

УДК 624.24+69.059

Гончаренко Д.Ф., д-р техн. наук, Старкова О.В., канд. техн. наук,
Булгаков Ю.В., аспирант, Олейник Д.Ю., аспирант
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

В таких городах Украины как Киев и Харьков эксплуатируются самотечные коллекторы, глубина заложения которых превышает 50 м и более.

Согласно разработанному в 1964 г. технико-экономическому обоснованию развития канализации Харькова было выполнено строительство главных тоннельных коллекторов глубокого заложения диаметром 3,2-4 м с глубиной их заложения от 12 до 50 м. Материалом для строительства коллекторов был железобетон. Это позволило самотечно канализовать весь город и при этом не только отказаться от строительства новых перекачивающих насосных станций, но и сократить число существующих [1].

При проектировании железобетонных коллекторов проектировщиками предполагалось, что они могут находиться в эксплуатации также долго, как и здания, построенные из железобетона, эксплуатируемые на поверхности.

В тоже время в последние годы значительно увеличилось число аварий на канализационных сетях, глубина залегания которых превышает 7 м и более. В первую очередь это относится к трубопроводам и коллекторам большого диаметра, выполненным из железобетона. Возраст большинства из них приближается или превышает 50 лет. Необходимо отметить, что ведомство по экологической защите США определяет срок службы канализационных коллекторов на уровне 50 лет [2].

Как показывает практика эксплуатации коллекторов [3, 4], их долговечность в основном зависит от эффективности отделки их внутренней поверхности, а они в свою очередь зависят от физических и химических свойств материалов, используемых как при строительстве, так

и при ремонтно-восстановительных работах.

Анализ состояния конструкций канализационных коллекторов Харькова [5] показал, что на их долговечность воздействует целый ряд факторов, основным из которых является влияние сульфидов, которые образуются в надводной поверхности коллектора.

В целом ряде публикаций [4-7] достаточно глубоко рассмотрены процессы образования сероводорода, возникновение коррозии и методы защиты от нее. Сероводород (H_2S) может вызывать различные проблемы, включая неприятный запах, опасность для технического персонала и коррозию многих материалов канализационной системы. Проектирование канализационных систем должно предотвращать появление загнивания и иметь условия, свободные от сероводорода.

Застой воды в анаэробных условиях может приводить к образованию сульфидов – реакции, происходящей из-за потребления бактериями сульфатов, содержащихся в сточных водах. Образование сульфидов происходит в частично заполненных канализационных трубах с небольшой скоростью потока в грязевом слое, находящемся на внутренней стороне трубы. Для предотвращения значительного образования сульфидов необходим хороший доступ кислорода для поддержания его значительной концентрации в сточной воде [6, 7].

При этом необходимо учитывать следующие факторы:

1) высокая температура сточных вод способствует образованию сульфидов. В холодных регионах их образование незначительно;

2) уменьшение инфильтрации грунтовых вод в канализацию иногда приводит к развитию сульфидных процессов;

3) несоответствие гидравлического уклона количеству транспортируемых сточных вод. Возникновение сульфидов в небольших канализациях напрямую связано с гидравлическим уклоном;

4) скорость течения оказывает влияние на транспортировку твердого материала и образование сульфидов.

Главные конструкционные соображения, связанные с образованием сульфидов, таковы:

1. Сульфиды, присутствующие в сточных водах и попавшие в осадок сточной жидкости на очистных сооружениях, могут затруднять необходимую очистку. Увеличение растворенных сульфидов в сточных водах на очистной станции требует увеличения хлорирования. Исходящий неприятный запах вызывает жалобы населения;

2. Сероводород может приводить к появлению серьезных коррозионных условий в незащищенных трубах из цементного материала и металлов. Такие коррозионные процессы начинаются при образовании серной кислоты (H_2SO_4) в результате окисления сероводорода бактериями на открытой стенке коллектора;

3. При образовании серной кислоты основным очагом коррозии является внутренняя стенка коллектора над линией потока сточных вод. Коррозионные повреждения будут различаться в зависимости от материала коллектора, концентрации кислоты и температуры окружающей среды. Бетонные и асбестоцементные трубы, известковая облицовка металлических труб подвергаются реакции, при которой поверхностный материал превращается в вязкую массу и облезает, обнажая новые поверхности для ржавчины (рис. 1-4);

