

2 Существующие методы оценки функционирования станций передачи вагонов не дают удовлетворительного результата в связи с тем, что проблема решается только со стороны материального потока. Однако сложившаяся ситуация, когда операции по оформлению документов задерживают груз, требует комплексного рассмотрения технологических линий переработки материального и документального потоков, что учтено в предлагаемой концепции решения. Помимо этого методика предполагает комплексное рассмотрение линий по приему и сдаче грузов, которые являются асимметричными.

3 Для решения поставленной задачи необходимо составить модель функционирования станции передачи вагонов с учетом всех необходимых параметров. Составленная модель легко просчитыва-

ется с использованием средств вычислительной техники, что позволит быстро находить решение для каждой конкретной станции.

4 В качестве критерия оценки выбирается целевая функция, которая учитывает как расходы, возникающие непосредственно на станции, так и косвенные потери железной дороги и клиента. Данный критерий позволяет учесть все особенности работы СПВ и определить оптимальный вариант организации работы.

5 Приведенный пример показывает, что предлагаемая методика может быть использована для оценки любых вариантов комбинаций технологических операций, причем для станций передачи вагонов, расположенных как на границе со странами СНГ и Балтии, так и на границе с дальним зарубежьем.

Список литературы

1 *Гринецкий М. А., Зайчик В. С.* Исследование влияния технологии работы станций передачи вагонов на конкурентоспособность Белорусской железной дороги при перевозке транзитных грузов // Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса: Труды Международ. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. *Сенько В. И.* Гомель: БелГУТ, 2001. – С. 188-189.

2 *Циркунов Г. А., Еловой И. А., Зайчик В. С.* Расчет временных параметров технологического процесса пограничной перегрузочной станции. – Гомель: БелГУТ, 2000. – 38 с.

3 *Зайчик В. С.* Проблемы создания многовариантной технологии работы пограничных передаточных станций // Рынок транспортных услуг (проблемы повышения эффективности). Вып. 1/Под ред. *Гизатуллиной В. Г.* – Гомель:

БелГУТ, 2001. – С. 189-195.

4 *Зайчик В. С.* Решения по организации технологического процесса работы конторы передачи на станциях передачи вагонов // Актуальные вопросы организации грузовой и коммерческой работы, экономики и маркетинга на транспорте. Вып. 2/Под ред. *Елового И. А.* – Гомель: БелГУТ, 2001. – С. 89-96.

5 *Кореньков А. Н.* Взаимодействие железной дороги и таможенных органов // Железнодорожный транспорт. – № 1. – 2000. – С. 24-28.

6 *Буте К.* Грузовое сообщение: ускорение пересечения границы с переходом на другую ширину колеи // Бюллетень ОСЖД. – № 5. – 1998. – С. 14-18.

7 На стыке тысячелетий – на стыке дорог: Материалы междунар. конф. 22 –24 мая 2001 г., г. Брест. – Мн.: Тэхналогія, 2001. – 148 с.

Получено 01.02.2002

V. S. Zaichyk. Research of technological modes of cars-transferring stations operations.

The basic rules on modeling work of cars-transferring station are given: task production of technological lines optimization, order of modeling, concept of criterion formation for variants selection, and also results of accounts by definition of the best technological variant of the cargoes passing through State border.

Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт, 2002. № 1(4)

УДК 69.035.4

И. А. КУДРЯВЦЕВ, доктор технических наук; А. А. ВАСИЛЬЕВ, аспирант; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Приводятся результаты наблюдений за состоянием подземных коммуникаций. Дана оценка отдельных факторов, влияющих на преждевременный выход конструкций из строя. Предложен подход по оценке долговечности труб из железобетона.

