

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАЗРУШЕННОГО КОЛЛЕКТОРА В г. ХАРЬКОВЕ

Обеспечение надежной и безаварийной работы систем водоотведения – одна из важнейших задач, стоящих перед коммунальными службами городов [1].

Исследование причин возникновения аварий на коллекторах позволило обобщить их с определением ранга причины и доли аварий, к которой она приводит (табл. 1).

Таблица 1

Причины возникновения аварий на канализационных сетях

Ранг причины	Причины разрушений	Доля аварий, %
1	Коррозия свода	24
2	Истирание лотка	22
3	Разрушение колодцев	21
4	Разрушение тела труб (извне)	18
5	Разрушение стыкового соединения	15
Итого:		100

Как известно, большая часть канализационных трубопроводов и тоннельных коллекторов в промышленных центрах Украины, в т.ч. в Харькове, построена из бетона и железобетона и эксплуатируется уже более полувека [2]. Главной причиной их разрушения является внешняя и внутренняя коррозия [3].

В процессе эксплуатации железобетонные коллекторы подвергаются агрессивному воздействию как снаружи (от грунтовых вод), так и внутри (от транспортируемых вод). Результаты исследований свидетельствуют о том, что разрушение труб под действием грунтовых вод и грунтов составляет около 10 % всех случаев коррозионного повреждения.

При проектировании канализационных тоннельных коллекторов необходимо особое внимание обращать на контроль наличия коррозии и состав транспортируемых сточных вод, а также на обеспечение качественного обслуживания канализационных сетей. В любом случае в проекте должны быть предусмотрены меры по предотвращению образования сероводорода в канализационном тоннельном коллекторе [3].



Д.Ф. Гончаренко

проректор по научно-педагогической работе Харьковского национального университета строительства и архитектуры, профессор, д.т.н.



О.В. Старкова

доцент кафедры экономической кибернетики и информационных технологий Харьковского национального университета строительства и архитектуры, к.т.н.



Ю.В. Булгаков

аспирант Харьковского национального университета строительства и архитектуры



А.А. Гармаш

председатель правления ПАО «Южспецатомэнергомонтаж», г. Харьков

Примеры разрушений сводовой части канализационных тоннельных коллекторов Харькова приведены на рис. 1, 2.

Ремонт и восстановление поврежденных канализационных коллекторов производится открытым или закрытым способом [4, 5]. Открытый способ имеет значительные преимущества, если глубина залегания сети незначительна и имеются сильные локальные повреждения большого количества подсоединенных каналов. При этом обеспечиваются надлежащее качество и долговечность стыковых соединений [4].

Закрытый способ ремонта сетей водоотведения позволяет избежать недостатков, характерных для открытого способа. Это, прежде всего, неограничение или незначительное ограничение движения транспорта [5].

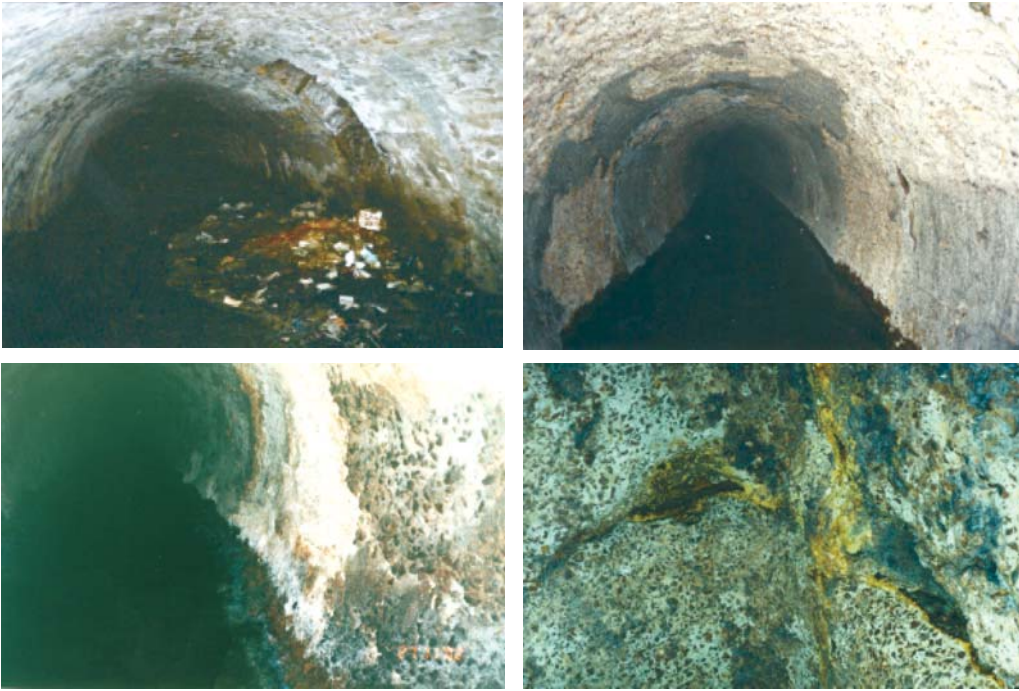


Рис. 1.
Внутренняя поверхность
канализационных тоннельных
коллекторов,
разрушенная коррозией



