



21. Priti Patel. An experimental study for effectiveness of steel fibre reinforced exterior beam-column joints under cyclic resistance / Priti Patel, Atul Desai, Soumita Bid, Pranav Desai // Construction and Building Materials. – 2024. – 411 p.

22. Noyan M. Experimental Study on the Behavior of RC Beam-Column Joint Retrofitted with Ferrocement Jacket Under Cyclic Loading. Thesis Submitted to Bangladesh University of Engineering and Technology / M. Noyan. – 2014. – 79 p.

23. Karayannis C. G. Effectiveness of RC beam-column connection repair using epoxy resin injections / C. G. Karayannis, C. E. Chalioris, K. K. Sideris // J. Earthq Eng. – 1998. – № 2 (2). – 217 p.

© С. Р. Меликестян, П. А. Кайдас, О. О. Коренькова

Ссылка для цитирования:

Меликестян С. Р., Кайдас П. А., Коренькова О. О. Прочность и деформативность изгибаемых монолитных железобетонных элементов при динамических аварийных воздействиях // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 2 (52). С. 11–16.

УДК 628.004.67: 621.397

DOI 10.52684/2312-3702-2025-52-2-16-20

**ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОГО СПОСОБА
БЕСТРАНШЕЙНОГО РЕМОНТА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ
ДЛЯ УСЛОВИЙ КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

О. А. Продоус, Дунлян Ван

Продоус Олег Александрович, доктор технических наук, профессор, независимый эксперт по водоснабжению и канализации, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, тел.: + 7 (921)967-27-25; e-mail: pro@enco.su;

Ван Дунлян, аспирант, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, тел.: + 7 (906)-240-61-28; e-mail: wangdongliang@yandex.ru

Цель работы – обосновать гидравлический выбор предпочтительного способа бестраншейного ремонта канализационных сетей для условий Китайской Народной Республики на основе анализа значений изменяющихся характеристик гидравлического потенциала используемых полимерных материалов. Методы исследований использованы в зависимости от гидравлического расчета, учитывают значения высотного и шагового параметров шероховатости рабочей поверхности полимерных материалов. Предложено при выборе способа бестраншейного ремонта трубопроводов инженерных сетей учитывать характеристики шероховатости труб из полимерных материалов, влияющие на потери напора в трубах, обеспечивающие повышение их наружной способности. Результаты обсуждения – доказано на конкретном примере, что шероховатость внутренних стенок труб из полимерных материалов влияет на их пропускную способность и, как следствие, на выбор способа бестраншейного ремонта канализационной сети, обеспечивающей транспортирование возрастающего объема сточных вод. Разработаны и обоснованы гидравлические критерии оценки выбранного способа бестраншейного ремонта канализационных сетей для условий Китайской Народной Республики.

Ключевые слова: канализационные сети, бестраншейный ремонт, шероховатость труб, критерии оценки способа ремонта.

**HYDRAULIC JUSTIFICATION FOR CHOOSING THE PREFERRED METHOD OF TRENCHLESS REPAIR
OF SEWAGE NETWORKS FOR THE CONDITIONS OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA**

O. A. Prodous, Dongliang Wang

Prodous Oleg Aleksandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Independent Expert on Water Supply and Sewerage, Saint Petersburg, Russian Federation, phone: + 7 (921) 967-27-25; e-mail: pro@enco.su;

Wang Dongliang, postgraduate student, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russian Federation, phone: + 7 (906) 240-61-28; e-mail: wangdongliang@yandex.ru

The purpose of the work is to substantiate the hydraulic selection of the preferred method of trenchless repair of sewer networks for the conditions of the People's Republic of China based on the analysis of the values of changing characteristics of the hydraulic potential of the polymeric materials used. Research methods – dependencies for hydraulic calculation are used, taking into account the values of the height and step parameters of the roughness of the working surface of polymeric materials. It is proposed to take into account the roughness characteristics of polymer pipes affecting pressure losses in pipes, ensuring an increase in their external capacity, when choosing a method

for trenchless repair of utility pipelines. Discussion results – it has been proven using a specific example that the roughness of the inner walls of polymer pipes affects their throughput and, as a consequence, the choice of a method for trenchless repair of a sewer network that ensures the transportation of an increasing volume of wastewater. Hydraulic criteria for assessing the selected method of trenchless repair of sewer networks for the conditions of the People's Republic of China have been developed and substantiated.