4. Сероводородный газ чрезвычайно токсичен. Летальный исход может наступить при концентрации сероводорода в воздухе 0,03%. Особенно опасно то, что, если потенциальная жертва проигнорирует первый запах газа, способность

улавливать его позднее быстро теряется и возникает опасность отравления им;



Рис. 1 – Коррозия обделки Орджоникидзевского коллектора в Харькове



Рис. 2 – Разрушение вследствие коррозии первичного слоя обделки и начало коррозии несущего слоя



Рис. 3 – Коррозия стен канализационного коллектора диаметром 2000 мм по ул. Матросова в Харькове

5. Сероводород – главный компонент неприятных запахов, исходящих из канализационных систем. Запах улавливается при концентрации газа в воде в интервале 0,01-0,1 мг/л [4].



Рис. 4 – Разрушенный вследствие газовой коррозии свод Салтовского канализационного коллектора диаметром 2000 мм в Харькове

Для контроля образования сульфидов в процессе проектирования канализационных коллекторов необходимо руководствоваться следующим:

1) скорость течения сточных вод должна устанавливаться на уровне, достаточном для эффективной транспортировки твердого вещества;

2) если концентрация растворенного сульфида может превысить 0,2 мг/л, проект системы должен предотвращать или минимизировать условия для турбулентного течения. Высвобождение сероводорода в точке турбулентности может быть очень значительным;

3) образование сероводорода поддается эффективному контролю химической очисткой, но такие методы достаточно дорогостоящие. На очистных сооружениях хлорирование уничтожает хлориды и органические соединения с неприятным запахом;

4) образование сероводорода может быть предотвращено путем закачки воздуха в водонапорные сети. Закачка воздуха дает максимальный контроль, если конструкция и наклон канализационной сети способствует эффективному распространению пузырьков воздуха в сточной воде;

5) наибольшую пользу приносит вентиляция канализационных коллекторов, которая уменьшает содержание свободного сероводорода, а также способствует просыханию поверхности, предотвращая

превращение сероводорода в серную кислоту.

При рассмотрении вопросов коррозии в процессе принятия решений по ремонту разрушенных сводов железобетонных коллекторов необходимо правильно выбрать материалы, устойчивые к коррозии и тщательно продумать методы защиты от нее. При этом различают три категории защиты: обшивка; состав материалов; толщина материалов для облицовки [5, 8].

В процессе выбора материалов и конструкций для строительства и ремонта канализационных коллекторов большого диаметра необходимо исходить из условия, что канализационная система имеет две основные функции: обеспечивает запрооектированный максимальный сброс вод и перемещает твердые вещества, чтобы свести к минимуму их отложение. Следовательно, важно, чтобы коллектор имел адекватную пропускную способность для максимальных сбросов и чтобы он функционировал без сбоев и без образования неприятных запахов.

Опыт эксплуатации канализационных коллекторов большого диаметра в городах Украины [1, 5] показал, что одним из наиболее эффективных материалов, обеспечивающих их безаварийную работу на протяжении более 100 лет, является клинкерный кирпич. На рис 5, 6 представлено состояние коллекторов Киева и Харькова, продолжительность эксплуатации которых приблизилась или превысила указанный срок.

Анализ развития способов прокладки, перекладки и восстановления конструкций канализационных трубопроводов указывает во-первых, на тенденцию перехода от открытого (траншейного) способа работ к закрытому (бестраншейному) и, во-вторых, на все более широкое применение коррозионностойких конструкций из пластмасс, керамики или их комбинации с бетоном или железобетоном [5].

Одним из основных способов ремонта и восстановления трубопроводов и коллекторов является нанесение противокоррозионных покрытий. Для противо-

коррозионной защиты используются также шлаковое литье, изделия из стекла, ситаллов и шлакоситаллов. Каменные литые изделия обычно изготавливают из диабазовых горных пород. Эти изделия вполне устойчивы к воздействию щелочей и хорошо противостоят ударным воздействиям.