Рис. 2.
Разрушение обделки
и тюбинга канализационных
тоннельных коллекторов
в результате воздействия
коррозии



Рис. 3. Короткие полиэтиленовые трубы $\varnothing 1200$ мм
для введения по методу «Inliner» в коллектор $\varnothing 1500$ мм



Рис. 4. Подача трубы во временную шахту

Большой эффект достигается при использовании метода вставок с применением коротких труб из полимерных материалов [6–8].

Таким методом был осуществлен ремонт и восстановлен канализационный коллектор $\varnothing 1500$ мм по ул. Южной в Харькове (рис. 3).



Рис. 5. Введение трубы в разрушенный трубопровод



Рис. 6. Сварка коротких труб



Рис. 7. Первичная стадия проседания грунта в зоне повреждения коллектора



Рис. 8. Обрушения в зоне повреждения коллектора после засыпки грунтом первичного проседания грунта

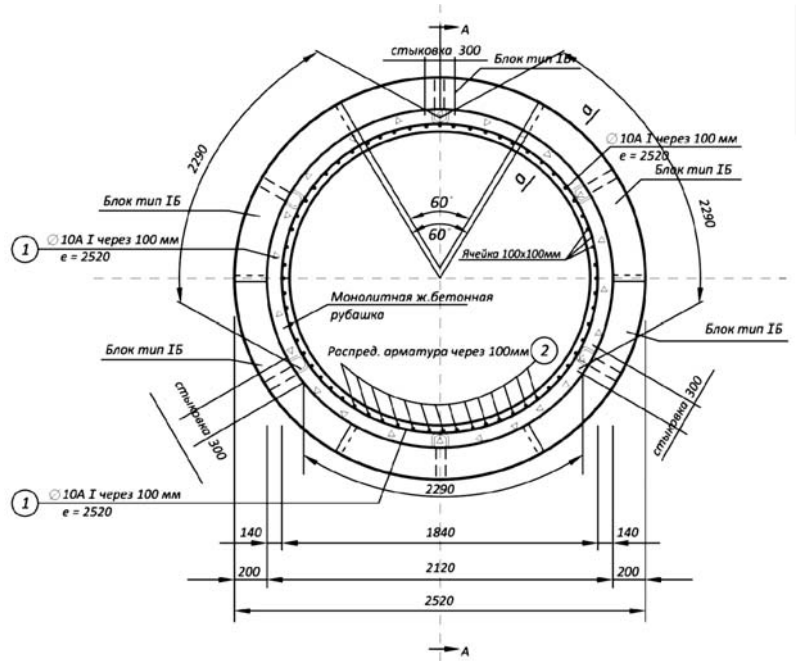


Рис. 9. Поперечное сечение коллектора

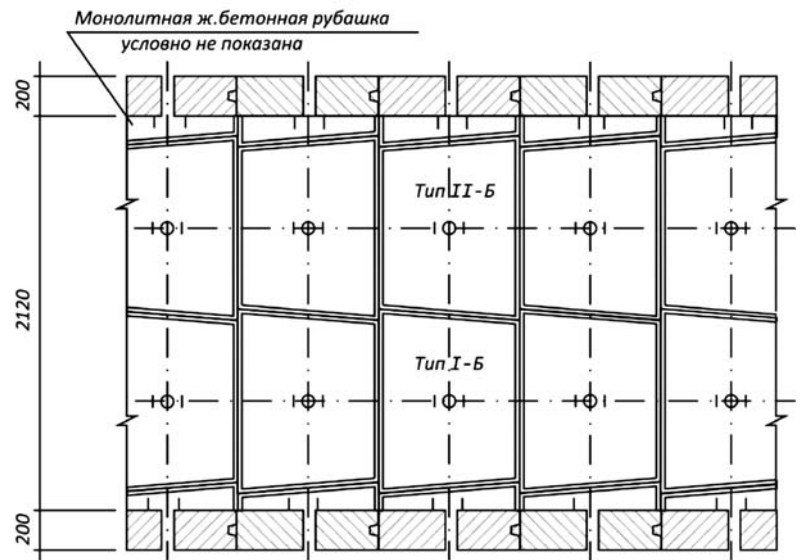


Рис. 10. Продольный разрез коллектора

Через стартовые котлованы производилось опускание в существующий коллектор модулей (рис. 4, 5), скручивание их между собой с помощью резьбы и последующее обваривание экструзионной сваркой (рис. 6).

