

**ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КРЕПИ КАНАЛИЗАЦИОННОГО ТОННЕЛЬНОГО КОЛЛЕКТОРА И ВЫБОР ВАРИАНТОВ ЕГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

**Введение.** Глубина заложения канализационных тоннельных коллекторов в Харькове колеблется в интервале от 18 до 22 м, однако в связи с рельефом города существуют места, где глубина заложения уменьшается до 12 м или возрастает до 55 м. На сегодня протяженность таких тоннелей в Харькове составляет 56 км [1-3].

3 декабря 2014 г. произошло обрушение разгрузочного коллектора ХТЗ вблизи шахты №4 в Харькове. В ходе обследования было установлено:

- внутренняя поверхность коллектора не имеет монолитной железобетонной отделки;
- обнаружены признаки коррозии бетона и арматуры тубингов;
- толщина слоя разрушения бетона сохранившихся тубингов составляет около 20 мм;
- фактический диаметр коллектора – 2220 мм при проектном 1840 мм;
- на доступных для осмотра поверхностях тоннельного коллектора, расположенных выше уровня сточных вод, полностью отсутствует монолитная железобетонная отделка, при этом отчетливо различаются стыки сборных железобетонных тубингов;
- поверхность тубингов покрыта незначительным слоем влажных илистых отложений преимущественно серого (в отдельных местах – желтоватого и желтого) цвета;
- поверхность тубингов имеет признаки коррозии бетона и арматуры.

**Целью** данной статьи является оценка несущей способности крепи канализационного тоннельного коллектора и выбор вариантов его восстановления.

**Результаты исследования.** При незначительном снижении несущей способности отделки коллекторов для обеспечения их безаварийной и длительной эксплуатации

применяется санирование коллекторов трубами на основе полимеров, устойчивых к действию агрессивных сред, и за счет гидроизоляционных свойств, препятствующих дальнейшей коррозии бетонной несущей отделки коллекторов [4].

В случае существенных повреждений и снижения прочности конструкций несущей отделки коллекторов, помимо санации, необходимо предусматривать их усиление. При этом возникает проблема выбора эффективных, экономичных и надежных конструктивных решений, а также корректного расчета их несущей способности [5].

Аварии с обрушением сводовой части отделки коллекторов имеют целый ряд причин:

- разрушение конструкций несущей отделки вследствие газовой коррозии бетона;
  - нарушения технологии устройства (со снижением качества материалов конструкций, с отклонениями от проектного положения);
  - локальные аварии водовмещающих коммуникаций, вызывающие эрозию и ухудшающие свойства грунтов вблизи коллектора;
  - динамические нагрузки вблизи коллекторов (транспорт, строительство и т.д.);
  - изменения напряженно-деформированного состояния грунтовых массивов вследствие возведения подземных и надземных зданий и сооружений [6].
1. В случае обрушения конструкций коллектора необходимы меры по устранению причин обрушения, восстановлению участка обрушения и несущей способности (усиление). Способ восстановления работоспособности коллектора принимается в зависимости от степени потери несущей способности, а также условий работы новой конструкции (табл. 1, 2).

Таблица 1 - Применимость способов восстановления работоспособности коллекторов

Способ восстановления	Основные требования к способу восстановления			
	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	+	±	-	-
Внутренняя обделка из торкретфибробетона и торкретбетона, армированного стеклопластиковой арматурой	+	+	+	+

Условные обозначения:

- + – способ используется и эффективен;
- ± – ограниченное применение способа;
- – способ не используется или не эффективен.

Для расчета были заданы параметры тоннельного коллектора, выполненного методом щитовой проходки. Ось коллектора расположена на глубине 14,2 м от поверхности. Коллектор расположен в суглинках, имеющих следующие расчетные характеристики:  $\gamma=19,5\text{кН/м}^3$ ;  $E=15\text{МПа}$ ;  $\varphi=19^\circ$ ;  $c=25\text{кПа}$ .