Рис. 5 – Канализационный коллектор, построенный в конце XIX – начале XX столетия в Киеве



Рис. 6 – Канализационный коллектор по ул. Грековской в Харькове, построенный в 1914 г.

Правильный выбор материалов для строительства и ремонта систем подзем-

ных коммуникаций, в том числе канализационных коллекторов большого диаметра, позволяет повысить их эксплуатационную долговечность и обеспечить надежность их функционирования. Для предотвращения образования коррозии необходимо проведение целого ряда дорогостоящих мер по антикоррозионной защите, однако, альтернативой подверженным коррозии железобетонным коллекторам являются коллекторы, выполненные из композиционных материалов, в том числе из стеклопластика.

Стеклопластики представляют собой композитные конструкционные материалы, сочетающие высокую прочность с относительно небольшой плотностью. В разных отраслях промышленности они успешно конкурируют с такими традиционными материалами, как металлы и их сплавы, бетон, стекло, керамика, дерево.

Отличительными особенностями стеклопластиковых трубопроводов являются:

- высокая устойчивость к воздействию агрессивных сред;
- устойчивость к воздействию микроорганизмов, ультрафиолетовых лучей и неблагоприятных факторов окружающей среды;
- высокие механические характеристики;
- исключение необходимости защиты от электрохимической коррозии;
- эксплуатация в широком диапазоне температур (от -50°C до $+100^{\circ}\text{C}$).

На рис. 7 [8] представлена принципиальная схема монтажа отдельных стеклопластиковых сегментов в ремонтируемом трубопроводе большого диаметра. Соединение стеклопластиковых сегментов в секции яйцевидной формы представлено на рис. 8 [8].

Для ремонта трубопроводов круглого сечения больших диаметров эффективно применяется система быстрого крепления элементов (рис. 9), разработанная немецкой фирмой Uhrig Straßen-Tiefbau GmbH [9].

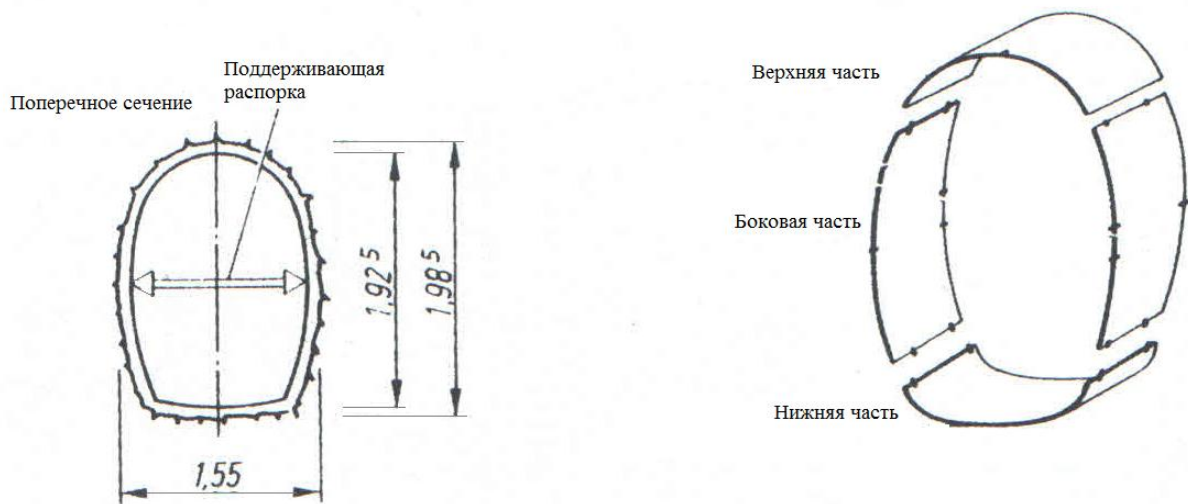
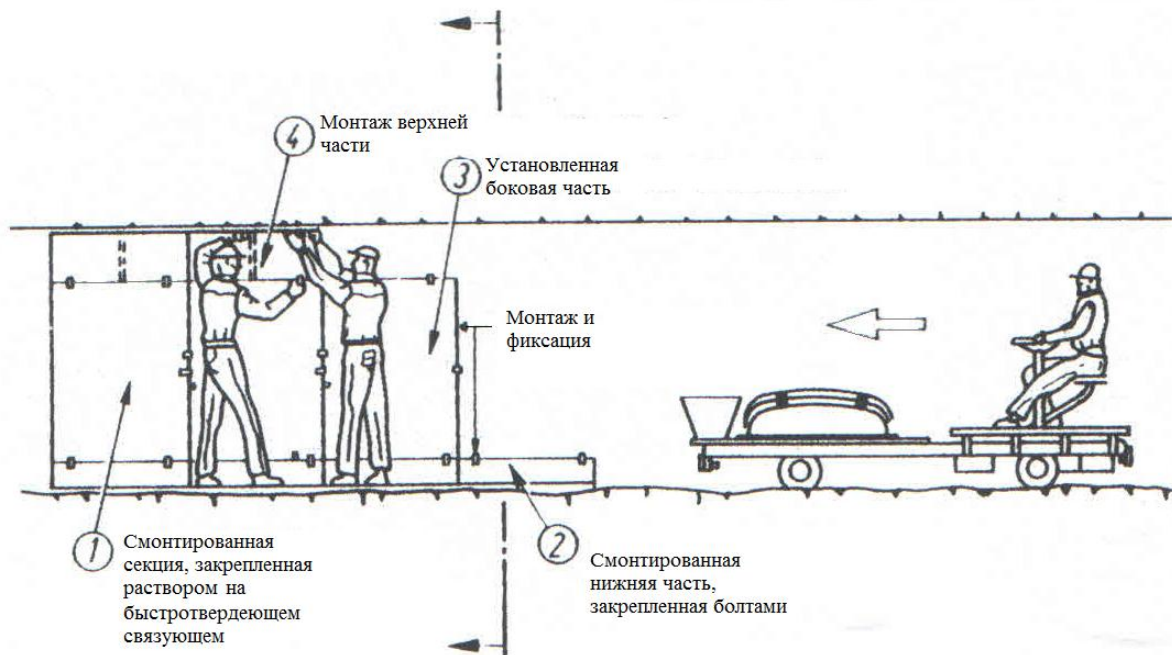


