

# Эффективность восстановления трубопроводов методом нанесения цементно-песчаного покрытия

**Олег Григорьевич ПРИМИН**, доктор технических наук, профессор, e-mail: tepper2007@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

**Аннотация.** При ремонте и реконструкции городских коммунальных систем водоснабжения и водоотведения в нашей стране все большее распространение получают бестраншейные технологии восстановления работоспособности трубопроводов. Одним из востребованных и экономичных методов является нанесение цементно-песчаного покрытия, обладающего высокими механическими и антикоррозионными свойствами. Приведены результаты натурных гидравлических экспериментов с целью определения эмпирических зависимостей потерь напора для стальной трубы с нанесенным цементно-песчаным покрытием. Эксперименты проводились на опытно-производственном стенде кафедры водоснабжения и водоотведения Московского государственного строительного университета. Полученные результаты позволяют выполнить оценочный гидравлический расчет трубопроводной водопроводной сети при капитальном ремонте. Нанесение защитного цементно-песчаного покрытия при ремонте трубопровода позволяет обеспечить требуемый уровень его надежности и снизить аварийность на водопроводных сетях, улучшить гидравлические характеристики восстановленного трубопровода, а также сохранить качество воды, транспортируемой от станций водоподготовки до потребителей.

**Ключевые слова:** трубопровод, реконструкция, цементно-песчаное покрытие, гидравлика, сопротивление, эффект.

## EFFICIENCY OF PIPE-LINES REHABILITATION BY METHOD OF APPLYING CEMENT-SAND COATING

**Oleg G. PRIMIN**, e-mail: tepper2007@yandex.ru

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

**Abstract.** Trenchless technologies for restoring pipelines operation are becoming more common in our country when repairing and reconstructing municipal water supply and water disposal systems. One of the popular and cost-effective methods is the application of cement-sand coating, which has high mechanical and anti-corrosion properties. The results of full-scale hydraulic experiments in order to determine the empirical dependencies of pressure losses for a steel pipe with an applied cement-sand coating are presented. The experiments were carried out at the experimental production stand of the Department of Water Supply and Water Disposal of the Moscow State University of Civil Engineering. The results obtained make it possible to perform an estimated hydraulic calculation of the pipeline water supply network during major repairs. Applying the protective cement-sand coating during pipeline repair makes it possible to ensure the required level of its reliability and reduce accidents on water supply networks, improve the hydraulic characteristics of the restored pipeline, as well as preserve the quality of water transported from water treatment stations to consumers.

**Key words:** pipeline, reconstruction, cement-sand coating, hydraulics, resistance, effect.

### Введение

В последние годы коммунальные службы крупных городов различных стран все больше используют перспективные бестраншейные технологии при капитальном ремонте и прокладке водопроводных, водоотводящих и других сетей. Это является альтернативой традиционному открытому способу ремонта и строительства трубопроводов траншейным способом. В России

с 2006 г. доля строительства и реконструкции водопроводных и канализационных трубопроводов с применением бестраншейных технологий превысила традиционную прокладку с рытьем траншей.

Безопасность и надежность питьевого водоснабжения — одни из основных требований, предъявляемых к системам водоснабжения, — важнейшая составляющая здоровья населения. Эта

проблема весьма актуальна для трубопроводов водопроводных и водоотводящих сетей большинства городов и поселений России, более трети которых изношены и требуют замены или восстановления. В этой связи выбор оптимального способа ремонта и прокладки инженерных коммуникаций — первостепенная задача при освоении подземного пространства современных мегаполисов, поскольку инженерные

коммуникации служат неотъемлемой частью комфортной среды обитания городского жителя [1, 2].

Развитие строительных методов без выемки грунта в нашей стране и за рубежом оказало существенное влияние на реконструкцию трубопроводных сетей как в плане санации, так и обновления инженерных коммуникаций [3, 4]. Использование бестраншейных технологий позволяет снизить расходы и минимизировать недостатки строительных методов, осуществляемых открытым способом, с точки зрения ущерба для городских зеленых насаждений, соседних трубопроводов, а также неудобства для жителей, негативных последствий для экономики и окружающей среды.

Очевидно, что в настоящее время коммунальные службы не должны многократно перекапывать улицы. Одним из способов бестраншейного восстановления водопроводных трубопроводов является нанесение внутреннего цементно-песчаного покрытия (рис. 1). Этот метод следует рассматривать, прежде всего, как антикоррозионную изоляцию поверхности, контактирующей с жидкостной средой [5]. При невысокой стоимости покрытие обладает хорошими механическими и антикоррозионными свойствами, обеспечивая пассивную и активную защиту труб [6].