Давление на крепь из тьюбингов оценим по теории М.М. Протодьяконова. Согласно представлениям о природе возникновения горного давления на крепь выработки по М.М. Протодьяконову [7], над выработкой формируется свод обрушения, ширина и высота которого зависят от размеров выработки и прочности грунтового массива. Основной характеристикой прочности является коэффициент крепости  $f$ , связанный с так называемым кажущимся углом внутреннего трения  $\bar{\varphi}$  :

$$f = \text{tg} \bar{\varphi} .$$

Связь между кажущимся  $\bar{\varphi}$  и истинным  $\varphi$  углом внутреннего трения при этом выражается следующим образом:

$$\text{tg} \bar{\varphi} = \text{tg} \varphi + \frac{c}{\sigma} ,$$

где  $c$  – удельное сцепление;  $\sigma$  – нормальные напряжения.

Приняв в качестве  $\sigma$  напряжения от собственного веса грунтов для глубины свода коллектора  $H \approx 13i$  , получим значение коэффициента крепости:

$$f = \text{tg} \varphi + \frac{c}{\sigma} = \text{tg} 19^\circ + \frac{25}{19,5 \cdot 13} \approx 0,44 .$$

Кажущийся угол внутреннего трения  $\bar{\varphi} = \text{arctg} f = \text{arctg} 0,44 \approx 24^\circ$  .

Учитывая, что  $f < 4$ , согласно теории М.М. Протодьяконова, вблизи вертикальных участков выработки образуются плоскости скольжения, наклоненные к горизонту под углом  $\left( \frac{\pi}{4} + \frac{\bar{\varphi}}{2} \right)$  . При этом, кроме

вертикального, возникает боковое горное давление. Расчетная ширина свода обрушения в этом случае увеличивается и для выработки кругового очертания с диаметром

$D$  равна  $b_0 = D + 2 \cdot D \cdot \text{tg} \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\bar{\varphi}}{2} \right)$  . Соответствующая

ширине высота свода обрушения

$h_q$  равна  $h_q = \frac{b_0}{2 \cdot f}$  . В рассматриваемом

случае:

Таблица 2 - Варианты конструкции восстановления коллекторов с характеристиками несущей способности

Конструкция	Толщина слоя бетона, мм	Тип, класс бетона	Армирование			Максимальные значения воспринимаемых погонных усилий		
			шаг, мм	диаметр, мм	N, кН/м	M, кНм/м	Q, кН/м	
Санация полиэтиленовыми трубами с последующим заполнением межтрубного пространства бетоном	100	C25/30	-	-	-	1700	2	120
	150			-	-	2550	4,5	180
	200			-	-	3400	8	240
Внутренняя обделка из торкретфибробетона и торкретбетона, армированного стеклопластиковой арматурой	100	фибробетон на основе бетона C25/30 и фибры стекловолокна	стеклопластиковая арматура	200	8	2200	13,3	800
	150			200	10	3300	30	1200
Внутренняя обделка из торкретбетона с двухслойным армированием базальтопластиковой арматурой	100	C25/30	базальтопластиковая арматура	200	8	1700	12,6	120
	150			200	10	2550	33,9	180
	150			200	12	2550	44,5	180

$$b_0 = 2,52 + 2 \cdot 2,52 \cdot \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{24^\circ}{2} \right) = 3,82 \text{ м};$$

$$h_q = \frac{3,82}{2 \cdot 0,44} \approx 4,3 \text{ м}.$$

Глубина свода коллектора  $H \approx 13 \text{ м}$ , таким образом,  $H < 2 \cdot h_q = 8,6 \text{ м}$ , что является условием возможности образования свода обрушения.