Keywords: sewer networks, trenchless repair, pipe roughness, criteria for assessing a repair method.

Введение

По данным официальных источников, в Китае на 2020 год эксплуатируется более 4,5 млн км подземных коммунальных сетей, из которых 350 тыс. км выработали свой ресурс. Это подтверждается частыми переполнениями канализационных сетей, образованием дефектов труб в виде трещин, смещений и прорастания корней деревьев. Это требует сложных ремонтных ра-

бот. При этом интенсивный рост населения и городской инфраструктуры в городах Китая характеризуется его высокой плотностью населения, высокой степенью автомобилизации, интенсивным транспортным движением и невозможностью проведения традиционных раскопных работ по перекладке коммунальных сетей. Поэтому в этих условиях оправданным подходом является использование бестраншейных способов ремонта канализационных сетей (табл. 1) [1].

Таблица 1

Способы бестраншейного ремонта инженерных сетей и области их применения

Способы (технологии)	«Труба в трубе»	Принудительная протяжка полиэтиленовой плети с помощью механизмов	«Чуллок»	Цементно-песчаная облицовка	Лайнеры	Локальный ремонт
Область применения						
Водоснабжение	Длинные плети лайнеры	С взламыванием старой трубы Без разрушения (трубы меньшего диаметра)	да	да	да	В теле трубы в стыковых соединениях
Канализация	Длинные плети короткие вставки Флексорен лайнеры	С взламыванием старой трубы Без разрушения (трубы меньшего диаметра)	да	нет	да	В теле трубы в стыковых соединениях в местах присоединения отводов
Технологические трубопроводы	Длинные плети короткие вставки лайнеры	С взламыванием старой трубы Без разрушения (трубы меньшего диаметра)	да	нет	нет	В теле трубы в стыковых соединениях

Критериев обоснования выбора способа бестраншейного ремонта канализационных сетей – три [2]:

- технологический по способу и требующемуся оборудованию для реализации ремонта;
- по значениям характеристик гидравлического потенциала восстановленных труб;
- стоимостной.

Из анализа данных таблицы 1 по существующим способам бестраншейного ремонта канализационных сетей следует, что предпочтение следует отдавать первым трем, как наиболее доступным по технологическим стоимостным и гидравлическим характеристикам [1, 2].

Покажем это на конкретном примере.

Условия задачи

Обосновать гидравлически выбор способа бестраншейного ремонта напорной канализационной сети из серого чугуна диаметром $d_{\text{вн}} = 203,6$ мм, пропускающей с расходом $q = 20,0$ л/с ($0,02$ м³/с) при $P_N = 8,0$ МПа. Требуется увеличить на 30 % объем перекачиваемой потребителям воды для пропуска расхода $q_{\text{трб}} = 28,0$ л/с ($0,028$ м³/с).

Решение

Согласно установленным критериям обоснования выбора способа бестраншейного ремонта напорной канализационной сети и данным таблицы 1 предпочтительным для условий задачи является второй способ ремонта – взламывание старой сети диаметром $d_{\text{вн}} = 203,6$ мм с протяж-

кой новой плети полиэтиленовых труб с большим на один размер диаметром, позволяющим пропустить большой расход $q = 28,0$ л/с:

$$d_{\text{вн}}^{\text{ПЭ}} = d_n - 2e, \text{ мм}, \quad (1)$$

где d_n – наружный диаметр по ГОСТ 18599-2021, мм; $d_n = 0,225$ м; e – толщина стенки трубы по ГОСТ, мм.

$$d_{\text{вн}}^{\text{ПЭ}} = 0,225 \text{ м} - 2 * 0,0134 \text{ м} = 0,225 - 0,0268 = 0,1982 \text{ м}.$$

Это значение внутреннего диаметра плети полиэтиленовых труб, протягиваемой снарядом.

