



УДК 65.05+628.23

В.А. ЮРЧЕНКО, д.т.н., с.н.с., заведующий лабораторией,

Е.В. БРИГАДА, научный сотрудник, **Е.К. ЛОБКОВА**, младший научный сотрудник

Украинский государственный научно-исследовательский институт «УкрВОДГЕО» (УГНИИ «УкрВОДГЕО»), г. Харьков

А.В. СМИРНОВ, студент

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, г. Харьков

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БЕТОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ВОДООТВЕДЕНИЯ

С помощью методики, разработанной в Украинском государственном научно-исследовательском институте «УкрВОДГЕО», проведена сравнительная оценка эффективности покрытий различного химического состава, предназначенных для повышения экологической безопасности и долговечности бетонных трубопроводов водоотведения. По результатам экспериментальных испытаний и расчетным прогнозным оценкам установлено, что наиболее перспективными являются неорганические покрытия – VM-Базальт-2, Граффласт КП-2 и органическое покрытие – полиэтилен.

экологическая безопасность, долговечность, бетонные трубопроводы водоотведения, микробиологическая коррозия, защитные покрытия

Одной из наиболее острых проблем, существенных для эксплуатационной надежности и экологической безопасности железобетонных трубопроводов водоотведения, является микробиологическая коррозия бетона сводовой части самотечных коллекторов, которая возникает в результате биогенной сернокислотной агрессии – воздействия серной кислоты, образованной тионовыми бактериями. Значительное количество аварий (74 %) на железобетонных трубопроводах водоотведения (преимущественно на крупномасштабных сооружениях – бассейновых и главных коллекторах) вызвано таким видом коррозионного разрушения. Они приводят к интенсивному загрязнению подземного пространства городов и объектов гидросферы токсичными соединениями, которое имеет экологически опасные последствия. На некоторых участках канализационной сети концентрация биогенной кислоты на поверхности бетона может достигать значений около 40 %, а скорость коррозии – 10 мм/год, что снижает долговечность этих объектов с планируемых 50 до 10–15 лет [1–3].

Среди наиболее перспективных мероприятий, повышающих экологическую безопасность и надежность железобетонных трубопроводов водоотведения, реализуемых как на этапе эксплуатации, так и на этапах проектирования и строительства этих объектов, является защита бетона гидроизоляционными антикоррозийными органическими и неорганическими материалами [3].

В настоящее время рынок переполнен различными материалами (покрытия, пропитки, облицовки), которые предлагаются для защиты поверхности сооружений от агрессивных сред. Однако условия в канализационных сетях настолько специфичны, что материалы, обладающие отличными гидроизоляционными противокоррозионными и кислотоупорными характеристиками, для этих объектов часто оказываются недолговечными и быстро разрушаются.

Цель настоящей работы – выбор оптимального (с учетом технологических, эксплуатационных и экономических характеристик) покрытия для эффективной защиты бетона от биогенной сернокислотной агрессии.

Количественное определение эффективности защиты бетона различными видами покрытий и пропиток основано на обнаружении диффузионного проникновения серной кислоты через материал и с помощью аналитических методов количественной оценки активности этого проникновения, выполняемой по методике, разработанной в Украинском государственном научно-исследовательском институте «УкрВОДГЕО» (УГНИИ «УкрВОДГЕО»). Методика основана на лабораторном физико-химическом исследовании стандартных бетонных балочек, защищенных покрытиями, после их

экспозиции в канализационных сетях г. Харькова в течение 3–6 месяцев. Экспозиция образцов бетона, защищенного покрытиями, производится при подвешивании на сводовой части участка канализационной сети с экстремально высокими концентрациями сероводорода в атмосфере подсводового пространства (до 80 мг/м³), а следовательно, – с экстремально высокой биогенной сернокислотной агрессией на сводовой части трубопровода. Количество опытных балочек, экспонируемых в коллекторе, – 3, контрольный образец (хранящийся в лаборатории) – 1. Обнаружение диффузионного проникновения H₂SO₄ через покрытие и его количественная оценка проводятся потенциометрически – определением pH пленочной влаги на поверхности балочек с помощью твердофазного электрода. Если покрытие допускает диффузионное проникновение серной кислоты, то продукты взаимодействия серной кислоты с компонентами бетона (главным образом цементными гидратами), имеющие коэффициент расширения на порядок выше, чем сам бетон, неизбежно разрушат покрытие изнутри. Количество необходимых измерений на каждой грани обосновано статистически [4] и составляет не менее 14.