Интенсивность равномерно распределенного вертикального горного давления  $q_v$ , а также средняя интенсивность бокового давления  $q_h$ , определяемая как активное давление по теории сыпучих сред, вычисляются по формулам:

$$q_v = \gamma \cdot h_q,$$

$$q_h = \gamma \cdot (h_q + 0,5 \cdot D) \cdot \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\bar{\varphi}}{2} \right).$$

Для рассматриваемого случая:

$$q_v = \gamma \cdot h_q = 19,5 \cdot 4,3 = 83,9 \text{ кПа};$$

$$q_h = \gamma \cdot (h_q + 0,5 \cdot D) \cdot \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\bar{\varphi}}{2} \right) = 19,5 \cdot$$

$$\cdot (4,3 + 0,5 \cdot 2,52) \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{24^\circ}{2} \right) = 55,2 \text{ кПа}$$

С учетом полученных значений величин горного давления, в конструкции обделки при ее наружном диаметре  $D=2,52 \text{ м}$  будут возникать кольцевые усилия

$$N_k = q_v \cdot \frac{D}{2} = 83,9 \cdot \frac{2,52}{2} = 105,7 \frac{\text{кН}}{\text{м}}.$$

При моделировании методом конечных элементов совместной работы конструкций обделки с грунтовым массивом возникает необходимость корректного учета естественного напряженно-деформированного состояния грунтового массива, обусловленного собственным весом грунтов. Прикладываемая к расчетной схеме нагрузка в виде собственного веса грунтов вызывает вертикальные деформации, не имеющие отношения к деформациям крепи тоннеля. Не учет данного обстоятельства приводит к завышению значений усилий в обделке тоннелей.

Начальное напряжено-деформированное состояние массива определяется собственным весом грунтов в условиях отсутствия бокового расширения. Для компенсации влияния деформаций от собственного веса может быть использована компенсирующая температурная нагрузка. Вводимая в качестве загрузки температурная нагрузка назначается согласно формуле:

$$T_i = \frac{\sigma_i}{\alpha E},$$

где  $\alpha$  – коэффициент температурного расширения;  $T_i$  – изменение температуры, со-

ответствующее вертикальным напряжениям в элементе от собственного веса  $\sigma_i$ ;  $E$  – модуль деформации грунта.

При создании расчетной схемы в рамках плоской задачи железобетонные тубинги моделируются стержневыми элементами, при этом условия их контакта по цилиндрическим поверхностям приняты шарнирными. Грунтовый массив моделируется четырехугольными конечными элементами оболочки. Результаты расчетов с учетом двух вариантов расположения стыков тубингов приведены на рис 1-4.

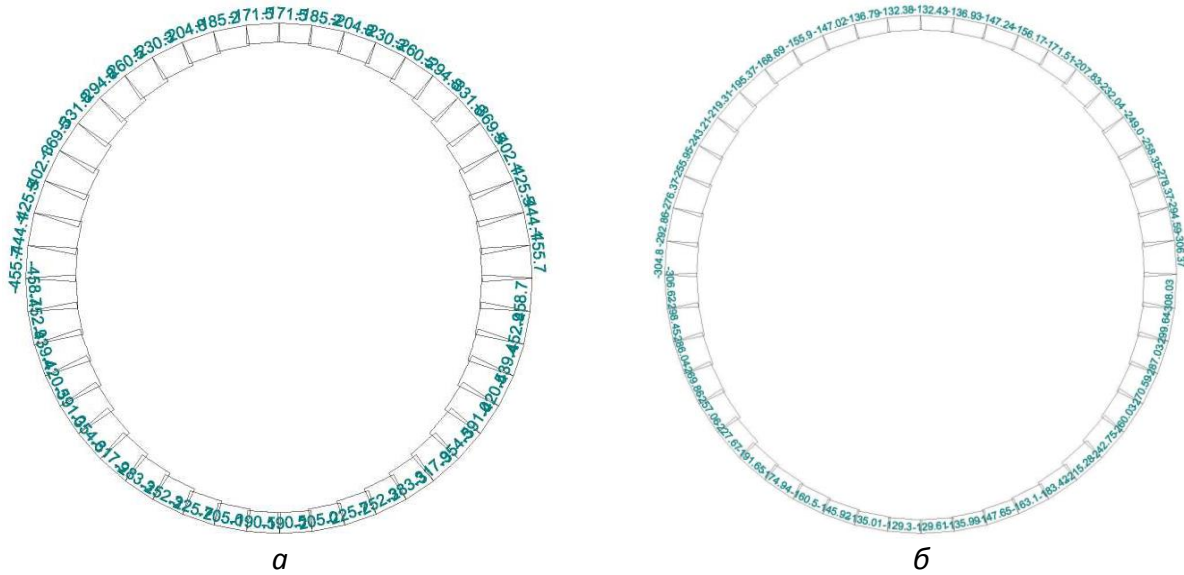


Рис. 1. Кольцевые усилия в обделке,  $\frac{кН}{м}$  :