В Москве цементно-песчаные покрытия (ЦПП) впервые использовали в 1968 г. при работах по защите участка стального водовода второго подъема внутренним диаметром 1200 мм и длиной 110 м (3-й Краснопресненский водовод) [7].

Комплексные эксперименты по определению качества ЦПП (проводят каждые 10 лет) показали его стабильность, а также подтвердили долговечность материала. Тем не менее такие по-



Рис. 1. Нанесение цементно-песчаного покрытия

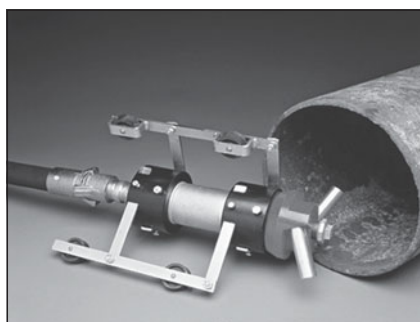


Рис. 2. Метательная головка

крытия постепенно уступают место полимерным материалам, выполняемым в виде тонких оболочек, рулонных навивок и других типов облицовок [6].

Внутренние ЦПП широко применяют для стальных (реже чугунных) трубопроводов систем водоснабжения наружным диаметром 76–2020 мм, а также в системах водоотведения (в напорных трубопроводах). Нанесение покрытия может выполняться методом центрифугирования или центробежного набрызга с использованием разглаживающих устройств, а также поршневым методом для труб диаметром до 250 мм.

В качестве исходных материалов при проведении ремонтно-восстановительных работ служат портландцемент марки М500 ГОСТ 10178, мелкозернистый кварцевый песок, фракционированный по ТУ 39-1554-91.

Минимальную толщину защитного слоя ЦПП определяют в зависимости от диаметра и матери-

ала труб, а требуемую — от возраста труб, толщины их стенок и физического состояния (износа). Толщина защитного слоя достигается скоростью передвижения метательной головки в трубе при постоянных значениях производительности насоса, подающего цементный раствор, и скорости вращения метательной головки (рис. 2).

Кроме того, толщина слоя ЦПП для стальных труб должна соответствовать техническим условиям, согласованным с эксплуатирующей сети организацией. Например, на объектах в Москве — с АО «Мосводоканал» по ТУ 5745-001-16341648-99 «Внутренняя цементно-песчаная антикоррозионная изоляция стальных трубопроводов водоснабжения и канализации с наружным диаметром 76–2020 мм».

Цементно-песчаные покрытия используют при любой глубине залегания труб (в грунте или непроходных каналах) и независимо от типа грунтов, окружающих трубопровод. Применение этого метода целесообразно при коррозионных обрастаниях и абразивном износе. При этом внутренняя поверхность трубопровода перед нанесением ЦПП должна быть очищена. В случае раскрытых стыков труб, их смещении в стыках и деформациях секций данный метод не обеспечивает повышения несущей способности трубы.

#### Материалы и методы исследований

Для проведения натурных гидравлических экспериментов использовали опытно-производственный стенд кафедры водоснабжения и водоотведения НИУ МГСУ (рис. 3). Цель исследования — определение коэффициента гидравлического сопротивления трения  $\lambda$  для оценки пропускной способности трубопроводов [8, 9].



Рис. 3. Общий вид гидравлического стенда с обеих сторон

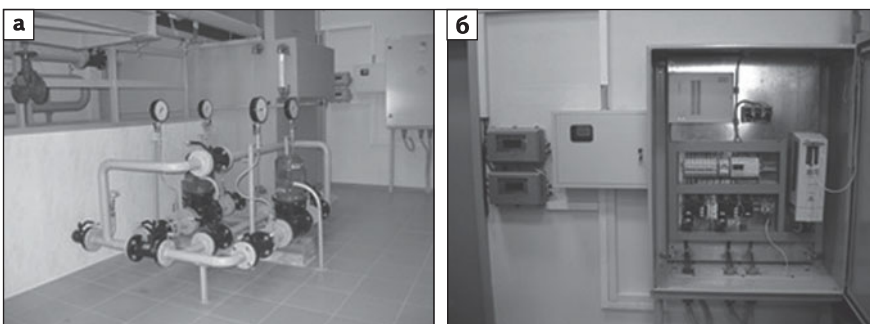


Рис. 4. Насосная установка (а) и шкаф управления с компьютером (б)