Проблемы обеспечения безопасной работы фекальных и ливневых канализаций привлекают особое внимание в связи с тем, что для них частота проявления серьезных поврежде-

дений и возникновения аварийных ситуаций значительно выше, чем для объектов традиционного гражданского и промышленного строительства. Вероятность катастрофических отказов для подземных коммуникаций данного направления составила $2 \cdot 10^{-4}$ при соответствующих допустимых значениях $2 \cdot 10^{-5}$ [1]. Данные расхождения объясняются недостаточной изученностью фактического поведения конструкций при эксплуатации и особенностями реальных воздействий многофакторной и комплексной проблемы, отсутствием или приближенностью методов прогнозирования, несовершенством норм проектирования и рядом других факторов. Аварийные ситуации таких объектов способствуют образованию провалов, техногенному загрязнению массивов грунта, нанося значительный урон окружающей среде. После 5–10 лет эксплуатации из-за деградации бетона и разрушения стыков происходит увлажнение грунта, расположенного на некотором удалении от сетей, фекальными и ливневыми стоками. По нашим данным, снижение прочностных свойств грунтов может в этих случаях достигать 1,2–1,9 раза [2] и отмечаться на удалении 10–15 м от оси коллектора при залегании уровня грунтовых вод на глубине 2–3 м. Классификация дефектов, выявленных в процессе эксплуатации, по результатам наших наблюдений, показала, что их можно подразделить на 14 видов. Однако наиболее опасным из них, приводящим к серьезным авариям, является обрушение свода и лотковой части. Основными причинами, вызывающими такие обрушения, являются процессы деградации железобетонных конструкций.

Как отмечено в работе [3], ни в странах СНГ, ни в дальнем зарубежье не существует нормативных требований к коррозионной стойкости стали. Это, по нашему мнению, вызвано тем, что за основу взят постулат о выполнении бетоном защитных свойств для стали. Поэтому практически единственной защитой арматуры в подземных ливневых и фекальных коммуникациях является слой бетона, однако его длительная эксплуатация не всегда обеспечивает эти свойства, что, в конечном счете, сказывается на потере прочностных характеристик труб и возникновении аварийных ситуаций.

Изучение поведения материала фекальных и ливневых канализаций является весьма актуальным.

Исследование причин обрушения сводов и лотков. Анализ причин обрушения показал, что у различных канализационных сетей типы аварий бывают разные. В частности, транспортирование фекальных отходов в железобетонных коллекторах сопровождается разрушением свода трубопровода. Это вызвано тем, что при разложении органических веществ на пути их следования выделяется сероводород H_2S и ряд других газов: CO_2 , в больших количествах водород, меркаптаны и аммиак. Эти газы способствуют тому, что содержание pH в бетоне начинает снижаться, и при значениях ниже 11,5–11,8 пассивная пленка в стали начинает разрушаться и интенсивно корродировать, а также уменьшается прочность бетона. Расслаивание арматуры способствует увеличению объема продуктов коррозии по сравнению с объемом прородированного металла в среднем в 2,0–2,5 раза.

В результате образования продуктов коррозии на арматуре происходит ее отжатие в сторону наименьшего сопротивления, сопровождаемое отслоением защитного слоя. При этом слои бетона над арматурным стержнем практически не деформируются [2].

По нашим данным, при коррозии арматуры более 10 % начинается отслоение защитного слоя толщиной до 20 мм, при 15 % коррозии – отслоение до 30 мм, а при более 25 % – толщина достигает 50 мм. При этом происходит снижение сцепления арматуры с бетоном. В этом случае оно уменьшается соответственно, по результатам наших исследований, на 25–40 %, 30–50 % и 40–60 % соответственно для различных толщин защитного слоя.

Экспериментально подтверждено, что при содержании сероводорода более 300 мг/м^3 и при величине $pH = 1 \dots 2$ на поверхности конструкции разрушение бетона происходит со скоростью 1–2 см в год, и вследствие этого сооружение быстро выходит из строя.