а – схема 1; б – схема 2

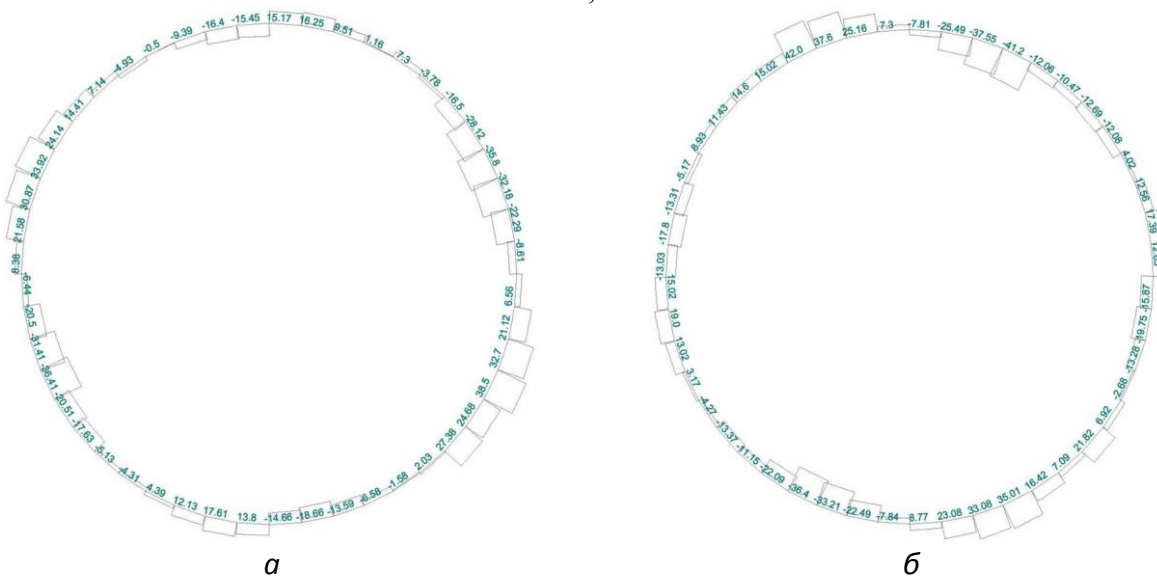


Рис. 2. Поперечные силы в обделке,  $\frac{кН}{м}$  :