По мере наращивания плетя протаскивалась внутрь коллектора. С помощью крана и петлевого соединения осуществлялось проворачивание нового трубопровода для сваривания стыков, что не представляло сложности ввиду наличия в существующем коллекторе воды. Протаскивание выполнялось от стартовой шахты к целевой, на которой было заранее установлено втягивающее оборудование [8].

После окончания протягивания и сварки модулей межтрубное пространство инъектировалось цементно-песчаным раствором.

На последнем этапе выполнялся демонтаж стальных и деревянных креплений в котлованах с обратной засыпкой и благоустройством территории.

В декабре 2014 г. произошло обрушение разгрузочного коллектора ХТЗ вблизи шахты № 4 в Харькове. На поверхности, в районе прохождения коллектора, была обнаружена просадка грунта глубиной до 11 м на расстоянии 6–8 м по направлению к шахте № 8 (рис. 7, 8).

Коллектор был построен методом щитовой проходки в 1969 г., глубина его залегания составляла порядка 14 м. Конструктивное решение данного коллектора показано на рис. 9.

Из анализа проектной документации следует, что основным конструктивом коллектора являются сборные железобетонные тубинги размером 1370×770×200 мм и 1210×770×200 мм. Армированные тубинги изготовлены в завод-

ских условиях из бетона марки 300. На рис. 10 они маркируются как блоки типа I-Б и II-Б.

Коллектор имеет внутреннюю обделку толщиной 160 мм из бетона марки 200. Имеющаяся проектная документация не дает возможности установить, какая в проекте была заложена водонепроницаемость конструкций коллектора.

Железобетонные блоки изготавливались в соответствии с чертежами Спецшахтподземстроя. Объем блока составляет порядка 0,183 м³ при весе 455 кг. К монтажным петлям блока в дальнейшем приваривалась арматурная сетка обделки коллектора (рис. 11).

При вводе в эксплуатацию внутренний диаметр коллектора составлял 1840 мм, наружный – 2520 мм. Отверстия в тубингах служили для инъектирования заблочного пространства цементно-песчаным раствором.

Вследствие действия коррозионных процессов обделка коллектора вблизи шахтного ствола полностью пришла в негодность. На дне коллектора обнаружены крупные обломки обрушенного блока, а также грунтовые отложения, попавшие туда из надколлекторного пространства после падения блока, что препятствовало транспортированию сточных вод.

Принимая во внимание, что общая протяженность коллектора между шахтами равна 440 м, были рассмотрены несколько вариантов его восстановления с учетом степени разрушения конструкций как обделки, так и основных несущих блоков крепи [6, 7, 12], в зависимости от основных требований к применяемым способам и выбранным конструктивам (табл. 2).

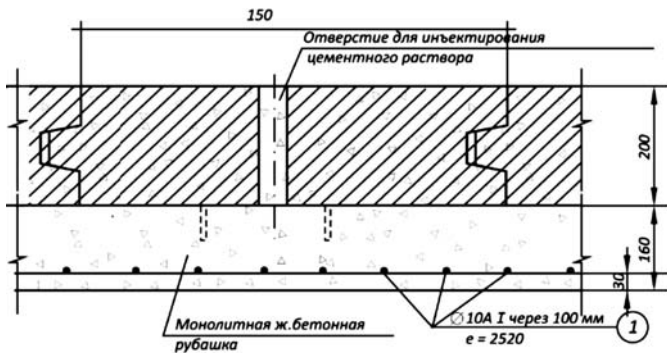


Рис. 11. Схема стыковки тубингов с устройством внутренней армированной обделки

Таблица 2

Способы восстановления работоспособности коллекторов

Способ	Основные требования			
	санация с целью защиты от коррозии	применение для усиления конструкций крепи	максимальный диаметр после восстановления	применение на участках с высокими (более 4 м/с) скоростями течения стоков
Санация полиэтиленовыми трубами с последующим заполнением межтрубного пространства бетоном	+	±	—	—
Санация стеклопластиковыми трубами с последующим заполнением межтрубного пространства бетоном	+	±	—	±
Внутренняя обделка из торкрет-фибробетона и торкрет-бетона, армированного стеклопластиковой арматурой	+	+	+	+
Условные обозначения: + способ используется и эффективен; ± ограниченное применение способа; — способ не используется или неэффективен				

При использовании метода вставок рассматриваются два варианта труб (рис. 12). Один из них – полиэтиленовые трубы ПЭ 100 типа SPIRO длиной 3 м [8, 11, 12].

