

АНАЛИЗ РАБОТЫ ЛИВНЕВОГО КОЛЛЕКТОРА «ДРАЖНЯ» В МИНСКЕ

Канд. техн. наук, доц. АРЕСТОВИЧ А. И., инж. АРЕСТОВИЧ Д. А.

УП «ЦНТУС»

Ливневый коллектор «Дражня» состоит из железобетонных безнапорных труб, камер и колодцев. Среднее расстояние между камерами – 50 м. Трубы использованы марки РТ-20Н круглого поперечного сечения, безнапорные со ступенчатой формой раструба (рис. 1).

На участке коллектора длиной 25 м были выявлены повреждения трубопровода в виде изменения диаметра. Так, внутренний горизонтальный диаметр $D_{гор}$ = 227 см, а вертикальный $D_{верт}$ = 160 см. На горизонтальной и вертикальной осях сечения образовались четыре пластических шарнира (рис. 2). Обрывов арматуры не наблюдалось.

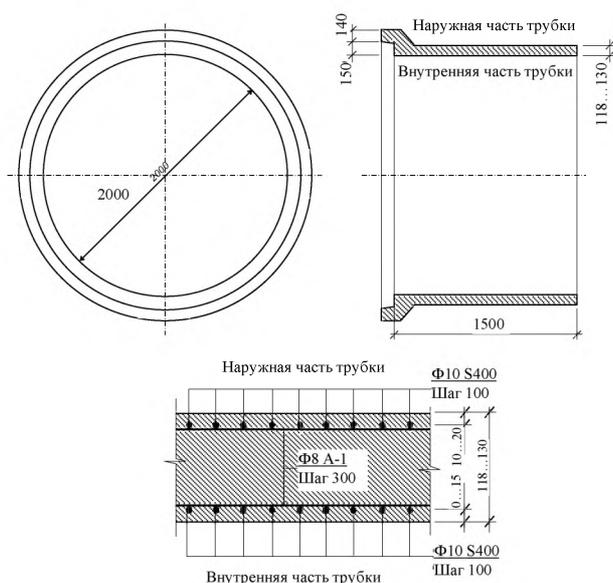


Рис. 1. Труба канализационная марки РТ-20Н

С целью определения причин, приведших трубопровод в предельную стадию работы, было выполнено численное исследование напряженно-деформированного состояния участка трубопровода длиной 25 м на четыре загрузки.

Загрузка 1. Нагрузка от веса грунта и трубы. Трубопровод на спрофилированном ложе материкового грунта, угол обхвата 90° [1, с. 367, табл. 4.90].

Загрузка 2. Нагрузка от веса грунта, трубы и бульдозера. Трубопровод на спрофилированном ложе материкового грунта, угол обхвата 90° (рис. 3а).

Загрузка 3. Нагрузка от веса грунта и трубы. Трубопровод на насыпном и частично на материковом грунте.

Загрузка 4. Нагрузка от веса грунта, трубы и бульдозера. Трубопровод на насыпном и частично на материковом грунте (рис. 3б).

Вес грунта и трубопровода учитывался с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1,35$. Вес бульдозера – 60 т при $\gamma_f = 1,0$ [2, с. 451]. Траншея на участке 15 м (рис. 3б) открыта с «перебором» грунта на 37 см и проектная отметка достигается досыпкой грунта без уплотнения, а на двух участках трубопровода длиной по 5 м трубопровод укладывается на спрофилированное ложе. После монтажа трубопровода траншея засыпается. Засыпка может выполняться бульдозером. Загрузки 3 и 4 предполагают движение бульдозера вдоль траншеи, когда одна из гусениц расположена над продольной осью трубопровода.