а – схема 1; б – схема 2

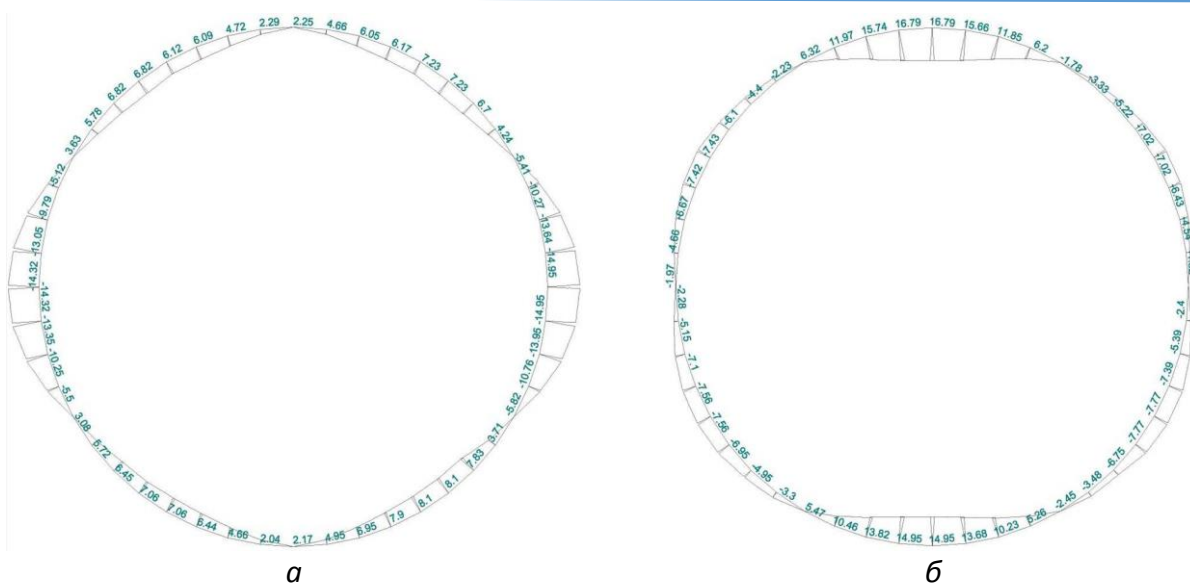


Рис. 3. Изгибающие моменты в обделке,  $\frac{кНм}{м}$  :

а – схема 1; б – схема 2

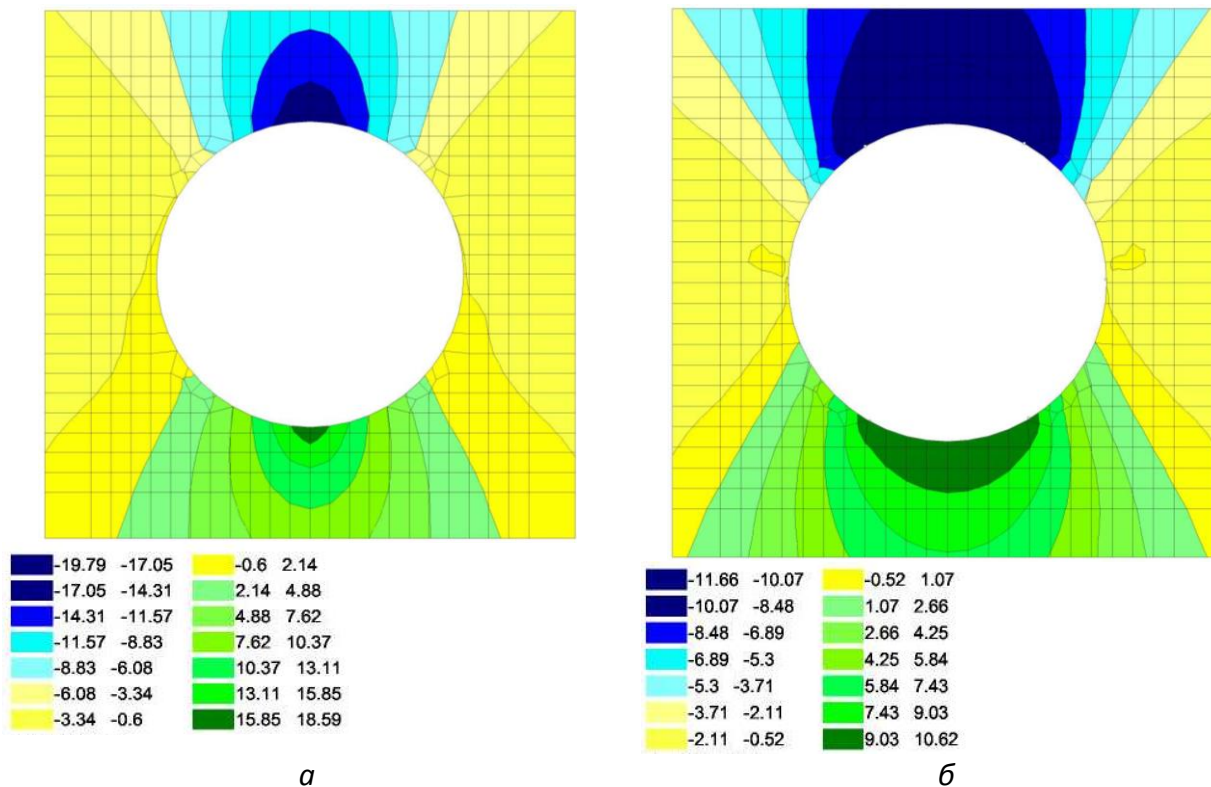


Рис. 4. Вертикальные перемещения в окрестности крепи, мм:

а – схема 1; б – схема 2

Значения усилий в обделке, полученные при числовом моделировании, выше значений, полученных с использованием теории М.М. Протодяконова [7].