Гидравлический стенд (рис. 4) включает в себя:

- накопительную емкость размером 2×2×1 м, эстакаду с жестко закрепленными над ней тремя параллельными трубопроводами длиной 18 м (стальным с полимерным покрытием, полиэтиленовым и стальным с цементно-песчаным покрытием), оборудованными пьезометрами;
- насосную установку (рис. 4а), состоящую из двух центробежных насосов марки АЦМП-80А/130-3,0/2 с регулируемым компьютером приводом (рис. 4б), что позволяет автоматически регулировать расход, изменяя частоту вращения рабочего колеса от 0 до 2900 мин<sup>-1</sup>.

Объект гидравлических испытаний — стальная труба диаметром 100 мм по ГОСТ 54159 с нанесенным ЦПП; реальный условный диаметр 92 мм.

Для выявления значений коэффициента  $\lambda$  необходимо выполнить натурные эксперименты по определению зависимости по-

терь напора  $i$  от расхода протекаемой жидкости  $Q$ .

### Результаты

Результаты натурных экспериментов по определению эмпирических зависимостей потерь напора  $i = f(Q)$  для стальной трубы диаметром 100 мм с нанесенным ЦПП представлены на рис. 5. Как видно из графика, прослеживается универсальный характер изменения потерь напора от расхода — степенная математическая зависимость  $i = 185,82Q^{1,9395}$ .

Практическое использование результатов экспериментов заключается в том, чтобы, определив зависимости потерь напора от расхода и выявив значения  $\lambda$  для одного диаметра, установить возможность пересчета и получения полуэмпирических зависимостей для других диаметров в унифицированной форме с целью моделирования сетей при переходе от одного диаметра к другому. Для унификации формы полученных в результате экс-

периментов данных разработана специальная методика определения удельного сопротивления  $A$  для труб из различных материалов (покрытий) в виде следующей математической модели.

Удельное сопротивление трубопровода рассчитывали по формуле

$$A = i/q^2, \quad (1)$$

где  $i$  — потери напора на 1 м длины трубопровода, м;  $q$  — расход воды в трубопроводе, м<sup>3</sup>/с.

Для инженерных расчетов напорных водопроводных сетей удельное сопротивление  $A$  выразили как функцию диаметра, используя формулу Дарси для определения единичных потерь напора  $i$ :

$$i = \frac{\lambda}{4R} \frac{v^2}{2g}, \quad (2)$$

где  $\lambda$  — коэффициент гидравлического трения;  $R$  — гидравлический радиус, м;  $V$  — скорость движения жидкости, м/с;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Если скорости представить как  $V = q/\lambda = 4q/\omega d^2 = 1,2738q/d^2$ ,  $4R = d$  при напорном движении, то формулу (2) можно привести к виду:

$$i = 0,0827 \frac{\lambda}{d^5} q^2. \quad (3)$$

Тогда квадрат расхода может быть представлен как

$$q^2 = \frac{id^5}{0,0827\lambda}. \quad (4)$$

Подставляя в формулу (1) значения  $q^2$ , получим:

$$A = \frac{i}{q^2} = \frac{0,0827\lambda}{d^5}. \quad (5)$$

Формула (5) служит базовой для определения удельного сопротивления  $A$  и должна подлежать корректировке, так как коэффициент гидравлического трения также является функцией числа Рейнольдса  $\lambda = f(\text{Re})$  и диаметра  $\lambda = f(d)$ .

Результаты расчета  $\lambda$  и  $A$  для стальных труб с цементно-песчаным покрытием

Диаметр трубопровода, мм	$\lambda$	$A, \text{с}^2/\text{м}^6$
90	0,017166423	255,506
140	0,015558356	25,129
190	0,01457776	5,075
240	0,01388888	1,495
288	0,013384625	0,567
386	0,01263025	0,125
486	0,012080795	0,0375
586	0,011660485	0,0141
686	0,011323341	0,00622
782	0,011054082	0,00314

Примечание. Расчетные данные получены из следующих зависимостей: для стальной трубы с ЦПП  $i_{\text{ЦПП}} = 185,82q^{1,9395}$ ;  $A_{\text{опыт}} = 255,506$  (при среднем расходе  $0,005175 \text{ м}^3/\text{с}$ );  $k_3 = 0,000051 \text{ м}$ ;  $A = 0,0827\lambda/d^{5,025}$ .

