

Исследование текстуры донной части открытых водосточных лотков

Рецензия эксперта на статью получена
20.01.2020 [Expert review on the article
received on January 20, 2020].

Введение

Одним из путей решения задач эффективной эксплуатации действующих трубопроводных систем является своевременное проведение на них ремонтно-восстановительных работ, в том числе с помощью бестраншейных технологий [1, 2]. Ремонт и модернизации трубопроводов должны сопровождаться улучшением гидравлических характеристик внутренних поверхностей безнапорных трубопроводов и открытых лотков, транспортирующих ливневые и сточные воды [3, 4]. Как известно, современный строительный рынок предлагает широкий ассортимент полимерных и композиционных материалов защитных покрытий (облицовок, изоляции и т.д.) с малыми гидравлическими сопротивлениями [5]. Оперативное нанесение на внутреннюю поверхность ветхих трубопроводов подобных покрытий с помощью бестраншейных методов ремонта позволяет содействовать решению задач эффективного транспортирования сточных вод, содержащих инородные включения, без их осаждения в лотковых частях труб [6].

При расчёте лотков на ограниченной площади сбора с водонепроницаемым покрытием следует руководствоваться определением расчётных расходов по методике СП 30.13330.2016 аналогично расчёту для кровли. Выбор материала труб и лотков (бетон, полимербетон, металл, полимер и т.д.) определяется в зависимости от климатической зоны, максимальной динамической и статической нагрузки на них [7, 8].

Актуальность настоящих исследований заключается в том, что по их результатам определяются условия, обеспечивающие

Своевременное проведение на трубопроводных системах ремонтно-восстановительных работ — один из путей решения задач эффективной эксплуатации подобных систем

дополнительное взмучивание (микротурбулентность) потока за счёт геометрической формы и расположения искусственных выступов (препятствий) на внутренней поверхности трубопроводов и лотков.

Усовершенствованная текстура поверхности лотков может способствовать предотвращению осаждения взвешенных частиц на лотках и их эффективному перемещению потоком жидкости при скоростях меньше самоочищающих.

Материалы и методы исследований

Исследование турбулизации однофазных потоков, а также двухфазных (то есть содержащих взвешенные вещества), с оценкой эффективности транспортировки ими твёрдых фракций различного гранулометрического состава, осуществлялось на специальной установке (рис. 1) [9].

Принцип работы устройства: на лоток с определённым рельефом поверхности, при устанавливаемых уклонах, из ёмкости подаётся жидкость, содержащая инородные включения. При движении потока включается источник светового излучения и при различных вариантах уклона лотка и трубного модуля соответствующими фотокамерами фиксируется его фронт (высота слоя, наполнение), характер и геометрические размеры (длина, ширина и площадь зон турбулентности).

УДК 628.462+625.768. Научная специальность: 05.23.04.

Исследование текстуры донной части открытых водосточных лотков

В.А. Орлов, д.т.н., профессор; **И.С. Дежина**, аспирант; **В.А. Нечитаева**, старший преподаватель, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Предметом исследования является донная часть водосточных лотков и самотёчных трубопроводов малого диаметра. Рассмотрена и визуальное оценена работа лотков в случае нанесения на них в период ремонта текстурированных оболочек. Представлена новая конструкция малогабаритного гидравлического стенда, позволяющая с помощью фото- и киноаппаратуры исследовать транспортирующую способность потоков, содержащих твёрдые включения. Методом исследования являются гидравлические испытания, а результатами — поиск оптимальной структуры внутренней поверхности лотков и труб. Представлены результаты поисковых экспериментальных исследований вихреобразования в потоке при использовании светотеневого эффекта в широком диапазоне наполнений, соответствующих реальным условиям эксплуатации лотков и самотёчных трубопроводов. Приведена оценка влияния характера рельефа поверхности трубопроводов на создание зон турбулентности. Выявлены характеристики текстуры шероховатости, обеспечивающие повышение эффекта транспортирующей способности потока жидкости по массе дисперсных включений (песка) различного гранулометрического состава.

Ключевые слова: открытые лотки, самотёчные трубопроводы, текстура поверхности, светотеневой эффект, транспортирующая способность.