Рис. 7 – Принципиальная схема монтажа отдельных стеклопластиковых сегментов в ремонтируемом трубопроводе большого диаметра

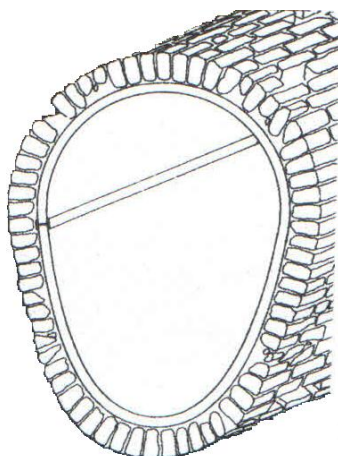


Рис. 8 – Соединение стеклопластиковых сегментов в секции яйцевидной формы

На основании изложенного выше можно сделать вывод, что долговечность подземных коммуникаций, работающих в агрессивных средах, зависит в основном от эффективности обделок их внутренней поверхности, которые в свою очередь зависят от физических и химических свойств используемых материалов. Доказано, что эффективной противокоррозионной защитой обладают изделия из шлакового литья, полиэтиленовые и стеклопластиковые трубы.

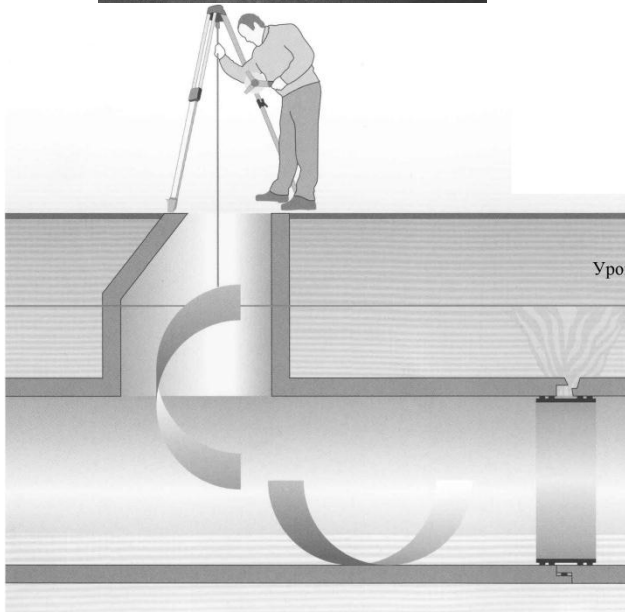
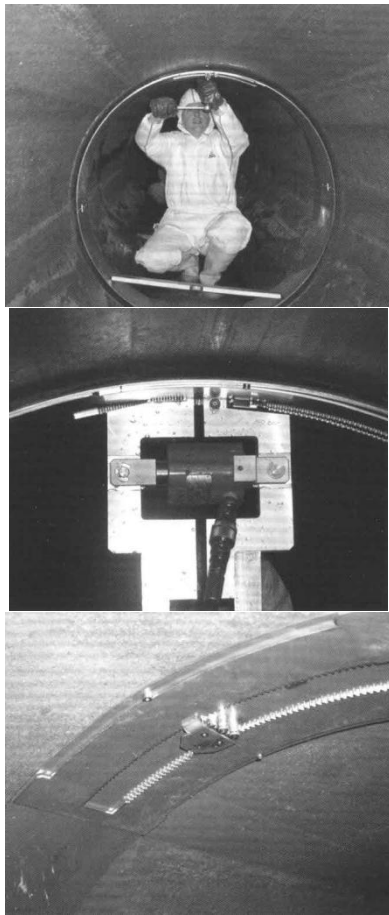


Рис. 9 – Система быстрого крепления элементов облицовки в ремонтируемом трубопроводе, разработанная немецкой фирмой Uhrig Straßen-Tiefbau GmbH

Отдельного внимания заслуживает проект санации трубопровода диаметром 2300 мм методом «Релейнинг» с использованием стеклопластиковых труб диаметром 2000 мм (рис. 10) [10].

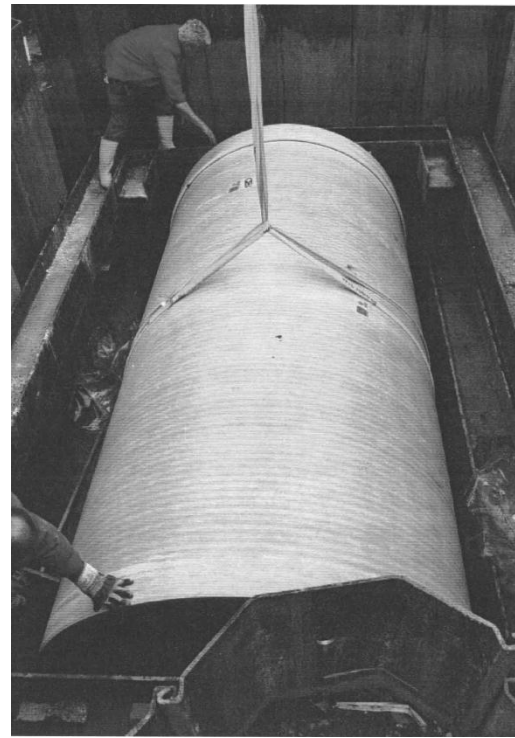


Рис. 10 – Опускание стеклопластиковой трубы диаметром 2000 мм в котлован для проталкивания ее в поврежденный трубопровод диаметром 2300 мм

Наиболее эффективными для работы с указанными материалами являются следующие закрытые способы ремонта подземных коммуникаций – втягивание пластмассовых труб (метод вставок) и вталкивание труб в поврежденный трубопровод. Стеклопластиковые трубы могут применяться при этом с использованием различных методов укладки: открытым способом; надземной укладкой; методом проталкивания / «Релейнинг»; методом микротоннеля / прокол.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Клейн Е.Б., Выставной Г.М. По пути совершенства. – Харьков: ООО «Оригинал-р», 1994. – 64 с.
2. Tehobanoglous G. Wastewater engineering: collection and pumping of wastewater. – McGraw-Hill Book Company, USA, 2009. – 271 p.
3. Joint Task Force of American Society of Civil Engineering and Water Pollution Control Federation. Gravity sanitary sewer design and construction. – New York, USA: American Society of Civil Engineering. 2008. – P. 252-261.