**Выводы.**

1. Рассмотрено применение компенсирующих температурных нагрузок для учета

естественного напряженно-деформированного состояния при моделировании совместной работы конструкций обделки с грунтовым массивом в программных комплексах на базе МКЭ.

2. Рассмотрена применимость различных вариантов восстановления работоспособности коллекторов.

3. Для рассмотренных вариантов восстановления работоспособности коллекторов получены значения предельных усилий, воспринимаемых конструкцией.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Клейн Е.Б. По пути совершенства. Очерк развития Харьковской городской канализации: [текст] / Е.Б. Клейн, Г.М. Выставной. – Харьков, 1994. – 63 с.
2. Коринько И.В. Научное обоснование и разработка организационно-технологических решений, повышающих эксплуатационную долговечность систем водоотведения: дис... докт. техн. наук: 05.23.08 / Коринько Иван Васильевич. – Харьков, 2004. – 302 с.
3. Гончаренко Д.Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения: [монография] / Д.Ф. Гончаренко. – Харьков: Консум, 2008. – 400 с.
4. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений: [текст] / Н.С. Булычев. – М.: Недра, 1989. – 270 с.
5. Александров А.В. Основы теории упругости и пластичности: [текст] / А.В. Александров, В.Д. Потапов. – М.: Высшая школа, 1990. – 400 с.
6. Мостков В.М. Подземные гидротехнические сооружения: [текст] / В.М. Мостков, В.А. Орлов, П.Д. Степанов и др. – М.: Высшая школа, 1986. – 467 с.
7. Протодьяконов М.М. Трещиноватость и прочность горных пород в массиве: [текст] / М.М. Протодьяконов, С.Е. Чирков. – М.: Наука, 1964. – 69 с.

УДК 69(057)

**Савйовський В.В., Каржинерова А.Г.,***Харківський національний університет будівництва і архітектури***Броневицький А.П.,***ТОВ «Інтербуд – АС», м. Київ***ОСОБЛИВОСТІ РЕКОНСТРУКЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ ПІД ЦИВІЛЬНІ ОБ'ЄКТИ**

Обсяги робіт з реконструкції промислових будівель останнім часом набувають поступового збільшення. При цьому, переважна більшість промислових будівель змінює своє їх функціональне призначення під цивільні об'єкти. Це в основному торгівельно-розважальні та мистецькі заклади, ресторани, спортивні об'єкти, тощо. В сучасній, світовій науково-технічній літературі та практиці цей процес прийнято називати – ревіталізацією промислових будівель. **Ревіталізація** (від лат. *re* – відновлення, *vita* – життя) – процес відродження, відбудови та оживлення міського простору [1]. Цей процес передбачає часткове збереження архітектурного обліку будівель з створенням внутрішніх інтер'єрів і інженерно-технологічного обладнання відповідно до сучасних норм та вимог. В випадку реконструкції архітектурних чи історичних пам'яток вони, як правило повністю зберігають

свою автентичність та виразність. Основною задачею ревіталізації є реконструкція промислових будівель та територій навколо них з метою соціалізації простору, вдосконалення елементів інфраструктури, що сприяє розвитку туризму, відпочинку, спорту, покращенню екології.

Економічним наслідком вказаного процесу є можливість залучення інвестицій, створення робочих місць, тощо. При реконструкції промислових будівель під цивільні об'єкти, як правило, виконуються роботи з опорядження та влаштування захисних покриттів. Технічний стан основних вертикальних та горизонтальних несучих будівельних конструкцій забезпечує їх достатню несучу здатність для експлуатації в умовах нового призначення. Це пов'язано з тим що розрахункові навантаження на конструкції промислових будівель в декілька разів більше ніж для циві-