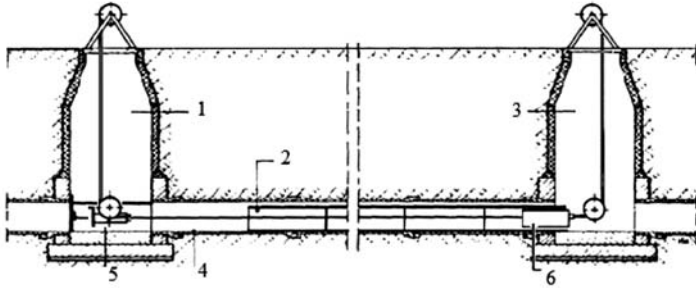


Рис. 12. Монтаж нового трубопровода без растягивающих усилий:

1 – целевая шахта; 2 – новые трубы; 3 – стартовая шахта; 4 – поврежденный трубопровод; 5 – фиксация трубопровода; 6 – вводимая труба

Предварительный гидротехнический расчет показал, что для этих целей возможно использовать трубы с внутренним диаметром 1600 мм при наружном диаметре 1732 мм.

С учетом сложной конструкции шахты № 4 и обвала тубинга на расстоянии 3,5 м от стены было принято решение об устройстве дополнительной вертикальной крепи размерами в плане 4 × 4,5 м над обрушившимся тубингом. В дальнейшем это позволит:

- перекрыть транспортировку сточных вод через коллектор непосредственно в его выходе из шахты;
- организовать перекачку сточных вод из шахты по поверхности в другой коллектор или шахту;

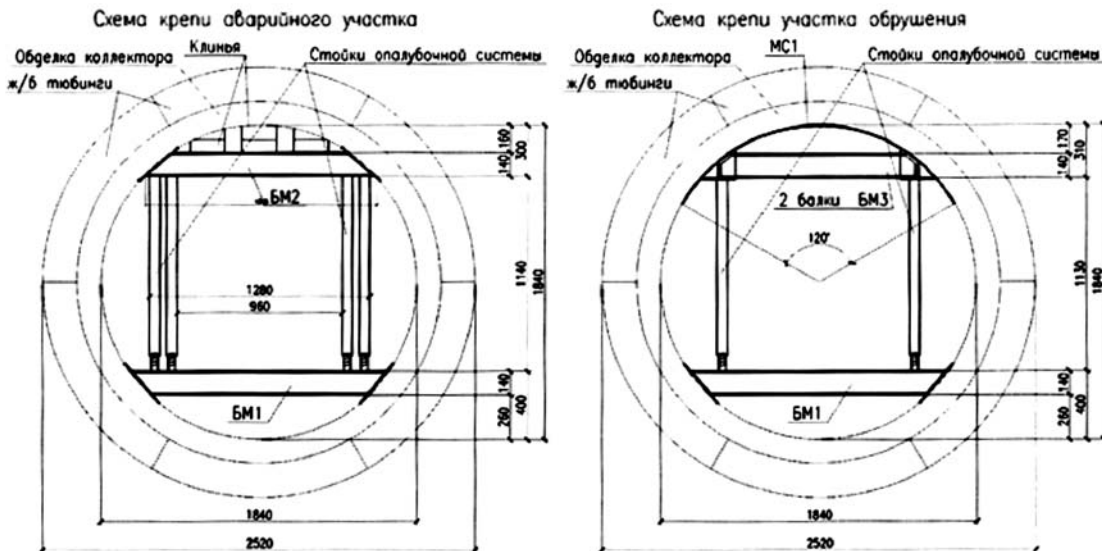


Рис. 13. Проектное решение закрепления свода



Рис. 14. Состояние конструкций тоннельного коллектора



Рис. 15. Труба SPIRO Ø1600 мм

- при помощи устроенной вертикальной крепи осуществлять подачу в коллектор коротких труб, а также трубопровода для инъектирования межтрубного пространства;
- после завершения работ выполнить устройство монолитной плиты вместо обрушившихся и демонтированных тубингов.

До начала восстановления коллектора были выполнены работы по временному закреплению его свода в месте обрушения тубинга (рис. 13, 14).

После устройства вертикальной крепи конструкция, показанная на рис. 14, удаляется и дополнительно демонтируются несколько тубингов, что позволяет обустроить доступ в коллектор.

Согласно разработанной технологии полиэтиленовые трубы длиной 3 м (рис. 15) соединяются или в шахте № 4, или в коллекторе под временной крепью. Лебедка для протягивания плети устанавливается над шахтой № 8. Плеть протягивается по мере ее наращивания.

Необходимо отметить, что при использовании этого метода растягивающих усилий между новыми трубами не возникает. Тяговый канат, находящийся внутри нового трубопровода, крепят к опорной траверсе, а ее – к торцу каждой вновь устанавливаемой для наращивания трубы. Поскольку трубы работают только на сжатие, испытывать их на растягивающее усилие нет необходимости. Протягивание осуществляется с помощью лебедки. Недостатком метода является то, что в процессе протягивания может произойти перекашивание труб, их смещение, образование трещин. Вероятность этого возрастает, если наружная поверхность восстанавливаемой трубы неровная. В таких случаях проводят дополнительные мероприятия: на внутренней трубе устанавливают специальные фиксаторы или передвижные транспортные зажимы со скользящими полозьями либо роликами [1, 4, 12].