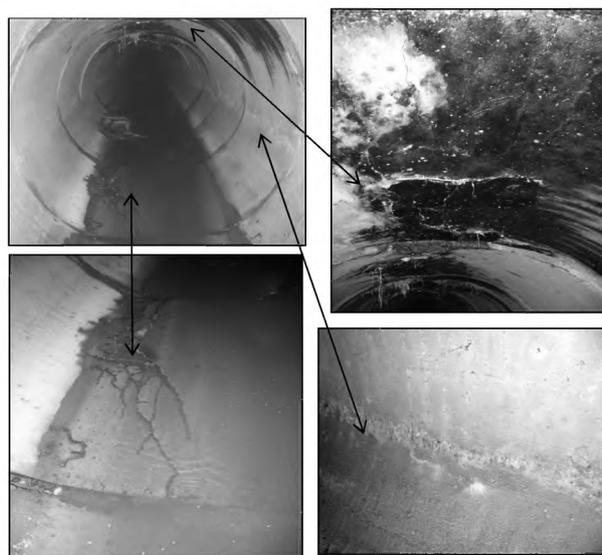


Рис. 2. Сплющивание труб коллектора

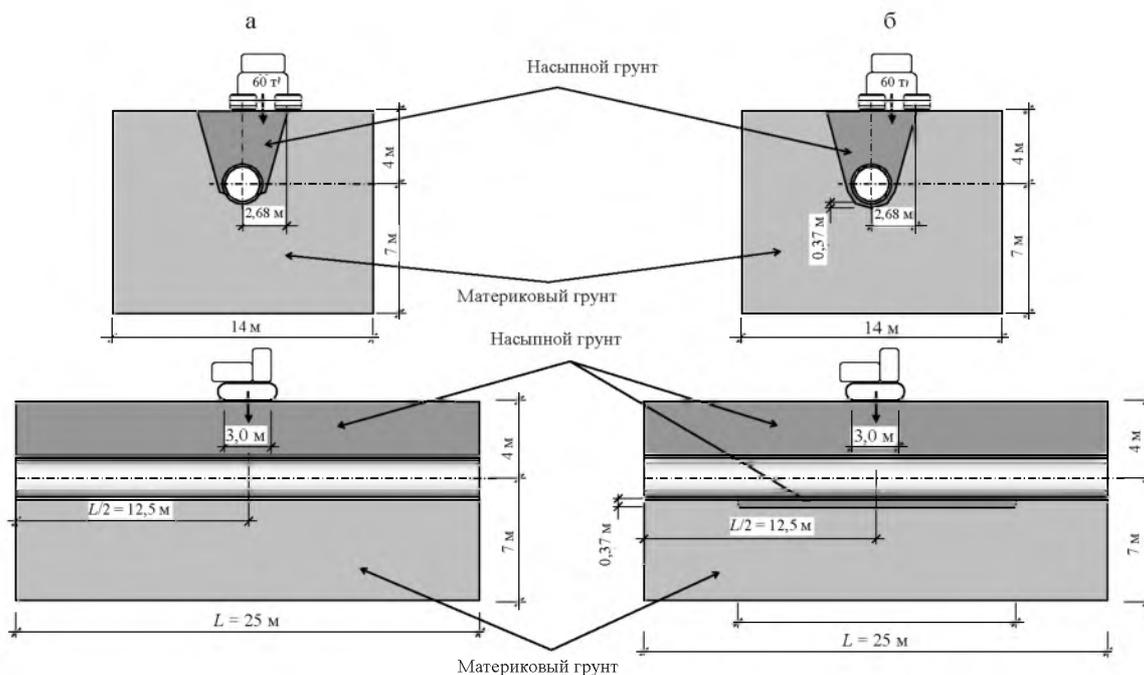


Рис. 3. Трубопровод: а – на материковом грунте (загрузки 1, 2); б – на насыпном и частично на материковом грунте (загрузки 3, 4)

Материковый грунт – это песок средней крупности, гравелистый или крупный. Модуль упругости материкового грунта $E = 39,2 \text{ МПа} = 4000 \text{ т}\cdot\text{с}/\text{м}^2$. Насыпной грунт имеет модуль упругости $E = 0,1 \text{ МПа} = 10 \text{ т}\cdot\text{с}/\text{м}^2$. Коэффициент Пуассона грунтов $\mu = 0,28$ [3, с. 12, табл. 1.4].

Класс бетона по прочности на сжатие труб В24 = $C^{20}/_{24}$. Модуль упругости бетона $E = 29400 \text{ МПа} = 3000000 \text{ т}\cdot\text{с}/\text{м}^2$. Расчетное сопротивление бетона по прочности: на сжатие $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 19,2/1,5 = 12,8 \text{ МПа} = 1305 \text{ т}\cdot\text{с}/\text{м}^2$; на растяжение $f_{ctd} = f_{ctk}/\gamma_c = 1,5/1,5 = 1,0 \text{ МПа} = 102 \text{ т}\cdot\text{с}/\text{м}^2$. Коэффициент Пуассона бетона $\mu = 0,2$.

Армирование трубы выполнено арматурой класса S400 диаметром 10 мм с шагом 100 мм. Расчетное сопротивление $f_{yd} = 365 \text{ МПа} = 37200 \text{ т}\cdot\text{с}/\text{м}^2$.