По результатам стендовых испытаний на трубопроводе диаметром 100 мм (стальной с ЦПП) установлена следующая зависимость единичных потерь напора  $i$  от расхода  $q$ :

$$i = 5672,3q^{2,7655}. \quad (6)$$

Тогда опытное значение  $A$  составит:

$$A = \frac{i}{q^2} = \frac{5672,3q^{2,7655}}{q^2} = 5672,3q^{0,7655}. \quad (7)$$

Результаты расчета величин  $\lambda$  и  $A$  для стальных труб различных диаметров с нанесенным на внутреннюю поверхность ЦПП приведены в таблице.

Выраженные через удельное сопротивление  $A$  зависимости для облицовки трубопровода методом ЦПП позволяют выполнить оценочный гидравлический расчет трубопроводной сети при капитальном ремонте. В частности, расчетную зависимость  $A = f(d)$  после нанесения на внутреннюю поверхность стальной трубы ЦПП с любой толщиной стенки можно представить в виде

$$A_{\text{ЦПП}} = 4 \cdot 10^{12} d^{5,2279}. \quad (8)$$

Использование предложенных формул позволит на стадии проектирования капитального ремонта оценить возможный гидравлический дисбаланс при применении труб из различных материалов, которые имеют защитный внутренний цементно-песчаный слой. Для лучшей наглядности и уменьшения диапазона разброса точек экспериментальные зависимости  $A = f(d)$  для новых стальных трубопроводов и для стальных труб после нанесения ЦПП выражены в виде функции  $1/|\ln A| = f(d)$  (рис. 6). Величину  $A$  для новых стальных труб принимали по данным таблицы Ф. А. Шевелева [10].

Как показывает график (см. рис. 6), удельное сопротивление трубы после нанесения ЦПП практически соответствует удельному сопротивлению новой трубы, т. е. гидравлического дисбаланса нет.

Для количественной оценки рассмотрим пример. Капитальный ремонт осуществляется посредством нанесения слоя ЦПП на стальную трубу диаметром

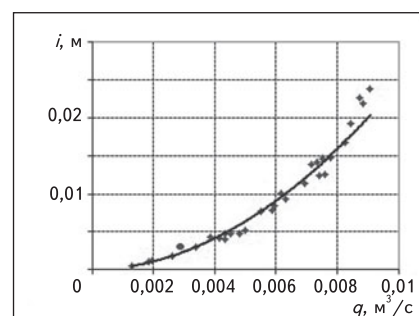


Рис. 5. Зависимость потерь напора от расхода  $i = f(q)$  для стальной трубы диаметром 100 мм с цементно-песчаным покрытием

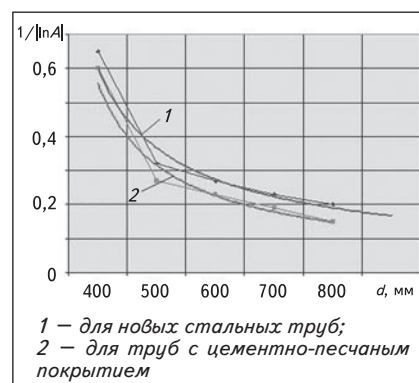


Рис. 6. График зависимостей удельного сопротивления от диаметра  $1/|\ln A| = f(d)$

500 мм, при этом ее диаметр сужается до 486 мм (толщина стенки ЦПП — 7 мм). В результате образуется трубная конструкция «сталь + ЦПП». Потери напора, условно выраженные через  $\Delta A$  (на графике  $\Delta(1/|\ln A|)$ ), для новой трубы и трубы после нанесения ЦПП составят:

$$\Delta A = \frac{100(0,35 - 0,33)}{0,35} = 5,7 \text{ \%}.$$

Это сопоставимо с потерями напора новой стальной трубы того же диаметра и подтверждает отсутствие гидравлического дисбаланса.

### Выводы

1. Капитальный ремонт трубопроводов путем нанесения защитного ЦПП позволяет:

- обеспечить требуемый уровень надежности трубопроводов

и снизить аварийность на водопроводных сетях;

- улучшить гидравлические характеристики восстановленного после капитального ремонта трубопровода до уровня, соответствующего табличным значениям гидравлических сопротивлений новых труб;

- сохранить качество воды, транспортируемой от станций водоподготовки до потребителей, благодаря отсутствию пористых коррозионных отложений, влияющих на увеличение в воде концентрации железа.