При помощи экспериментально установленных зависимостей и разработанных математических моделей проводится расчет:

- надежности и прогнозной долговечности покрытия или пропитки в условиях наиболее активной коррозионной агрессии;
- концентрации сероводорода, при которой испытываемый материал не будет разрушен на протяжении заданного времени [2, 4].

Расчет долговечности покрытий выполняется на основании экспериментально установленной зависимости

$$t = \frac{V}{V_0} \cdot 45, \quad (1)$$

где t – прогнозный срок эксплуатации покрытия (время наработки на отказ), сут; V – скорость накопления протонов в пленочной влаге на поверхности бетона в контрольном эксперименте в том же диапазоне изменения значений pH, что и в бетоне под испытываемым покрытием, г-экв/дм³·сут; V_0 – скорость накопления протонов в бетоне под испытываемым покрытием, г-экв/дм³·сут; 45 – продолжительность экспозиции, необходимая для достижения pH конденсатной влаги значения 4,5 (в таких условиях происходит наиболее сильное расширение продуктов коррозии и разрыв покрытия) в контрольном эксперименте, сут.

Активность коррозионных процессов на своде зависит от концентрации сероводорода в атмосфере подсво-



дового пространства. Чем выше концентрация сероводорода, тем выше концентрация серной кислоты, образуемой бактериями при его окислении на поверхности бетонного свода. Расчетная формула для определения концентрации сероводорода (C_{H_2S}) в атмосфере внутри сооружения, при которой исследуемое покрытие сохранит требуемую долговечность, выведена с использованием результатов работ [2–4]

$$C_{H_2S} = 2,55 \cdot (C_{H_2SO_4})^{0,45} = 2,55 \cdot \left(\frac{414,6 \cdot t_{\text{реалн}}}{t_{\text{необ}}} \right)^{0,45}, \quad (2)$$

где $C_{H_2SO_4}$ – концентрация серной кислоты в пленочной конденсатной влаге на поверхности бетона, подвергающегося воздействию биогенной сернокислотной агрессии, мг/дм³; $t_{\text{реалн}}$ – реальная долговечность покрытия, сут; $t_{\text{необ}}$ – требуемая долговечность покрытия, сут. Колебания C_{H_2S} в атмосфере внутри реальных объектов канализации составляют $\pm 50\%$ средней величины.

С помощью описанной методики лабораторией микробиологических проблем водохозяйственных сооружений УГНИИ «УкрВОДГЕО» проведены испытания 42 видов коммерческих покрытий и пропиток (34 органических и 8 неорганических), которые по основному компоненту, входящему в состав материала, были разделены на 8 групп (рис. 1).

Большинство этих покрытий (кроме полиэтилена) наносятся обмазыванием и распылением, что является очень экономичным и технологичным, особенно при ремонтных работах на сетях.

Покрытия на основе полиэфирных лаков были представлены 5 видами коммерческого покрытия фирмы «Адгезив». Одно из этих покрытий исследовали в вариантах при нанесении на образцы 1, 2, 4, 5 слоев. Покрытия этого состава даже при четырехслойном нане-

сении малоэффективны в защите бетона от биогенной сернокислотной агрессии: через 1–2 месяца экспозиции они имели глубокие разрывы на ребрах и множественные разрывы в виде язв на поверхностях граней.

Покрытия на основе полиуретана были представлены 3 видами: коммерческими покрытиями Элакор ПУ, Максил Флекс + Максуретан и полиуретаном без добавок. Эффективность этих покрытий в защите бетона была значительно выше.