Интересен метод восстановления коллектора с использованием стеклопластиковых труб с внутренним диаметром 1600 мм. Внешний максимальный диаметр с учетом наружного диаметра муфты составляет 1705 мм. При монтаже таких труб особое внимание необходимо уделять их стыковке.

Для восстановления рассматриваемого участка сети возможен вариант наращивания труб в

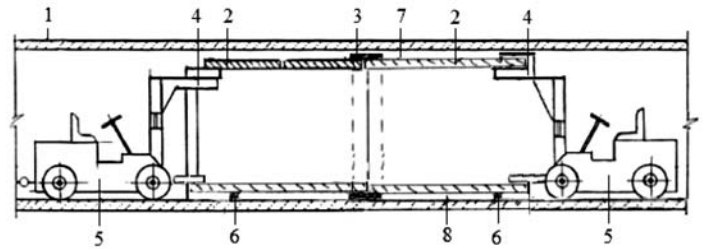


Рис. 16. Транспортировка и установка стеклопластиковых труб внутри коллектора:

1 – коллектор; 2 – стеклопластиковая труба; 3 – соединительная муфта; 4 – захваты для строповки трубы; 5 – электрокары; 6 – подкладка для временного крепления труб; 7 – межтрубный зазор в сводовой части; 8 – межтрубный зазор в лотковой части

двух направлениях, начиная от центра участка коллектора. В этом случае подача труб осуществляется с помощью электрокара (рис. 16) или специальных тележек. Соединение выполняется с помощью муфт.

Трубу необходимо вставлять в муфту до касания трубой стопора муфты. В случае труб больших диаметров, что имеет место в данном случае, после их установки внутрь может войти специалист и проверить сопряжение стопора и трубы. Однако в случае труб меньших диаметров для проверки сопряжения трубы и стопора должны применяться другие методы. При этом на трубе отмечается расстояние от внешнего края муфты до стопора. Трубу проталкивают внутрь муфты до достижения отмеченным участком конца муфты.

Если разрушение обделки коллектора незначительно, эффективным является метод восстановления путем нанесения покрытий с использованием различных материалов. При выборе тех или иных методов нанесения покрытий в каждом конкретном случае необходим тщательный анализ состояния коллектора, в т.ч. наличие на конструкциях влаги, химический состав грунтовых вод, возможность тщательной очистки стен от продуктов коррозии.

Методы нанесения покрытий закрытого (замкнутого) слоя на внутренние стены используются для восстановления или повышения сопротивления физическим, биологическим, химическим и биохимическим воздействиям изнутри, для устранения новых образований инкрустаций, для восстановления и/или повышения статической несущей способности и водонепроницаемости коллекторов [4]. Покрытие может наноситься как по всей поверхности, так и частично, по лотковой или сводовой части коллектора (рис. 17).

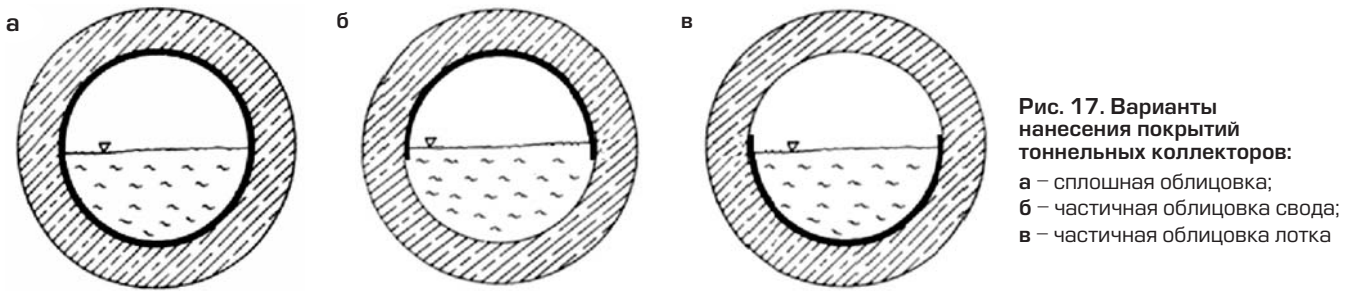


Рис. 17. Варианты нанесения покрытий тоннельных коллекторов:
 а – сплошная облицовка;
 б – частичная облицовка свода;
 в – частичная облицовка лотка

Исследования поверхности в обрушенном разгрузочном коллекторе ХТЗ вблизи шахты № 4 в Харькове [12, 13] показали, что при строительстве коллектора обделка была запроектирована из бетона марки 200, что не соответствует требованиям ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування».