Принцип взламывания труб из серого чугуна показан на рисунке 1.

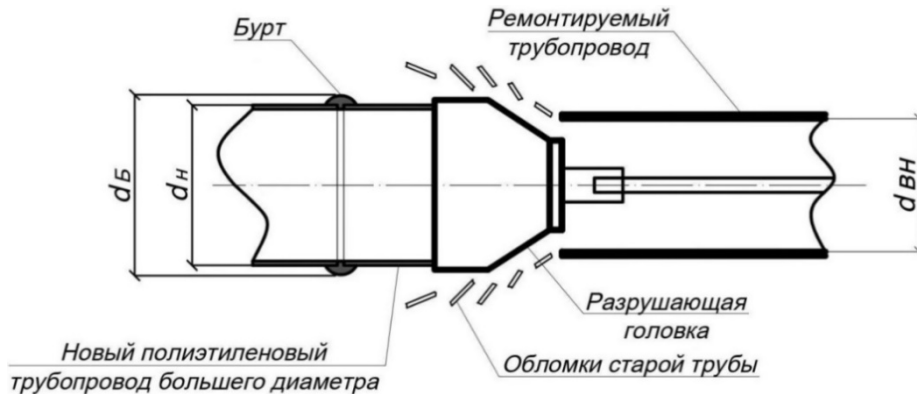


Рис. 1. Принцип взламывания труб из серого чугуна (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Principle of cracking grey cast iron pipes (illustration by the authors)

Далее рассчитываю:

1. По стандартной методике [6], по формуле Продоуса – Якубчика значения характеристик гидравлического потенциала выбранных для ремонта полиэтиленовых труб, имеющих следующие значения высотной Ra и шаговой Sm характеристик шероховатости их внутренней поверхности:

$$Ra^I = 50 \text{ мкм} = 0,00005 \text{ м};$$

$$Sm^I = 7800 \text{ мкм} = 0,0078 \text{ м}$$

2. Значения других характеристик гидравлического потенциала плети полиэтиленовых труб $d_{\text{вн}}^{\text{ПЭ}} = 0,1982$ м определяют по известным формулам [5]:

$$V = \frac{4 * q_{\text{трреб}}}{\pi * (d_{\text{вн}}^{\text{ПЭ}})^2}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2)$$

где V – скорость напорного потока сточных вод, м/с;

$$V = \frac{4 * 0,028}{3,14 * 0,1982} = \frac{0,112}{0,6223} = 0,18, \frac{\text{л}}{\text{с}};$$

q – заданный в условиях задачи расход воды в м³/с;

$$q_n = 0,02 \text{ м}^3/\text{с}, q_{\text{трреб}} = 0,028 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

3. Значение гидравлического уклона труб i определяют по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$i = \lambda^I \frac{V^2}{2g * d_{\text{вн}}^{\text{ПЭ}}}, \frac{\text{мм}}{\text{м}} \quad (3)$$

где λ^I – безразмерный коэффициент гидравлического сопротивления, определяемый для труб из полимерных материалов по формуле Продоуса – Якубчика, имеющей вид [6]:

$$\lambda^I = \frac{0,3162}{Re_{\phi}^{0,25}} \left(\frac{10 * Ra_{\phi} * 10^2}{Sm_{\phi}} + 1 \right)^{0,172} * \left(\frac{2 * Ra_{\phi} * 10^3}{d_{\text{вн}}^{\text{ПЭ}}} + 1 \right)^{0,475}, \quad (4)$$