Предсказать концентрацию сероводорода по данным химического анализа фекальных источников весьма трудно, так как он выделяется в результате жизнедеятельности организмов – процесса неуправляемого, интенсивность которого зависит от многих факторов. В частности, в процессе эксплуатации из-за различной наполняемости коллектора содержание сероводорода неодинаково (рисунок 1).

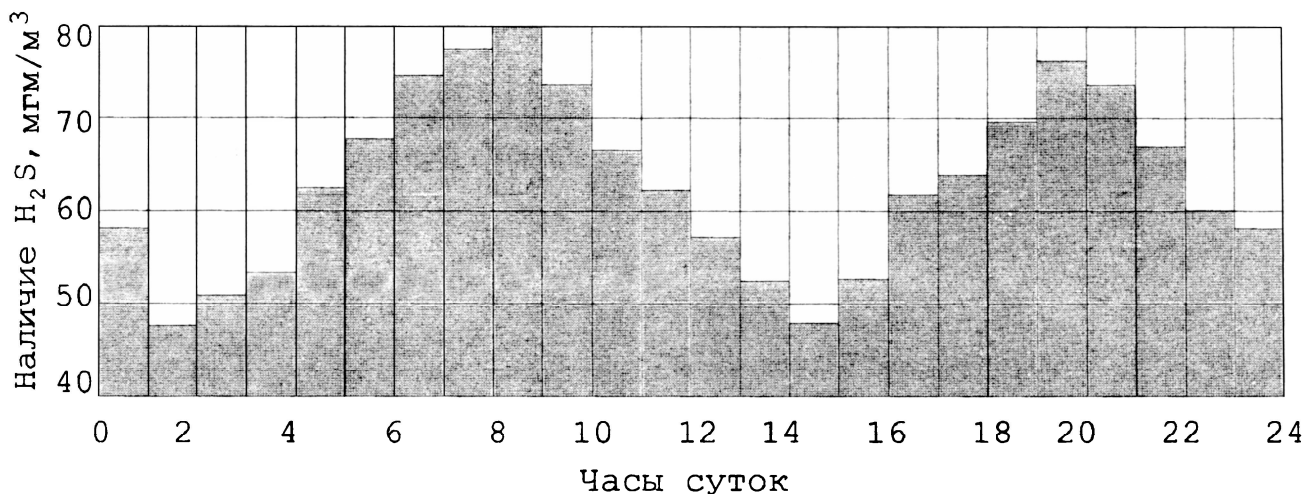


Рисунок 1 – Изменение содержания сероводорода в зависимости от времени суток

Эти расхождения объема H₂S в коллекторе вызваны различной наполняемостью последнего. Для определения интенсивности разрушения бетона по контуру трубы были проведены исследования в ряде точек внутри коллектора на предмет опреде-

ления значений pH на поверхности оболочки. Срок эксплуатации объекта – 8 лет. Замеры выполнялись в точках, приведенных на рисунке 2, а. Исследовалось 20 сечений. В этих точках определена и глубина коррозии (рисунок 2, б, таблица 1).