Принимая во внимание тот факт, что в рассматриваемом коллекторе разрушению была подвергнута сводовая часть, был выбран вариант частичной облицовки свода (рис. 17, б) из бетона класса С25/30 (марка М400). Рабочая кольцевая арматура композитная стеклопластиковая периодического профиля $\varnothing 8$ мм, с временным сопротивлением на разрыв $\sigma_c = 520$ МПа. Расчетное сопротивление стеклопластиковой арматуры $R_s = 520/1,4 = 370$ МПа, что эквивалентно по прочностным характеристикам классу стальной арматуры А400С. Защитный слой $a = 3$ см. Шаг арматуры 100 мм. Расчет произведен на

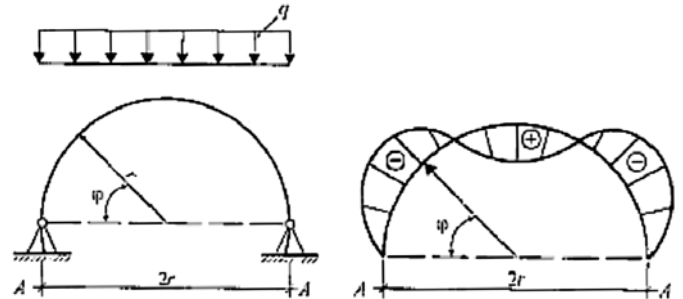


Рис. 18. Расчетная схема обделки коллектора от вертикальной нагрузки. Эпюра моментов от вертикальной нагрузки

один метр длины коллектора.

Нагрузки на монолитную железобетонную обделку коллектора состоят из собственного веса обделки и технологической нагрузки $p = 50$ кг/м². Расчетная схема монолитной железобетонной обделки приведена на рис. 18.

Статический расчет выполнен с помощью ПК ЛИРА, версия 9.6. Расчетная схема обделки с нагрузками приведена на рис. 19, 20.

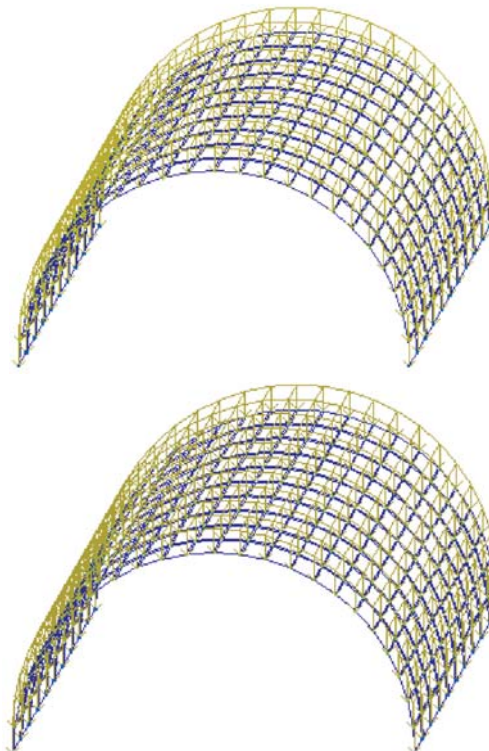
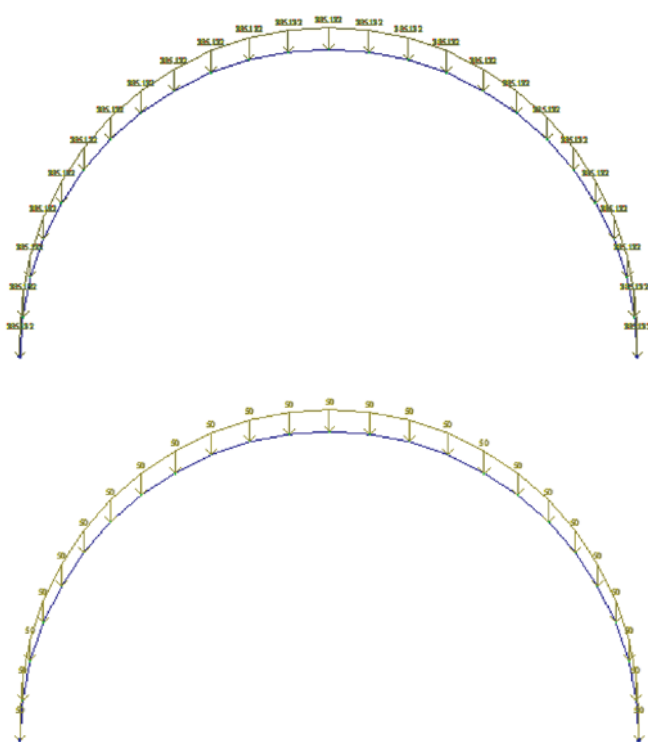


Рис. 19. Схема приложения нагрузки от собственного веса монолитной железобетонной обделки