При испытании покрытий на основе полиэтилена исследовали первичный полиэтилен высокого давления, изготовленный в Донецке, и образцы вторичного полиэтилена харьковского производства. Первичным полиэтиленом в виде листов с анкерными ребрами облицевали канализационные шахты, вторичный полиэтилен испытывали при облицовке образцов бетона. Продолжительность эксплуатации полиэтиленовых листов, защищающих шахты, к настоящему времени составляет более 5 лет. За это время они не подверглись коррозионному разрушению и обеспечили надежную защиту бетона.

Покрытия на основе эпоксидных композиций были представлены 4 видами: вариантами эпоксидных композиций, которые рекомендует СНиП 11-28-73, а также Максил Флекс, Макс Фломат. Эти материалы обеспечивали очень слабую защиту бетона от биогенной сернокислотной агрессии и разрушались через 2–3 месяца экспозиции.

В качестве покрытия на основе битума исследовали битумно-полимерные композиции «FLEXIGUM» производства Израиля и Канады, битумную композицию (Туркменистан) и покрытие из битумно-каменноугольной смолы (г. Харьков, Украина). Эти материалы при большой толщине слоя (4–6 мм) обеспечивали надежную защиту бетона. Однако они имели очень низкую адгезию к бетону, были крайне липкими и рыхлыми, поэтому их

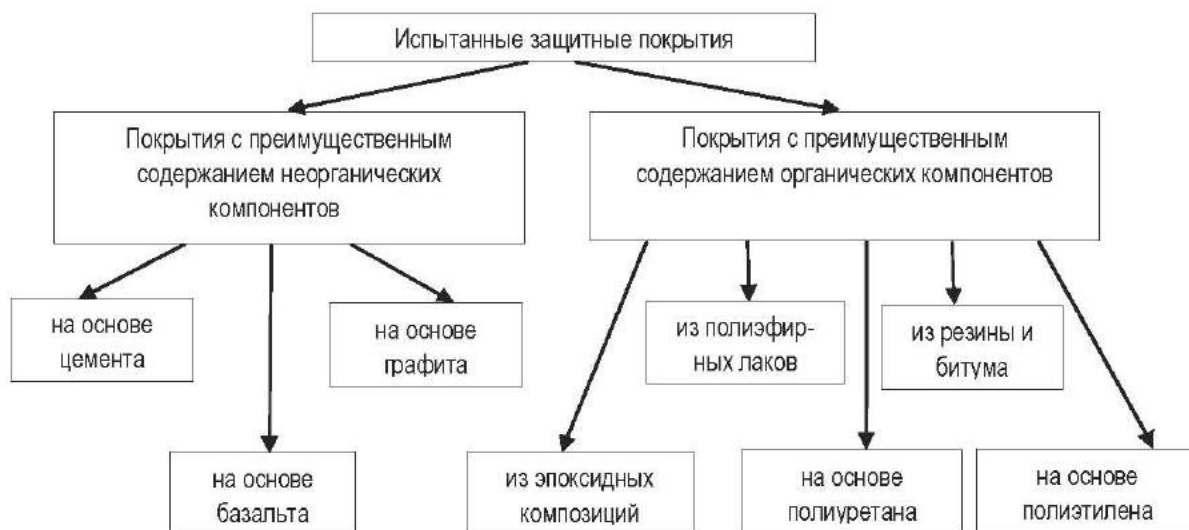


Рисунок 1 – Схема классификации испытанных покрытий по основному компоненту, входящему в состав материала

использование в трубопроводах водоотведения весьма проблематично.

Защитные покрытия на основе цемента были представлены смесями «Кальматрон» и «Elasto Bitumstel». Эти материалы содержат в качестве компонента цемент - основной материал бетонной композиции, подвергающийся биогенной сернокислотной агрессии. Поэтому данные покрытия при экспозиции в сетях водоотведения интенсивно разрушались и обнаруживали глубокое диффузионное проникновение биогенных кислот.