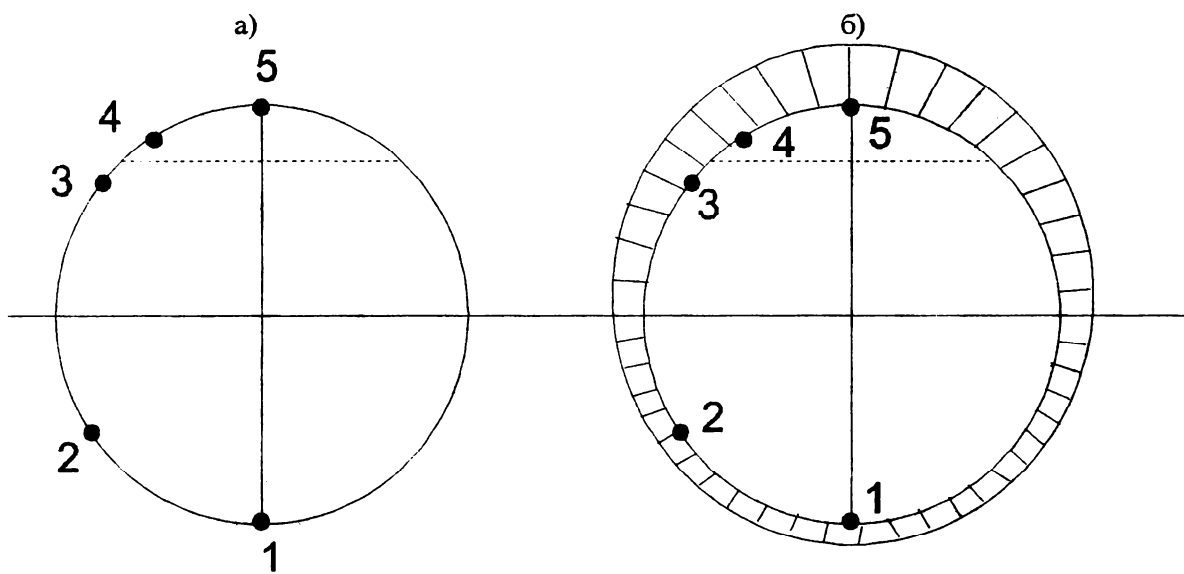


Рисунок 2 – Расположение исследуемых точек:
а – схема замеров показателей; б – глубина коррозии бетона

Таблица 1 – Глубина коррозии бетона при эксплуатации коллектора, мм

№ сечения	Глубина коррозии, мм				
	т. 1	т. 2	т. 3	т. 4	т. 5
I	14,1	14,3	15,7	64,0	75,0

Результаты, приведенные в таблице 1, подтверждают неравномерность коррозии по сечению. В частности, интенсивность разрушения оболочки в сводовом пространстве превышает более 5 раз интенсивность разрушения в лотковой части (т. 1, 2). По мнению авторов работы, показатель слизи по pH находится в интервале от 3 до 5.

Авторами работы [4] предлагается по величине pH слизи верхней части определять глубину разрушения бетона на портландцементе за расчетный срок службы конструкции при pH, равном соответственно 2, 3, 4 [4] (таблица 2).

Таблица 2 – Глубина разрушения бетона, изготовленного на портландцементе при В/Ц = 0,6

pH (с)	Глубина разрушения бетона, мм, за расчетный срок службы конструкции, лет		
	25	50	100
2 (0,01)	54	76	108
3 (0,001)	17	24	34
4 (0,0001)	5	7	11

Эти расчетные характеристики не совпадают с экспериментальными, что подтверждает необходимость проведения работ в этом направлении.

Выявлено, что уменьшение рН на глубину 50 мм в конструкции происходит по зависимости, достаточно хорошо коррелируемой выражением

$$pH = pH_n \cdot 1/e^{\alpha t},$$

где pH_n – значение рН на поверхности конструкции; α – коэффициент, учитывающий свойства бетона, прочность, водопроницаемость, стойкость к агрессивным средам; t – продолжительность наличия на поверхности данного уровня рН.

Глубина разрушения Δh , мм, бетона за расчетный срок службы конструкции достаточно хорошо коррелируется выражением типа

$$\Delta h = \alpha t^n,$$

где α – коэффициент, учитывающий местоположение исследуемой точки по сечению; t – время эксплуатации; n – степенной показатель (таблица 3).