Расчет произведен по программе «Ли́ра 9.4» [4]. Конечно-элементная модель трубопровода и грунта описана следующими конечными элементами (КЭ):

- бетон – КЭ типа 36, универсальный пространственный восьмиузловой изопараметрический объемный элемент;
- арматура – КЭ типа 10, универсальный пространственный стержень;

- грунт материковый и насыпной – КЭ типов 34 и 36, универсальные пространственные шести- и восьмиузловые изопараметрические объемные элементы.

Сжимаемая толщина грунта принята равной трехкратному диаметру трубы [3, с. 95]. В нижние узлы сжимаемой толщи в конечно-элементную модель устанавливались связи по трем направлениям декартовой системы осей координат. Боковое давление грунта считалось равным нулю на удалении также равном трехкратному диаметру трубы. В узлах КЭ, расположенных на контурных вертикалях, устанавливались связи по горизонтальному направлению.

Рис. 4 иллюстрирует объемный суперэлемент поперечника трубопровода и грунта конечно-элементной модели толщиной 0,1 м. Конечно-элементная модель состоит из 21750 КЭ и 37148 узлов. Порядок системы линейных алгебраических уравнений – 216250.

Ниже приведем некоторые результаты расчета поперечника с трубопроводом на подсыпке, соответствующие загрузению 4. Изополя вертикальных перемещений поперечника на $L/2$ приведены на рис. 5.

Изополя вертикальных перемещений трубы показаны на рис. 6.

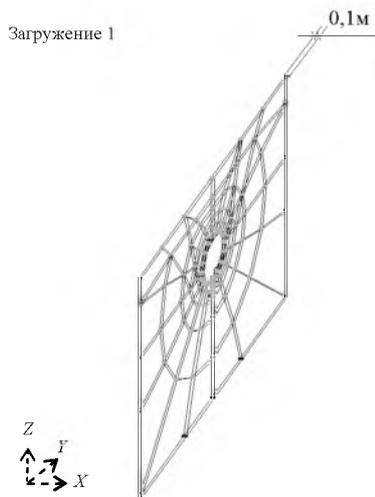


Рис. 4. Суперэлемент конечно-элементной модели трубопровода в грунте

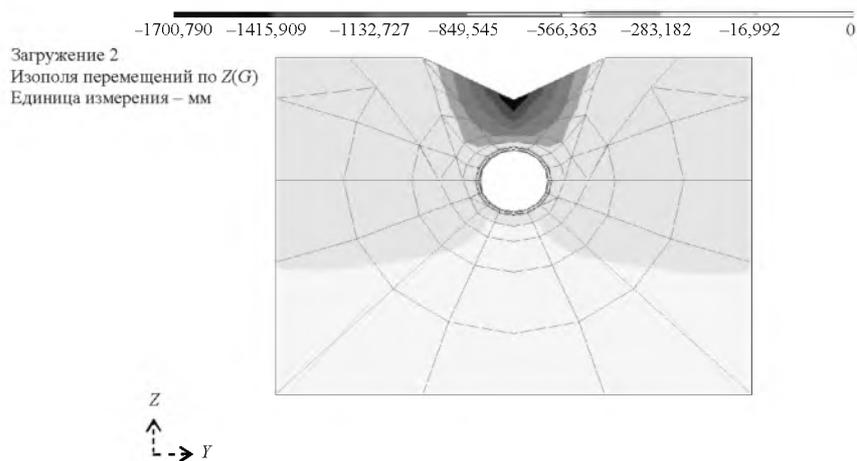


Рис. 5. Изополю вертикальных перемещений поперечника с трубопроводом на подсыпке с нагрузкой от бульдозера при $L/2$

Из рис. 6 следует, что максимальное вертикальное перемещение трубопровода составляет 46,655 мм.

Изополю главных напряжений N_1 и N_3 в трубе показаны на рис. 7 и 8 соответственно.

Эпюра продольных усилий в арматуре представлена на рис. 9.