UDC 628.462+625.768. The number of scientific specialty: 05.23.04.

Research on the texture of the bottom part of the open gutters

V.A. Orlov, Doctor of Technical Sciences, Professor; **I.S. Dezhina**, postgraduate student; **V.A. Nechitaeva**, senior lecturer, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGUSU)

The subject of the study is the bottom part of drainpipes and gravity pipelines of small diameter. The work of trays in the case of application of textured shells to them during the repair period is considered and visually evaluated. A new design of a small-sized hydraulic stand is presented, which allows using photo and film equipment to study the transporting capacity of flows containing solid inclusions. The research method is hydraulic testing, and the results are the search for the optimal structure of the inner surface of trays and pipes. The results of exploratory experimental studies of vortex formation in the flow using the black-and-white effect in a wide range of fillings corresponding to the actual operating conditions of trays and gravity pipelines are presented. The influence of the pipeline surface topography on the creation of turbulence zones is estimated. The characteristics of the roughness texture that provide an increase in the effect of the transporting capacity of the liquid flow by the mass of dispersed inclusions (sand) of various granulometric composition are revealed.

Key words: open trays, gravity pipes, surface texture, chiaroscuro effect, conveying capacity.

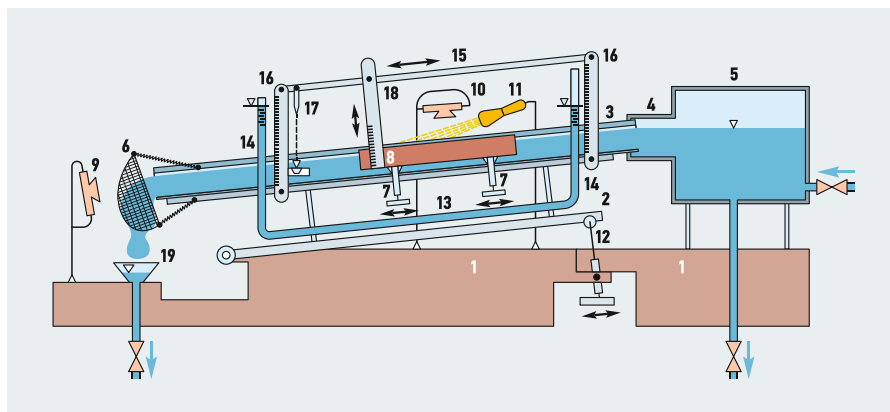


Рис. 1. Испытательный стенд по исследованию транспортирующей способности открытых лотков с различной текстурой внутренней поверхности (1 — неподвижная рама; 2 — подвижная платформа; 3 — жёлоб; 4 — резиновый гофрированный патрубок; 5 — накопительная ёмкость; 6 — съёмный сетчатый уловитель; 7 — малые механические домкраты; 8 — трубный модуль в виде открытого лотка; 9 и 10 — фотокамеры фронтальной и коаксиальной съёмки, соответственно; 11 — источник светового излучения; 12 — большой механический домкрат; 13 — заполненная водой магистраль; 14 — сообщающиеся гибкие прозрачные трубки; 15 — планка; 16 — подвижные мерные линейки; 17 — лазерный отвес; 18 — выдвижная мерная линейка; 19 — приёмная мерная ёмкость)

На базе светотеневого эффекта, создаваемого источником излучения над поверхностью потока, производится анализ эффективности транспортирующей способности потока по выносу разнородных инородных предметов в сетчатый уловитель на единицу площади или длины текстурированной поверхности.

Экспериментальные исследования на стенде преследовали цель описать возникающие вихревые течения жидкости при встрече с препятствиями и предложить варианты оптимальной текстуры донной поверхности лотков и труб для повышения эффекта транспортирующей способности. Аппаратурой для фиксации результатов стендовых исследований служили встроенные в стенд видео- и фотокамеры, позволяющие осуществлять фронтальную и коаксиальную съёмку потока на лотке. В частности, использовались видеокамера Sony (модель HDR-CX250E), зеркальный фотоаппарат Sony 550 (с объективом DT 1.8/50 SAM).