$$s_x = \frac{2q}{p} \int_{-a}^a \frac{(x-x)z}{[(x-x)^2 + z^2]^2} dx = \frac{q}{p} \left(\arctg \frac{a-x}{z} + \arctg \frac{a+x}{z} \right) + \frac{2aqz(x^2 - z^2 - a^2)}{p[(x^2 + z^2 - a^2)^2 + 4a^2z^2]};$$

$$\sigma_z = \frac{2q}{\pi} \int_{-a}^a \frac{z^3}{[(x-\xi)^2 + z^2]^2} d\xi = \frac{q}{\pi} \left(\arctg \frac{a-x}{z} + \arctg \frac{a+x}{z} \right) - \frac{2aqz(x^2 - z^2 - a^2)}{\pi[(x^2 + z^2 - a^2)^2 + 4a^2z^2]};$$

$$\sigma_{xz} = \frac{2q}{\pi} \int_{-a}^a \frac{(x-\xi)z^2}{[(x-\xi)^2 + z^2]^2} dz = \frac{4aqxz^2}{\pi[(x^2 + z^2 - a^2)^2 + 4a^2z^2]},$$

где x, z – координаты точек, где определяются напряжения в полупространстве, ориентированные, соответственно, по горизонтали и вертикали; ξ – координата точки приложения полосовой нагрузки на поверхности полупространства; a – половина ширины полосовой нагрузки; q – интенсивность полосовой нагрузки.

Наличие вибраций, вызываемых работой стационарных и подвижных источников, увеличивает давление, передаваемое на оболочку, и способствует более интенсивному разрушению железобетонных труб [7]. В частности, нами выявлено, что при уровнях ускорений более 0,2 м/с², передаваемых на оболочку трубы, в последней интенсивность разрушения возрастает в 1,15–1,25 раз.

Анализируя сказанное, можно сделать вывод, что толщина защитного слоя бетона в тру-

Таблица 3 – Ориентировочные значения коэффициентов α, n

Коэффициент	Диаметр коллектора, м			
	0,6	0,8	1,0	2,8
α	1,2–4,4	1,1–6,2	1,11–7,11	1,53–7,75
n	1,01–1,21	1,12–1,32	1,11–1,31	1,15–1,41

В связи с тем, что разрушение бетона происходит по контуру оболочки неравномерно, для определения параметров, характеризующих ее прочностные свойства, требуется уточнение параметров, детально рассмотренных в работе [5], в частности, модуля деформации и коэффициента поперечной деформации. Учет этих отклонений позволяет повысить точность расчета на 10–15 %. В ряде работ ранее было доказано, что при повреждении 1/2 толщины оболочки она начинает разрушаться, и создается аварийное состояние конструкций. Однако это состояние может наступить и раньше. В частности, при расположении коллекторов под автомобильными и железнодорожными путями на оболочку передается давление от транспортных средств, которое в первом приближении можно представить полосовой нагрузкой, напряжения от которой на различной глубине определяются в соответствии с решениями [6]:

бах является недостаточной и требует увеличения до 50 мм. Именно поэтому наибольший объем аварийных участков фекальной канализации (до 60–70 % от общего числа) выявляется на участках, пересекающих транспортные (автомобильные и железнодорожные) коммуникации.

В связи с тем, что между прочностью бетона и величиной рН существует корреляционная зависимость, близкая к линейной, $R = kpH$, можно спрогнозировать продолжительность эксплуатации коллектора, положив в основу прочность бетона, его изменение по глубине и объем корродированного металла. Поэтому, используя зависимость потери прочности при определенных значениях рН, можно теоретически получить уменьшение запаса прочности от сроков эксплуатации. Результаты

расчета, выполненные с использованием метода конечных элементов, приведены на рисунке 3.

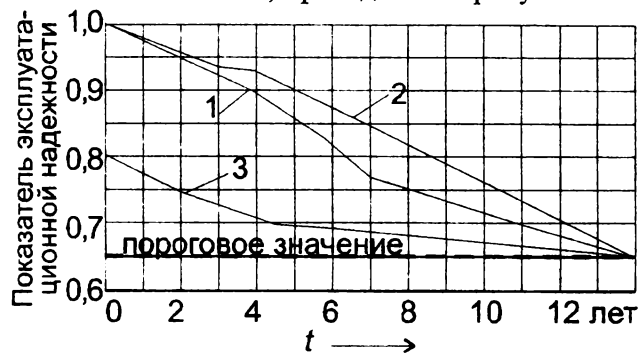


Рисунок 3 – Определение длительности эксплуатации по пороговому значению: 1 – при отсутствии вибрации; 2 – при наличии вибрации; 3 – при дополнительной нагрузке от автотранспорта

Как видно из рисунка 3, эти значения не совпадают с существующими ныне нормативными, основанными на амортизационных показателях в зависимости от времени эксплуатации.