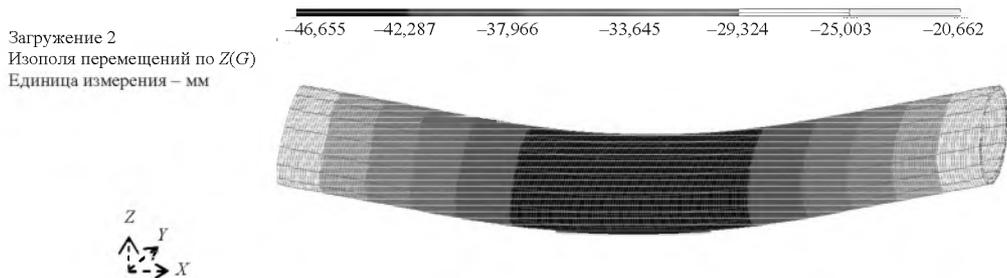


Рис. 6. Изополю вертикальных перемещений трубопровода на насыпном грунте с нагрузкой от бульдозера

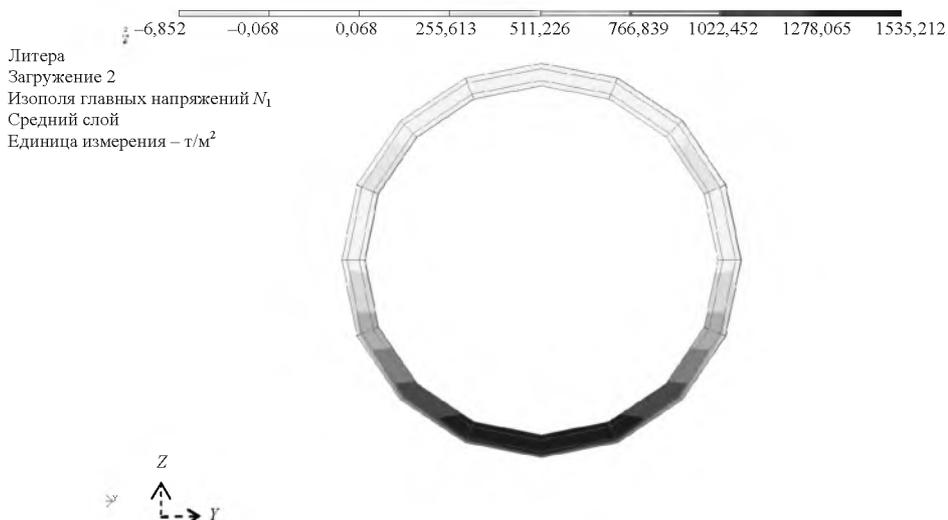


Рис. 7. Изополю главных напряжений N_1 трубы на насыпном грунте с нагрузкой от бульдозера на $L/2$

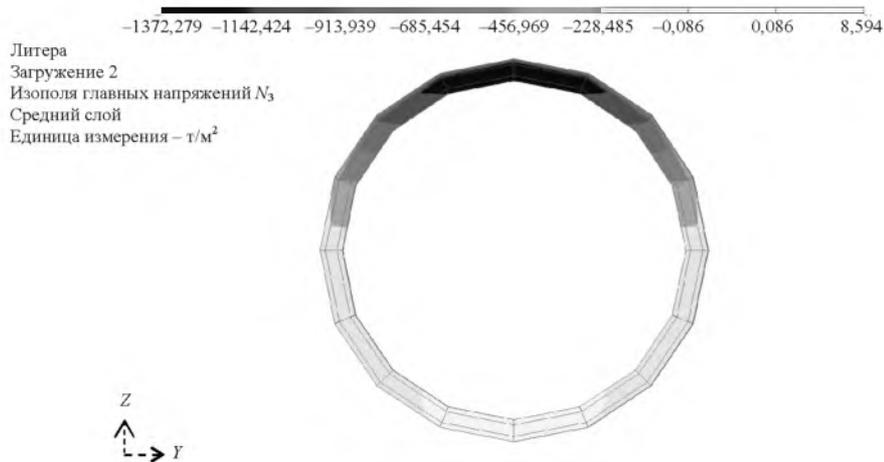


Рис. 8. Изополю главных напряжений N_3 трубы на насыпном грунте с нагрузкой от бульдозера на $L/2$

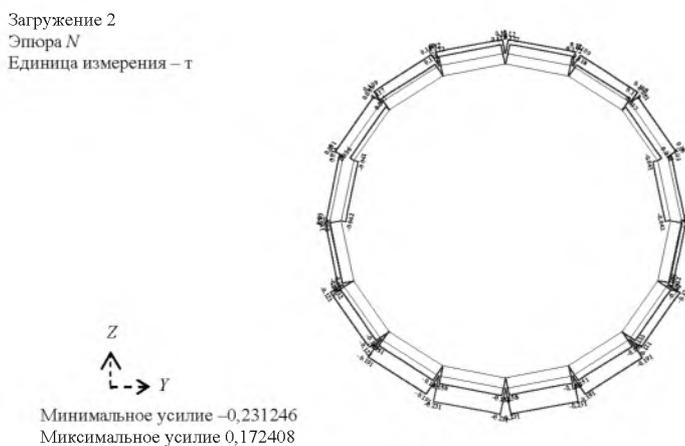


Рис. 9. Эшора продольных усилий в арматуре на насыпном грунте с нагрузкой от бульдозера на $L/2$