Рис. 20. Схема приложения технологической нагрузки

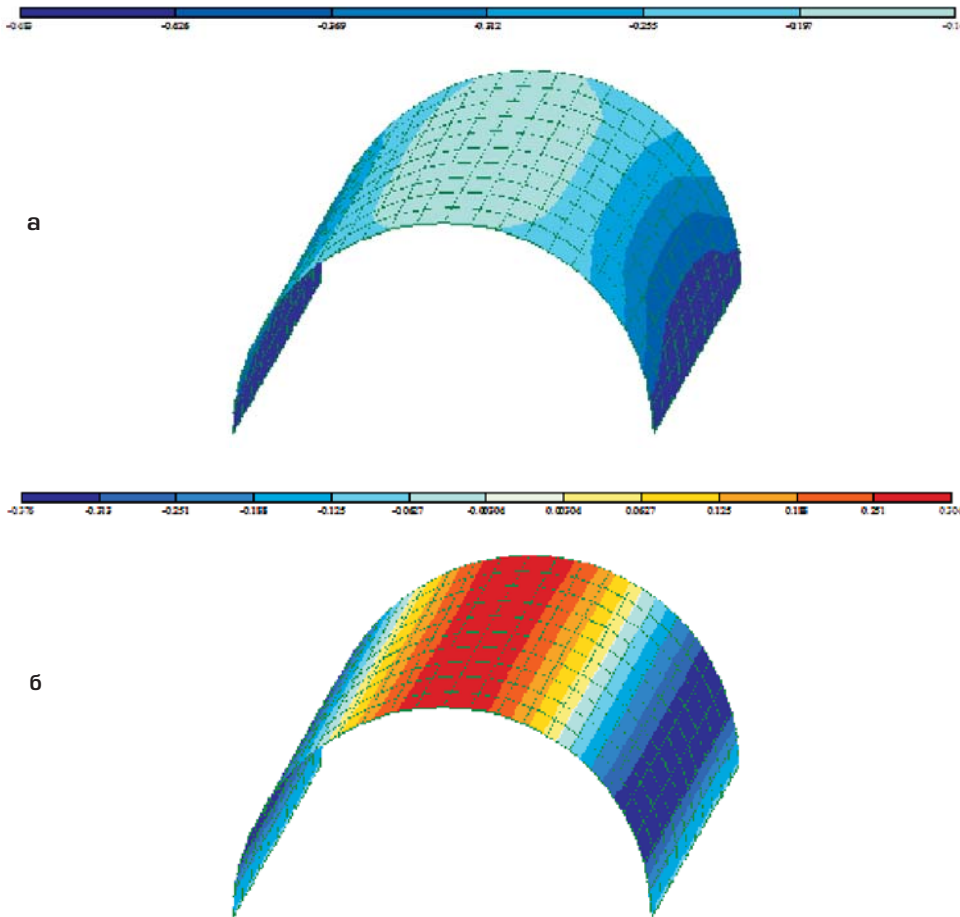


Рис. 21. Результаты статического расчета монолитной железобетонной обделки:
а – изополя нормальных напряжений N_x ; б – изополя изгибающих моментов M_x

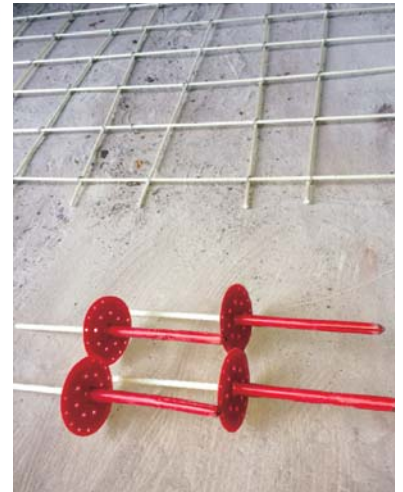


Рис. 23. Сетка из стеклопластиковой арматуры и анкеры для крепления к сводовой части коллектора



Рис. 24. Армирование стеклопластиковой арматурой сводовой части коллектора

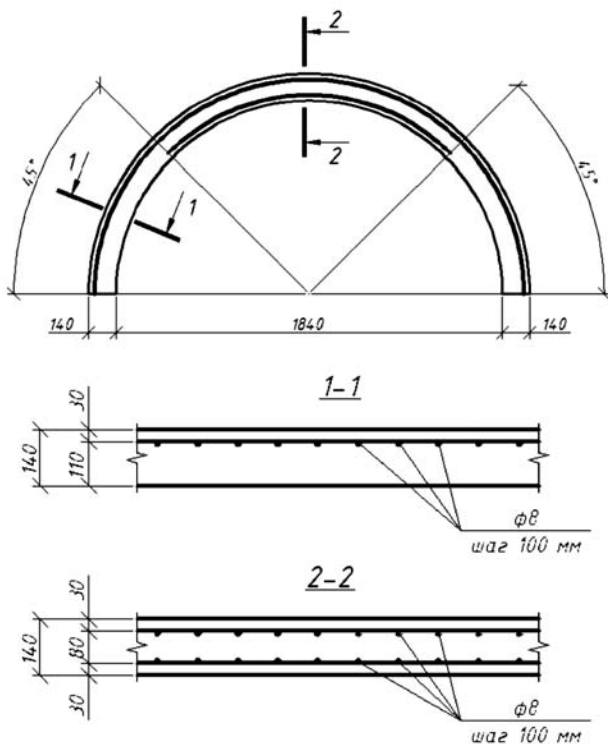


Рис. 22. Схема армирования монолитной железобетонной обделки

Результаты статического расчета показаны на рис. 21.