Как защитные покрытия на основе графита, были исследованы Графпласт-1 и Графпласт-2, изготовленные предприятием «ГРАФПЛАСТ» (г. Донецк). Эти покрытия проявили высокую эффективность в защите бетона от биогенной сернокислотной агрессии.

В качестве защитного покрытия на основе базальтовых чешуек были исследованы материалы из серии VMX-базальт (производство ЗАО «Оцелот», г. Киев). Этот материал обладал высокой адгезией к бетону и высокой эффективностью в защите бетона от биогенной сернокислотной агрессии в сетях водоотведения.

В каждой из вышеперечисленных групп были выделены 2-3 вида лучших покрытий, для которых был произведен расчет значения долговечности в условиях наиболее высокой агрессивности, наблюдающейся в сетях водоот-

ведения, а также расчет концентрации сероводорода, при которой испытываемый материал не будет разрушен на протяжении заданного времени (рис. 2, табл. 1).

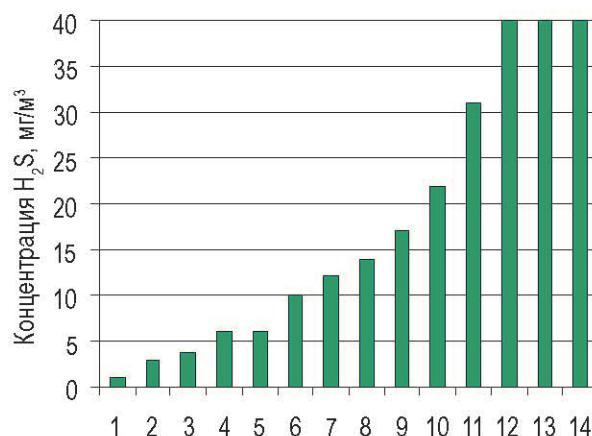


Рисунок 2 – Концентрация H₂S в атмосфере канализационного коллектора, при которой рассматриваемые покрытия надежны не менее 10 лет:
 1 – «Адгезив»; 2 – эпоксидная композиция (СНиП 11-28-73);
 3 – Графпласт КП-1, 4 – полиуретан «ХЕРСТ»; 5 – битум ХГТА;
 6 – эпоксидная композиция с Амиролом; 7 – «Адгезив 2»;
 8 – «FLEXIGUM», 9 – «Elasto Bitumseal»; 10 – Максил Флекс + Максуретан; 11 – VM-Базальт-1; 12 – полиэтилен;
 13 – VM-Базальт-2; 14 – Графпласт КП-2

Таблица 1 – Результаты оценки эффективности различных видов коммерческих покрытий в защите бетона от биогенной сернокислотной агрессии

Основной компонент покрытия	Покрытие	Оценка состояния покрытия после экспозиции в коллекторе			Прогнозный срок до разрыва покрытия, сут
		наличие азрывов	оценка адгезии	диффузия H ₂ SO ₄	
Полиэфирный лак	«Адгезив»	+	Хорошая	+	менее 30
	«Адгезив 2»	-	Хорошая	+	1035
Эпоксидная композиция	Эпоксидная композиция (СНиП 11-28-73)	+	Удовлетворительная	+	115
	Эпоксидная композиция с Амиролом	+	Удовлетворительная	+	703
Цемент	«Elasto Bitumseal» - 2 слоя	+	Хорошая	+	1688
Резина и битум	«FLEXIGUM»	-	Хорошая, удовлетворительная	+	2233
	Битум ХГТА	+	Хорошая	+	менее 157
Графит	Графпласт КП-1	+	Хорошая	+	101
	Графпласт КП-2	-	Отличная	-	3650
Базальт	VM-Базальт-1	-	Хорошая.	-	1905
	VM-Базальт-2	-	Отличная	-	не менее 3650
Полиуретан	Полиуретан «ХЕРСТ»	+	Хорошая	+	менее 157
	Максил Флекс – 2 слоя + Максуретан – 2 слоя	+	Хорошая	+	2250
Полиэтилен	Полиэтилен	-	Удовлетворительная	-	не менее 1825



Наиболее долговечны в условиях экстремальной активности биогенной сернокислотной агрессии (не менее 3650 суток) покрытия из неорганических компонентов – VM-Базальт-2 и Графпласт КП-2, а также органическое покрытие полиэтилен.