где Re_{ϕ} – фактическое число Рейнольдса, вычисляемое по формуле (5) [5]:

$$Re_{\phi} = \frac{V * d_{\text{вн}}^{\text{ПЭ}}}{\nu}, \quad (5)$$

где ν – коэффициент кинематической вязкости воды, зависящий от ее температуры м²/с. Для условий задачи при $t = 14$ °С, $\nu = 1,17 * 10^{-6}$ м²/с.

$$Re_{\phi}^I = \frac{0,18 * 0,1982}{1,17 * 10^{-6}} = \frac{0,03568}{0,00000117} = 30496$$

$$(Re_{\phi}^I)^{0,25} = 13,215$$

$$\lambda^I = \frac{0,3162}{13,215} * \left(\frac{10 * 0,00005 * 10^2}{0,0078} + 1 \right)^{0,172} * \left(\frac{2 * 0,00005 * 10^3}{0,1982} + 1 \right)^{0,475} =$$

$$= 0,02393 * 1,000252^{0,172} * 1,000505^{0,475} =$$

$$= 0,02393 * 0,2405 * 1,0002398 = 0,05757$$

Тогда i^I по формуле (3) составит:

$$i^I = 0,05757 * \frac{0,18^2}{2 * 9,81 * 0,1982} = \frac{0,001865}{3,889} =$$

$$= 0,00048 \frac{\text{мм}}{\text{м}}.$$

То есть $1000 i^I = 0,480$ мм/м.

Следовательно, при пропуске расхода $q_{\text{трреб}} = 0,028$ м³/с, удельный гидравлический уклон i , составляет 0,480 мм/м. Что свидетельствует об увеличении скорости движения сточной жидкости V .

Поэтому при бестраншейном ремонте данной канализационной сети требуется использовать полиэтиленовые трубы (ПЭ) того же диаметра, но с меньшим значением характеристик шероховатости внутренних стенок труб.

Пусть, например, $Ra^{II} = 36 \text{ мкм} = 0,000036$ м и $Sm^{II} = 9100 \text{ мкм} = 0,0091$ м.

Тогда по формуле (4) значение λ^{II} составит:

$$\lambda^{II} = \frac{0,3162}{13,215} * \left(\frac{10 * 0,000036 * 10^2}{0,0091} + 1 \right)^{0,172} * \left(\frac{2 * 0,000036 * 10^3}{0,1982} + 1 \right)^{0,475} =$$

$$= 0,02393 * 4,956^{0,172} * 1,363^{0,475} =$$

$$= 0,02393 * 1,3169 * 1,1585 = 0,03651$$

Тогда:

$$i^{II} = 0,03651 * \frac{0,18^2}{2 * 9,81 * 0,1982} = \frac{0,001183}{3,889} = 0,000304 \frac{\text{мм}}{\text{м}}$$

$$1000i^{II} = 0,304 \frac{\text{мм}}{\text{м}}$$

В таблице 2 для анализа приведены расчетные характеристики гидравлического потенциала сравниваемых ПЭ труб, используемых для второго способа бестраншейного ремонта – взламывание.

Таблица 2

Характеристики сравниваемых полиэтиленовых труб с разной шероховатостью их внутренней поверхности

Параметры шероховатости труб		Высотная характеристика шероховатости внутренней поверхности Ra, мкм			Шаговая характеристика шероховатости труб, Sm, мкм	
I		50,0			7 800	
II		36,0			9 100	
Характеристики гидравлического потенциала сравниваемых труб						
q^{II} , м ³ /с	$d_{вн}^I$, м	V_I , м/с	$1000 i^I$, мм/м	$d_{вн}^{II}$, м	V_{II} , м/с	$1000 i^{II}$, мм/м
0.028	0.1982	0.18	0.480	0.1982	0.18	0.2970

Из таблицы 2 следует, что потери напора H в трубах для случая II на 38,1 % меньше, чем для случая I.