По данным [8], число повреждений, приводящих к перерывам работы, составит одну аварию на 10 км. Однако наши исследования не подтверждают этих выводов. В результате проведенного анализа выявлено, что на эти показатели влияет срок эксплуатации (рисунок 4).

Следует знать, что уменьшение содержания сероводорода и других компонентов, присущих фекальным коммуникациям, возможно путем проведения работ по аэрации их, а использование антиобледенителей, не имеющих в качестве одного из компонентов Cl , в конечном счете, приведет к уве-

Список литературы

- 1 Котляревский В. А., Кочетков Е. А., Носич А. А., Забегаев А. В. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Ч. III. – М., 1998. – 380 с.
- 2 Кудрявцев И. А., Беспалова М. В., Чикилев А. С. Гидроизоляционные системы. – Гомель, 2000. – 444 с.
- 3 Железобетон в XXI веке / Под ред. К. В. Михайлова. – М., 2001. – 684 с.
- 4 Алексеев С. Н., Иванов Ф. И., Модры С., Шиссель П. Долговечность железобетона в агрессивных средах. – М.:

личению продолжительности эксплуатации. Несмотря на затраты для таких мероприятий, экономический эффект весьма реален.

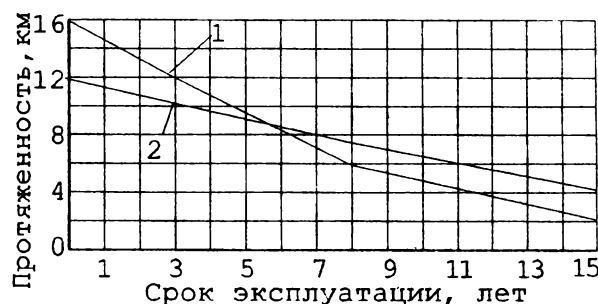


Рисунок 4 – Зависимость возникновения аварий на участках некоторой протяженности от сроков их эксплуатации

Выводы

1 Экспериментально подтверждено неравномерное повреждение труб из железобетона, предназначенных для фекальных и ливневых канализаций. Дано обоснование причин разрушения свода у фекальных и лотковой части у ливневой канализации.

2 Отмечено влияние транспортных потоков, пересекающих канализационные сети, на дополнительную нагрузку и вибрации, вызываемые ими, на контур железобетонного кольца трубы.

3 Получена графическая зависимость снижения коэффициента запаса прочности в зависимости от сроков эксплуатации канализационных коллекторов.

Стройиздат, 1990. – 230 с.

5 Кудрявцев И. А. Мониторинг состояния железобетонных путепроводов и водопропускных труб // Вестник БелГУТа. – 2001. – №2. – С. 90–92.

6 Цытович Н. А. Механика грунтов. 4-е изд. – М.: Высшая школа, 1986. – 480 с.

7 Кудрявцев И. А. Влияние вибрации на основания сооружений. – Гомель, 1999. – 274 с.

8 Иванов Ф. М., Дрозд Г. Б. Долговечность бетонных и железобетонных коллекторов / Бетон и железобетон. – № 12. – 1989. – С. 32–33.

Получено 29.04.2002

I. A. Kudryavtsev, A. A. Vasilyev. Mark a some factors that influence on durability underground communication from reinforced concrete.

There given results of monitoring of concrete underground communications properties while fecal and shower waste water flow through them. It was suggested to improve jacket calculations taking into consideration uneven destruction of chutes and arches.