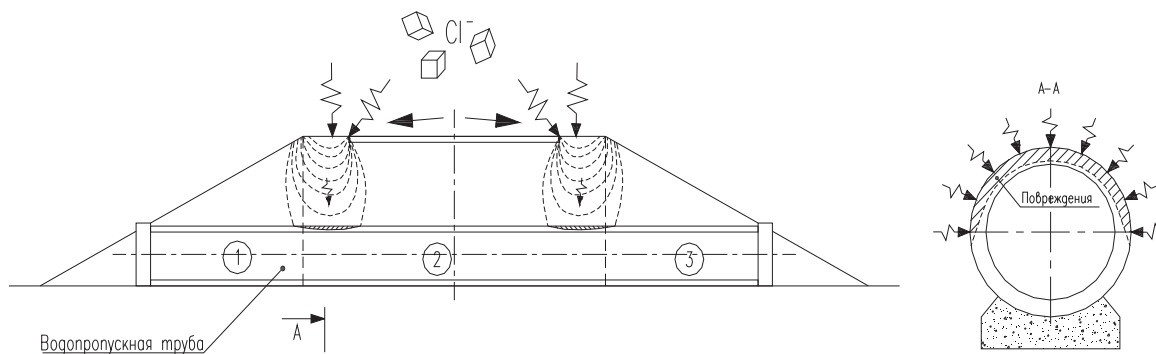


Рис. 6. Схематичное изображение случая, когда хлориды проникают только через обочины и не проходят через дорожную одежду



Основной хлоридный фронт движется в насыпи под обочинами, однако, за счет диффузионных процессов, идущих в грунте, зона повреждения водопропускной трубы чуть больше, чем зона проникания хлоридов вглубь насыпи. Наиболее поврежденным оказывается средний участок (участок 2), особенно его края, находящиеся под обочинами автодороги. Входной и выходной участки повреждаются значительно меньше. По сечению максимальным коррозионным повреждениям подвержена верхняя половина трубы. Существует вероятность движения воды, содержащей агрессивные вещества, внутри трубы, нанося повреждения нижней части (лотку) водопропускного сооружения.

Случай 3. Подобно случаю 2 применение антиобледенителей, содержащих хлориды, в зимнее время года приводит к образованию талой воды, насыщенной агрессивными веществами. Однако, в данном случае дорожная одежда имеет существенные повреждения и водоотвод с поверхности дороги в сторону обочин не осуществляется. Талая агрессивная вода задерживается на поверхности автодороги и постепенно проникает через слои дорожной одежды вглубь земляного полотна. Этот случай схематично показан на рис. 7.

Проходя через слои дорожной одежды в поврежденных местах, хлоридные реагенты наносят дополнительные повреждения дорожному покрытию. Агрессивный фронт проникает через насыпь почти равномерно. Основной поток хлоридных реагентов движется к центральной части водопропускной трубы. Достигнув поверхности водопропускного сооружения, фронт начинает проникать вглубь железобетона трубы, разрушая его структуру. В результате действия хлоридов значительные повреждения наносятся центральной части тела трубы (участок 2). Крайние участки (участок 1 и 3) повреждаются существенно меньше. По сечению водопропускной трубы основные повреждения от хлоридных воздействий наносятся верхней половине тела трубы.

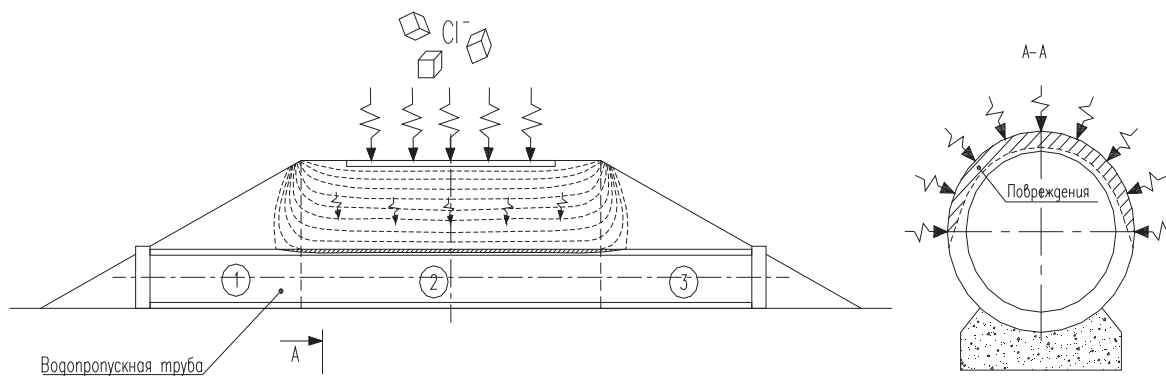


Рис.7. Схематичное изображение случая, когда агрессивный фронт проникает только через дорожное полотно автодороги

Случай 4. Агрессивная влага проникает одинаково, как через дорожную одежду, так и через откосы грунтовой насыпи. Эта ситуация может иметь место во время атмосферных осадков, а также в случае, если насыпь находится в прибрежных районах, воздух которых насыщен хлоридными реагентами. Поверхность дорожной одежды негерметична из-за имеющихся повреждений асфальтового покрытия (трещины, выбоины и т.п.). Этот случай схематично показан на рис. 8.