Необходимо отметить, что теоретическое определение гидродинамических характеристик представляет большие трудности не только в математическом отношении, но и в постановке самой гидродинамической задачи. Отсюда теоретические методы требуют ряд допущений и ввода ряда упрощений.

При проведении данных экспериментов вихревые потоки в пределах препятствий исследовались путём визуальной фиксации дорожек Кармана. Однако для усиления отслеживания характера турбулизации использовался также эффект преломления отражённой на поверхности воды линии тени, возникающей благодаря двум установленными параллель-

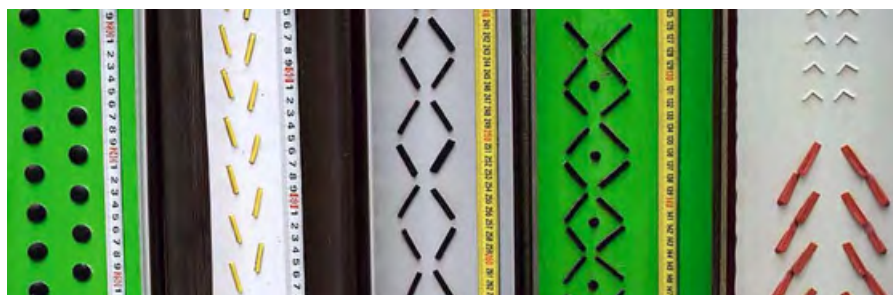


Рис. 2. Образцы поверхностей с искусственной шероховатостью, использованные в период экспериментов (слева направо: круглые в плане препятствия; цилиндрические бруски; крестообразно расположенные бруски в виде параллелепипеда; то же с круглым препятствием в середине; уголки и двойные препятствия в виде последовательно расположенных клиньев)

но лампам специального светильника. В результате явление вихреобразования фиксировалось в виде деформации линии тени, классифицируя его как ламинарное, вихревое или когерентное. Эксперименты проводились как при стационарном расположении кинокамеры коаксиальной съёмки потока, так и при её перемещении по направлению потока для выявления зон наибольшей турбулизации между препятствиями.

Результаты исследований

В качестве результатов исследований произведён анализ характера вихреобразования в однофазных потоках и перемещения твёрдых фракций различного гранулометрического состава в двухфазных потоках при различных наполнениях. Характер вихреобразования определялся путём визуальной фиксации преломления отражённой на поверхности воды линии тени (теневого дорожки) от специальных светильников.

При этом были проведены эксперименты в двух режимах, то есть с использованием одно- и двухфазного потоков.

В качестве препятствий, формирующих искусственную текстуру внутренней поверхности лотка, использовались, в частности, бруски в виде параллелепипеда и цилиндра, призмы и гаек, препятствия в форме перевёрнутого шарового сегмента и ряд других. Некоторые типы лотков с искусственной текстурированной поверхностью представлены на рис. 2.

Металлические и полимерные предметы-препятствия располагались как по центру лотка, так и с относительным смещением (малым и большим) от оси лотка для выявления размеров (характера, длины, ширины, площади зоны возмущения) вихрей (за предметом) и подпора в виде «ряби» перед следующим препятствием (характера, длины, ширины, площади зоны возмущения).

При проведении экспериментов в первом режиме исследованию подлежало

значительное количество искусственных препятствий.

На рис. 3 в качестве примера представлена визуальная характеристика потока на открытом лотке с препятствиями из мини-пирамид (размеры сторон 4×4 мм, высота 3 мм) с отражённой теневой дорожкой при ламинарном режиме течения (скорость 0,166 м/с), турбулентном (скорость 0,222 м/с) и когерентном (скорость 0,303). Согласно экспериментальным данным, представленным на рис. 3, значительная турбулизация потока при указанном типе препятствий возможна при скоростях течения порядка 0,3 м/с.

В качестве примера в табл. 1 приведены данные по гидравлическим характеристикам потока, проходящего через структурированную поверхность, образуемую двумя подобными препятствиями с лобовой и заострённой частями к направлению потока.

Препятствия представляли собой клинья из полиэтилена длиной 20 мм и переменной высотой (заострённая 1 мм и лобовая часть 4 мм) с расположением в виде «прямой» и «обратной» ёлочек.