Анализ рис. 7, 8 свидетельствует о том, что максимальное значение $N_1 = 1535,212 \text{ т}\cdot\text{с}/\text{м}^2 > > f_{ctd} = 102 \text{ т}\cdot\text{с}/\text{м}^2$. На вертикальной оси сечения (внизу) образуется зона разрушения бетона, которая распространяется на нижнюю половину трубы (рис. 7). Зона разрушения бетона появляется в верхней части трубы, так как $|N_3| = 1372,279 \text{ т}\cdot\text{с}/\text{м}^2 > f_{ctd} = 1305 \text{ т}\cdot\text{с}/\text{м}^2$.

Напряжения в арматуре:

- сжатой $\bar{\sigma} = 0,231/0,000157 = 1471 \text{ т}\cdot\text{с}/\text{м}^2 < < f_{yd} = 37200 \text{ т}\cdot\text{с}/\text{м}^2$;

- растянутой $\sigma^+ = 0,172/0,000157 = 1096 \text{ т}\cdot\text{с}/\text{м}^2 < < f_{yd} = 37200 \text{ т}\cdot\text{с}/\text{м}^2$.

Результаты расчетов трубопровода по различным вариантам загрузки (с нагрузкой от веса бульдозера и без нее) с разными вариантами укладки трубопровода на грунт (на спрофилированное ложе материкового грунта с углом обхвата $\sim 90^\circ$ и на подсыпку толщиной 37 см) представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета трубопровода

| Нагрузка | | | Трубопровод | | | Арматура | | | | |
|----------|----------|--------------------|------------------------------|---|-------|----------|-------------|------------|--------------------------------|-----------------|
| | | | Вертикальное перемещение, мм | Главные напряжения, т·с/м ² | | | Усилия, т·с | | Напряжения, т·с/м ² | |
| | | | | N_1 | N_2 | N_3 | N_{\min} | N_{\max} | σ_{\min} | σ_{\max} |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | |
| Грунт | Материал | Вес грунта и трубы | -22,228 | 184,744 трещины на вертикальной оси на неполную толщину стенки | 89,00 | -145,419 | -0,148 | 0,030 | 942,7 | 191,1 |

| 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
|-------|----------|--------------------------------|---------|--|--------|-----------|--------|-------|--------|--------|
| Грунт | Материк | Вес грунта, трубы и бульдозера | -22,83 | 221,197 трещина на вертикальной оси (внизу) на неполную толщину стенки | 96,186 | -165,748 | -0,164 | 0,038 | 1044,5 | 242,0 |
| | Подсыпка | Вес грунта и трубы | -44,998 | 1425,068 разрушение бетона нижней части трубы | 72,792 | -1258,891 | -0,212 | 0,158 | 1350,3 | 1006,4 |
| | | Вес грунта, трубы и бульдозера | -46,655 | 1535,212 образование зон разрушения бетона в нижней и верхней части трубы | 86,061 | -1372,279 | -0,231 | 0,172 | 1471,3 | 1095,5 |

ВЫВОДЫ

1. Разрушение бетона подземного трубопровода имеет место, когда траншея отрывается с «перебором» материкового грунта и проектная отметка достигается досыпкой нового грунта без уплотнения.

2. Обратная засыпка траншей бульдозером может привести к переходу трубопровода в предельное состояние (на горизонтальной и вертикальной осях сечения трубы образуются четыре пластических шарнира).

3. При устройстве траншей под трубопроводы «перебор» материкового грунта и досыпка нового грунта без его уплотнения до состояния материкового грунта недопустимы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Справочник** проектировщика. Сборные железобетонные конструкции. – М.: Гос. изд-во лит-ры по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1959. – 604 с.
2. **Справочник** проектировщика. Типовые железобетонные конструкции зданий и сооружений для промышленного строительства. – М.: Стройиздат, 1974. – 398 с.
3. **Справочник** проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Основание и фундаменты / НИИ оснований и подземных сооружений Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1964. – 268 с.
4. **Программный** комплекс «ЛИРА-Windows». – Киев: Факт, 1997. – 137 с.

Поступила 08.12.2010