Следовательно:

1. При использовании труб из напорного полиэтилена (ПЭ 100) для проведения бестраншейного ремонта канализационных сетей требуется обязательно учитывать значения характеристик шероховатости внутренней поверхности используемых полиэтиленовых труб, влия-

ющей на величину потерь напора H на сопротивление по длине участка, подвергаемого бестраншейному ремонту:

$$H = i^{I-II} * l, \text{м}, \quad (6)$$

где H – потери напора по длине труб l , м.

2. Требуется давать стоимостную оценку выбранного способа бестраншейного ремонта сети.

В таблице 3 для конкретного примера приведены стоимостные характеристики трех применяемых в Китайской Народной Республики способов бестраншейного ремонта канализационных сетей [14].

Таблица 3

Сравнение стоимости затрат в юанях (рублях) по разным технологиям бестраншейного ремонта 1 п. м бетонных труб диаметром 300 мм

Характеристики бетонных труб диаметром 300 мм, подвергаемых бестраншейному ремонту по разным технологиям		
труба в трубу	взламывание	чулок
Стоимость затрат на 1 п. м*		
171,1 юань/м (2053,2 руб./м)	2000 юань/м (24 000 руб./м)	2085 юань/м (25 020 руб./м)

Примечание: * стоимость фактических затрат без стоимости труб из ПЭ 100 и чугуна переведена из юаней в рубли по курсу Центрального банка Китая – 1 юань=12 руб. на 02.03.2025 г.

Заключение

Таким образом, гидравлическое обоснование для рассмотренного примера второго способа «взламывание» подтверждает, что при учете величины значений характеристик шероховатости полиэтиленовых труб обосновывает возможность повышения их пропускной способности

для условий задачи на 30 %. То есть подтверждается гидравлически правильность выбора второго способа «взламывание» старой трубы с протяжкой плети новых полиэтиленовых труб, имеющих наименьшую шероховатость (Ra и Sm).

Список литературы

1. Продоус О. А. Рекомендации по выбору способа и подбору технологического оборудования для бестраншейного ремонта инженерных сетей / О. А. Продоус. – Санкт-Петербург : НИИ Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова, 2004. – 51 с.
2. Храменков С. В. Бестраншейные методы восстановления водопроводных и водоотводящих сетей / С. В. Храменков, О. Г. Примин, В. А. Орлов. – Москва : ТИМР, 2000. – 178 с.
3. Добросельский П. В. Адаптирующиеся пробойники – новое поколение / П. В. Добросельский, А. А. Осипов // РОБТ. – 1997. – № 3. – С. 17.
4. Орлов В. А. Стратегия и методы восстановления подземных трубопроводов / В. А. Орлов, В. А. Харькин. – Москва : Стройиздат, 2001. – 95 с.
5. Продоус О. А. Таблицы для гидравлического расчета труб напорных из полиэтилена. 3-е изд., доп. / О. А. Продоус. – Санкт-Петербург : Свое издательство, 2017. – 240 с.