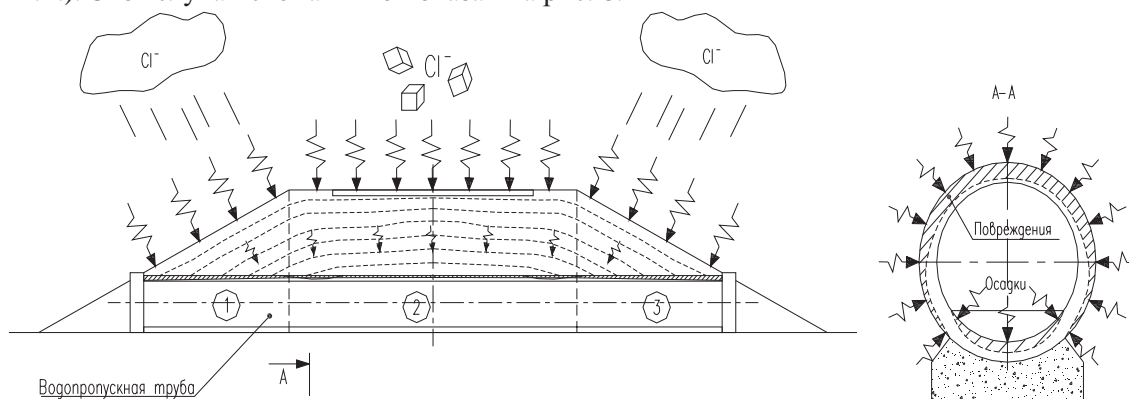


Рис.8. Схематичное изображение случая, когда хлориды проникают в насыпь по всем направлениям

Хлоридный фронт проникает в насыпь одновременно, как и с поверхности откосов, так и с поверхности дорожной одежды. Однако более плотные слои дорожной одежды по сравнению с грунтом откосов земляной насыпи задерживают продвижение фронта на некоторое время. Хлориды начинают



повреждать железобетон водопропускной трубы с краев сооружения (участки 1 и 3), фронт коррозии движется к центру тела трубы вглубь насыпи. В поперечном сечении трубы агрессивный фронт проникает преимущественно через верхнюю половину водопропускной трубы (рис.8). Положение может усугубляться протеканием внутри трубы воды, насыщенной хлоридами. В результате внутренняя поверхность водопропускной трубы подвергается агрессивным воздействиям, особенно ее нижняя половина.

Проведенный анализ схематизированных условий работы железобетонных водопропускных труб на действие нагрузок и агрессивных эксплуатационных сред позволяет отметить следующее. Силовые воздействия от временных и постоянных нагрузок оказывают наибольшее влияние на средний участок тела трубы (участок 2), тем самым являясь причиной многих существенных повреждений: осадки звеньев, расхождение швов между секциями трубы и так далее. Хлоридные агрессивные среды действуют преимущественно на крайних участках водопропускной трубы (участок 1 и 3), нанося наибольшие повреждения входным и выходным участкам. Величину силовых и агрессивных воздействий на водопропускную трубу, рассматривая ее малый по длине участок (секцию), можно считать равномерным в продольном направлении. Исходя из вышесказанного, можно рассматривать отдельные секции трубы с действующими на них силовыми и хлоридными факторами, зависящими от местоположения рассматриваемого участка, и рассчитывать секции методами строительной механики с учетом происходящих деградационных процессов[1].

Кроме того, с нашей точки зрения, расчет водопропускных труб по примитивным расчетным схемам, когда рассматривается кольцо, нагруженное некими сосредоточенными силами, создает иллюзию расчета, но не дает никакой полезной информации и напряженно-деформированном состоянии трубы. Ведь в реальных условиях водопропускная труба работает как цилиндрическая оболочка под действием сложной, меняющейся во времени нагрузки, в материале трубы протекают деградационные процессы, приводящие в случае железобетона к коррозии арматуры и деструкции бетона с образованием как продольных коррозионных (вдоль арматуры)[2], так и поперечных(силовых) трещин. В результате материал трубы находится в сложном (как минимум плоском) напряженном состоянии, для моделирования которого необходимо применять либо общую теорию оболочек, либо, в ряде случаев, теорию оболочек средней длины В.З.Власова [3].

Список литературы:

- 1.Овчинников И.И., Наумова Г.А. Накопление повреждений в стержневых и пластинчатых армированных конструкциях, взаимодействующих с агрессивными средами. Волгогр. гос. архит. – строит.ун-т. Волгоград. Изд- во ВолгГАСУ. 2007. 272 с.
- 2.Овчинников И.И., Калиновский, М.И. Модель деформирования железобетонной водопропускной трубы при действии на нее произвольной нагрузки и агрессивной хлоридсодержащей среды //Дороги и мосты. Сборник статей ФГУП РосдорНИИ. М. 2009. - Вып. 22/2. - С. 186-200.
- 3.Овчинников И.И. Моделирование процесса появления коррозионных трещин в железобетонных элементах конструкций в условиях хлоридной агрессии// Региональная архитектура и строительство. 2011. №1 (10). Пенза. С. 72 – 79.