4. *Biological transformation in sewers.* – New York, USA. 2009. – P. 232-269.
5. Гончаренко Д.Ф. *Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения.* – Харьков: Консум, 2007. – 520 с.
6. Zhang, L., De Schryver, P., De Gusseme, B., De Muynck, W., Boon, N., Verstraete, W. *Chemical and biological technologies for hydrogen sulfide emission control in sewer systems: a review // Water Research, 2008. 42 (1-2). P. 1-12.*
7. Gutierrez, O., Mohanakrishnan, J., Sharma, K. R., Meyer, R. L., Keller, J., Yuan, Z. *Evaluation of oxygen injection as a means of controlling sulfide production in a sewer system // Water Research, 2008, 42 (17). P. 4549-4561.*
8. Stein D. *Instandhaltung von Kanalisationen.* – Berlin: Ernst & Sohn, 1998. – 941 p.
9. Офіційний сайт компанії UHRIG GmbH [електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uhrig-bau.eu>.
10. *Unternehmensbeschreibung. Beratende Ingenieure für Leitungsbau, Leitungsinstandhaltung und Umwelttechnik.* – Bochum: Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, 2001. – 31 p.

УДК 624.042+624.044

Лучковский И.Я., д-р. техн. наук, проф., Есакова С.В., аспирантка
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ Б.Н. ЖЕМОЧКИНА К РАСЧЕТУ ПОПЕРЕЧНО НАГРУЖЕННЫХ СВАЙ ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЖЕСТКОСТИ ГРУНТА ПО ГЛУБИНЕ ЗАДЕЛКИ

Нет единого мнения по вопросу о том, как изменяется величина коэффициента постели с глубиной [1], [2], [3]. Наибольшее распространение получили методы расчета свай, основанные на линейном возрастании коэффициента постели по глубине. А для расчета свай, погруженных в однородное или многослойное основание с нелинейным распределением коэффициента жесткости используем метод Б.Н. Жемочкина [4].

Порядок расчета заключается в следующем. Сваю длиной l разбиваем на равные участки, в серединах которых ставим жесткие опорные стержни, обеспечивающие контакт свай с грунтом (рис.1). Нагрузка на основание от каждого стержня принимается равномерно распределенной по площади $b \cdot \lambda$, где b – ширина сваи и λ – расстояние между стержнями.

При произвольном распределении коэффициента постели по длине балки в упругой стадии используется смешанный метод решения (рис. 1), при котором принимаются условия равенства нулю

суммы перемещений по направлению каждого неизвестного X_k :

$$X_0 \cdot \delta_{k0} + X_1 \cdot \delta_{k1} + X_2 \cdot \delta_{k2} + \dots + X_k \cdot \delta_{kk} + \dots + X_n \cdot \delta_{kn} - \omega_0 - a_K \cdot \varphi_0 + \Delta_{kp} = 0. \quad (1)$$

Кроме того, используются два уравнения равновесия. Одно будет выражать условие, что сумма моментов всех сил относительно точки O равна нулю, а другое – что сумма проекций всех сил на ось, параллельную этим силам равна нулю.

$$\begin{cases} X_0 + X_1 + X_2 + \dots \\ + X_k + \dots + X_n - \sum Q = 0 \\ X_0 a_0 + X_1 a_1 + X_2 a_2 + \dots \\ + X_k a_k + \dots + X_n a_n - \sum M = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Единичные перемещения по направлению K от неизвестных реактивных сил X_i определяются как сумма деформации основания V_k в точке K и горизонтальных перемещений, вызванных изгибом сваи ω_{ki} :

$$\left. \begin{aligned} \delta_{ki} &= V_{kk} + w_{ki}, \quad (\text{при } k=i); \\ \delta_{ki} &= w_{ki}, \quad (\text{при } k \neq i), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$