6. Продоус О. А. Гидравлический расчет трубопроводов из полимерных материалов с учетом параметров шероховатости внутренней поверхности труб / О. А. Продоус, П. П. Якубчик // Водоснабжение и санитарная техника. – 2020. – № 11. – С. 55–60.
7. Добромислов А. Я. Об учете шероховатости пластмассовых труб / А. Я. Добромислов, О. А. Продоус // Энергетическое строительство. – 1985. – № 6. – С. 72–74.
8. Продоус О. А. О качестве внутренней поверхности пластмассовых труб / О. А. Продоус, А. Я. Добромислов, И. Л. Шашкова // Водоснабжение и санитарная техника. – 1987. – № 5. – С. 6–8.
9. Продоус О. А. От субъективного к объективному в оценке технического состояния городских канализационных сетей / О. А. Продоус // Известия Академии жилищно-коммунального хозяйства. Городское хозяйство и экология. – 2000. – № 1. – С. 30–41.
10. Продоус О. А. Критерии выбора способов бестраншейного ремонта канализационных сетей / О. А. Продоус // Известия Академии жилищно-коммунального хозяйства. Городское хозяйство и экология. – 2001. – № 4. – С. 52–60.
11. Продоус О. А. Технологическое оборудование и материалы для бестраншейного ремонта инженерных сетей. Выбор приоритетов / О. А. Продоус // Оборудование. Разработки. Технологии. – 2007. – № 3 (03).
12. Продоус О. А. Приоритеты при выборе технологического оборудования и материалов для бестраншейного ремонта инженерных сетей в регионах Российской Федерации / О. А. Продоус // РОБТ. – 2008. – С. 30–31.
13. Продоус О. А. Применение полиэтиленовых труб ПЭ 100 для бестраншейного ремонта напорных трубопроводов / О. А. Продоус, Л. Д. Терехов, А. В. Федорчук // Вестник ИргТУ. – 2014. – № 2. – С. 144–147.
14. Чжунчжу В., Тянь Л. Комплексный анализ затрат на раскопку и бестраншейный ремонт городских канализационных трубопроводов / В. Чжунчжу, Л. Тянь // Водоснабжение и канализация. – 2008, – № 34 (6). – С. 95–99.
15. Zhongzhu W., Tian L. Comprehensive cost analysis of excavation and trenchless rehabilitation for urban drainage pipelines / W. Zhongzhu, L. Tian // Water Supply and Drainage, – 2008, – № 34 (6), – С. 95–99. (in Chinese).
16. Продоус О. А. Обоснованный выбор технологии бестраншейного ремонта канализационных сетей для условий Китайской Народной Республики / О. А. Продоус, Ван Дунлян // Инженерные системы. – 2025. – № 3. – С. 5–7.

© О. А. Продоус, Дунлян Ван

Ссылка для цитирования:

Продоус О. А., Ван Дунлян. Гидравлическое обоснование выбора предпочтительного способа бестраншейного ремонта канализационных сетей для условий Китайской Народной Республики // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 2 (52). С. 16–20.

УДК 624.04

DOI 10.52684/2312-3702-2025-52-2-20-28

ЭВОЛЮЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОПОЛОГИИ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

В. А. Зинькова, Н. А. Смоляго

Зинькова Виктория Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая механика и сопротивление материалов», Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация, тел.: + 7 (920) 205-63-99; e-mail: vikzinkova@mail.ru;

Смоляго Нина Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая механика и сопротивление материалов», Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация, тел.: + 7 (910) 224-90-59; e-mail: smoliago@mail.ru

Несущую способность конструкции определяют ее топология, геометрия и параметры элементов. Выбор топологии сопряжен с такими факторами, как расположение и интенсивность силового поля, устойчивость равновесия сжатых элементов, необходимость «лишних» связей. Проектирование топологии берет начало в интуитивном подходе инженеров, накопивших опыт синтеза конструкций. Появились закономерности и теоремы, касающиеся синтеза топологии. Привлечение к этому процессу вариационного принципа стационарного действия придает фундаментальность изысканий. Он обеспечивает при заданных условиях абсолютный минимум расхода материала. На примере полигональной фермы показана корректировка решетки в отношении наклона раскосов. Дано обобщение теоремы Васютинского о равнонапряженных системах на случай учета проблемы устойчивости стержней.

Ключевые слова: стержневые системы, синтез, топология, конфигурация, вариационный принцип стационарного действия.

DESIGN EVOLUTION OF PIVOTAL SYSTEMS TOPOLOGY

V. A. Zinkova, N. A. Smolyago

Zinkova Victoriya Anatolyevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Theoretical Mechanics and Resistance of Materials Department, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation, phone: + 7 (920) 205-63-99; e-mail: vikzinkova@mail.ru;