2. Проведенные экспериментальные гидравлические исследова-

ния свидетельствуют о высокой эффективности капитального ремонта трубопроводов с использованием ЦПП. Удельное сопротивление трубы после нанесения ЦПП практически соответствует удельному сопротивлению новой трубы, т. е. отсутствует гидравлический дисбаланс.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Храменков С. В., Примин О. Г., Орлов В. А. Реконструкция трубопроводных систем. М. : АСВ, 2008. 125 с.
2. Пупырев Е. И., Примин О. Г. Водная отрасль России: проблемы и решения // Коммунальный комплекс России. 2012. № 5. С. 8–12.
3. Mayr H. et al. Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserrohrnetzen [Решения по восстановлению водопроводных сетей]. Bonn, DVWG Hinweis W 401, 2015. 23 p.
4. Burgard M. Rehabilitation de conduites par gainage interne [Восстановление трубопроводов с помощью внутренней обшивки] // EAU, IND, NUISANCES. 1989. No. 126. Pp. 39–418.
5. Храменков С. В., Примин О. Г. Регламент эксплуатации водопроводной сети. М. : Миклош, 2007. 197 с.
6. Аверкеев И. А. Защитные покрытия как фактор обеспечения гидравлических и прочностных показателей водопроводных и водоотводящих трубопроводов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2013. 190 с.
7. Храменков С. В. Стратегия модернизации водопроводной сети. М. : Стройиздат, 2005. 278 с.
8. Калицун В. И., Дроздов Е. В., Комаров А. С., Чижик К. И. Основы гидравлики и аэродинамики. М. : Стройиздат, 2001. 296 с.
9. Иванов В. И., Сазанов И. И., Схиртладзе А. Г., Трифонова Г. О. Основы механики жидкостей и газов. М. : ИЦ «Академия», 2012. 192 с.
10. Шевелев Ф. А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб. М., 2013. 116 с.

#### REFERENCES

1. Khramenkov S. V., Primin O. G., Orlov V. A. *Rekonstruktsiya truboprovodnykh sistem* [Reconstruction of pipeline systems]. Moscow, ASV Publ., 2008. 125 p. (In Russian).
2. Pupyrev E. I., Primin O. G. Russian water industry: problems and solutions. *Kommunalnyy kompleks Rossii*, 2012, no. 5, pp. 8–12. (In Russian).
3. Mayr H. et al. *Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserrohrnetzen*. Bonn, DVWG Hinweis W 401, 2015. 23 p.
4. Burgard M. Rehabilitation de conduites par gainage interne. *EAU, IND, NUISANCES*, 1989, no. 126, pp. 39–418.
5. Khramenkov S. V., Primin O. G. *Reglament ekspluatatsii vodoprovodnoy seti* [Regulations for the operation of the water supply network]. Moscow, Miklosh Publ., 2007. 197 p. (In Russian).
6. Averkееv I. A. Protective coatings as a factor for ensuring hydraulic and strength characteristics of water supply and drainage pipelines]. Diss. M., 2013. 190 p. (In Russian).
7. Khramenkov S. V. *Strategiya modernizatsii vodoprovodnoy seti* [Water supply network modernization strategy]. Moscow, Sroyizdat Publ., 2005. 278 p. (In Russian).
8. Kalitsun V. I., Drozdov E. V., Komarov A. S., Chizhik K. I. *Osnovy gidravliki i aerodinamiki* [Basics of hydraulics and aerodynamics]. Moscow, Sroyizdat Publ., 2001. 296 p. (In Russian).
9. Ivanov V. I., Sazanov I. I., Skhirtladze A. G., Trifonova G. O. *Osnovy mekhaniki zhidkostey i gazov* [Fundamentals of fluid mechanics]. Moscow, Akademiya Publ., 2012. 192 p. (In Russian).
10. Shevelev F. A. *Tablitsy dlya gidravlicheskogo rascheta stal'nykh, chugunnykh, asbestotsementnykh, plastmassovykh i steklyannykh vodoprovodnykh trub* [Tables for hydraulic calculation of steel, cast iron, asbestos cement, plastic and glass water pipes]. Moscow, 2013. 116 p. (In Russian).

Для цитирования: Примин О. Г. Эффективность восстановления трубопроводов методом нанесения цементно-песчаного покрытия // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 3. С. 58–62. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.03.58-62.

For citation: Primin O. G. Efficiency of Pipe-Lines Rehabilitation by Method of Applying Cement-Sand Coating. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2020, no. 3, pp. 58–62. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2020.03.58-62.