Расчетные усилия приняты следующими:
 $N = 0,68$ т; $M = -0,04$ т·м/м; $M = 0,03$ т·м/м.

На действие расчетных и нормативных усилий выполняется проверка несущей способности по прочности и трещиностойкости прямоугольного сечения обделки 14×100 см на внецентренное сжатие.

В соответствии с эпюрой изгибающих моментов принята схема армирования, приведенная на рис. 22.

Проверка несущей способности железобетонных сечений (с одиночным армированием – сечение 1-1 и двойным симметричным армированием – сечение 2-2) обделки выполнена в программе-сателлите SCAD «Арбат».

Крепление арматурной сетки к поверхности коллектора после ее очистки от продуктов коррозии показано на рис. 23, 24.

Выводы.

Рассмотрены следующие методы ремонта коллектора: метод вставок с использованием полиэтиленовых труб SPIRO и труб из стеклопластика, а также метод восстановления сводовой части коллектора путем армирования разрушенной обделки композитной арматурой из стеклопластика и нанесения на неё торкрет-фибробетона. Для данного метода могут рассматриваться варианты с использованием полиакриловой, углеродистой и полипропиленовой

фибры. Стеклопластиковая арматурная сетка с ячейками 100×100 мм крепится к сохранившимся конструкциям обделки или блокам коллектора с помощью анкеров, изготовленных из композитных материалов. Элемент сетки удерживается на своде при помощи анкеров.

После оценки стоимостных показателей вариантов ремонта сделан вывод, что вариант с торкрет-фибробетонированием дешевле по сравнению с другими, рассматриваемыми в данном исследовании.

-
- [1] Stein D. Instandhaltung von Kanalisation. – Ernst&Sohn, 1998 – 941 s.
 - [2] Гончаренко Д.Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения: монография. – Харьков: Консум, 2008. – 400 с.
 - [3] Розенталь Н.К. Коррозия и защита бетонных и железобетонных конструкций сооружений очистки сточных вод // Бетон и железобетон. – М.: Лада, 2011. – Вып. 2. – С. 78–86.
 - [4] Stein D. Practical Guideline for the Application of Microtunneling Methods. – Stein & Partner Germany, 2005. – 112 s.
 - [5] Гончаренко Д.Ф., Коринько И.В. Ремонт и восстановление канализационных сетей и сооружений. – Харьков: Рубикон, 1999. – 365 с.
 - [6] Гончаренко Д.Ф., Бондаренко Д.А., Булгаков Ю.В. Восстановление канализационных трубопроводов методом проталкивания коротких базальтовых труб // Вісник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вып. 150. – С. 108–115.
 - [7] Гончаренко Д.Ф., Забелин С.А., Бондаренко Д.А. Организационно-технологические решения ремонта трубопроводов водоотведения с использованием труб-вкладышей из стеклопластика // Наук. вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2012. – Вып. 69. – С. 80–85.
 - [8] Гончаренко Д.Ф., Булгаков Ю.В., Старкова О.В. Организационно-технические решения ремонта и восстановления канализационных коллекторов города Харькова // Вода и экология: проблемы и решения. – СПб.: ЗАО «Водопроект-Гипрокоммуводоканал Санкт-Петербург», 2014. – Вып. 1 (57). – С. 62–70.
 - [9] Гончаренко Д.Ф., Коваленко А.Н., Коваленко А.В., Белецкий И.В. Восстановление канализационного коллектора закрытым способом с применением современных технологий // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наукових праць. – Рівне, 2008. – Вып. 16. – С. 324–329.
 - [10] Татаринцева О.С., Зимин Д.Е. Базальтопластик с повышенной тепло- и химической стойкостью // Материалы Международной конференции «Становление современной науки. Химия и химические технологии»: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rusnsuka.com/25_NNP_2011/Chimia/5_91641.doc.htm.
 - [11] Удыма П.Г. Коррозионностойкие трубопроводы из неметаллических материалов. – М.: Госхимиздат, 1963. – 220 с.
 - [12] Булгаков Ю.В. Исследование процесса разрушения конструкций канализационного тоннельного коллектора // Наук. вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. – Вып. 5 (79). – С. 79–84.
 - [13] Гончаренко Д.Ф., Убийвовк А.В., Бондаренко Д.А., Булгаков Ю.В. Оценка несущей способности крепи канализационного тоннельного коллектора и выбор методов его восстановления // Наук. вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. – Вып. 5 (79). – С. 66–71.
- Надійшла 14.04.2015 р.