Этим же покрытиям соответствуют самые высокие расчетные концентрации H_2S (40 ± 20 мг/м³), при которых они будут надежны на протяжении 10 лет. Данные покрытия рекомендовано применять для повышения долговечности и экологической безопасности сетей водоотведения при новом строительстве и ремонте. Полиэтилен уже успешно используется для защиты сетей водоотведения в Украине (в том числе в г. Харькове) и за рубежом, а покрытия VM-Базальт-2 и Графпласт КП-2 впервые рекомендованы для этой цели как более экономичные и технологичные по сравнению с покрытием из полиэтилена: являясь обмазочными, они наносятся на бетон с использованием специальных разбрызгивающих устройств под давлением. Покрытие из полиэтилена не имеет адгезии к бетону и прикрепляется к нему с использованием специальной технологии (например, полиэтиленом в виде листов с анкерными ребрами облицовываются канализационные шахты).

ВЫВОДЫ

Проведена экспериментальная оценка эксплуатационной надежности органических и неорганических покрытий для защиты бетона канализационных сетей от биогенной сернокислотной агрессии.

Установлено, что наиболее перспективными по исследованным показателям (прогнозная долговечность и максимально допустимая концентрация H_2S в среде

при эксплуатации не менее 10 лет) являются покрытия VM-Базальт-2, Графпласт КП-2 и полиэтилен.

Удовлетворительную защиту бетона от биогенной сернокислотной агрессии обеспечивают покрытия из жидкой резины и битума, но их применение осложняется необходимостью нанесения слоев большой толщины и отсутствием адгезии этих покрытий к бетону.

Покрытия VM-Базальт-2 и Графпласт КП-2, впервые рекомендуемые к применению, более экономичны и технологичны при нанесении на бетон по сравнению с полиэтиленом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дрозд, Г. Я. Повышение эксплуатационной долговечности и экологической безопасности канализационных сетей [Текст]: автореф. дис... доктора техн. наук / Г. Я. Дрозд. – Макеевка, 1998. – 35 с.
2. Stein, D. Rehabilitation and Maintenance of Drains and Sewers [Text] / D. Stein // Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ruhr-University Bochum (RUB), Faculty of Civil Engineering. – Germany, 2001. – 804 p.
3. Гончаренко, Д.Ф. Ремонт и восстановление канализационных сетей и сооружений [Текст] / Д. Ф. Гончаренко, И. В. Коринько. – Харьков: Рубикон, 1999. – 368 с.
4. Юрченко, В. О. Розвиток науково-технологічних основ експлуатації споруд каналізації в умовах біохімічного окислення неорганічних сполук [Текст]: автореф. дис. ... доктора техн. наук: 05.23.04 / УДНДІ «УкрВОДГЕО» / В. О. Юрченко. – Харків, 2007. – 36 с.

Поступила в редакцию 24.10.2007

За допомогою методики, розробленої в УДНДІ «УкрВОДГЕО», проведена порівняльна оцінка ефективності покриттів різного хімічного складу, що призначаються для підвищення екологічної безпеки та довговічності бетонних трубопроводів водоотведення. За результатами експериментальних випробувань і розрахункових прогнозних оцінок встановлено, що найбільш перспективними є неорганічні покриття – VM-Базальт-2, Графпласт КП-2 та органічне покриття – поліетилен.

With the help of the method developed in UDNDI «UkrVODGEO», comparative efficiency estimation of coverings of various chemical composition aim at increasing environmental safety and operation life of concrete sewer pipelines has been carried out. On the basis of experimental tests results and calculated prognosis estimations it was established that inorganic coverings – VM Basalt-2, Grafplast KP-2 and organic covering – polyethylene are the most perspective.