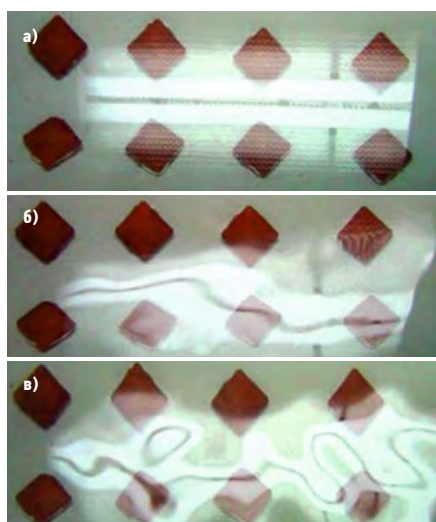


Рис. 3. Динамика деформации теневой дорожки [а — ламинарное движение, б — турбулентное; в — когерентное (с отрывом вихрей)]



Рис. 4. Визуализация динамики выноса песчаных включений с текстурированной поверхностью в зависимости от скорости течения

Эксперименты показали, что принципиальных отличий в характере течения при расположении препятствий в виде прямой или обратной «ёлочки» не существует. Это явилось весомым аргументом расширения диапазона исследований по транспортировке твёрдых включений на двухъярусной конструкции препятствий, включающей комбинацию прямой и обратной «ёлочки».

На рис. 4 представлены результаты экспериментов по исследованию динамики выноса песка (фракцией 0,3 мм) при наличии второго слоя препятствий, то есть комбинированного расположения препятствий и увеличении наполнения и скорости течения 1–6 в диапазоне от 0,1 до 0,35 м/с шагом 0,05 м/с. Результаты экспериментов показали, что вынос песка происходит путём формирования гряды в месте уреза воды между вторым рядом препятствий 1 и 2, по оси лотка начинает-

ся смыв песчаной массы 3, кроме слежавшегося песка 4. При увеличении скорости до 0,3 м/с наблюдается полный вынос песка во втором ряду 5 и практически полный вынос при скорости 0,35 м/с (поз. 6).

Таким образом, наличие структурированной поверхности позволяет транспортировать выпавшие в донной части песчаные включения при скоростях ниже самоочищающих (0,7 м/с) в два раза.

Выводы

1. Разработана и испытана новая конструкции малогабаритного опытного стенда для исследования транспортирующей способности открытых лотков с нанесёнными на их внутреннюю поверхность материалов с соответствующей текстурой в виде препятствий, создающих вихреобразование в потоке жидкости.
2. Представлены результаты исследований по динамике изменения характера

однофазного потока и эффективности выноса инородных включений при комбинированном расположении препятствий в случае двухфазного потока с учётом деформации линии тени на текстурированной поверхности.

3. Определена возможность повышения транспортирующей способности лотков за счет текстурированных поверхностей при скоростях ниже самоочищающих.
4. Совершенствование текстуры лотков и самотёчных трубопроводов возможно при реализации ремонтно-восстановительных работ путём нанесения полимерных защитных покрытий соответствующего рельефа.
5. Совершенствование текстуры лотков и самотёчных трубопроводов возможно при реализации ремонтно-восстановительных работ путём нанесения полимерных защитных рукавов с соответствующим рельефом поверхности. ●

Опыты по оценке микротурбулентности с использованием светотеневого эффекта* табл. 1

№ опыта	Показатели времени, скорости течения, высоты слоя воды и наполнения					Иллюстрация состояния на лотке
	Время $T_{ср}$, с (на 1 м)	Скорость $V_{ср}$, м/с	Высота $h_{ср}$, мм	Наполнение $h/d_{ср}$		
1а	9	0,111	14	0,108	Обратная «ёлочка»	
1б	9	0,111	14	0,108	Прямая «ёлочка»	
2а	3,5	0,285	35	0,269	Обратная «ёлочка»	
2б	3,5	0,285	35	0,269	Прямая «ёлочка»	
3а	3,0	0,333	40	0,308	Обратная «ёлочка»	
3б	3,0	0,333	40	0,308	Прямая «ёлочка»	

* На препятствиях прямой и обратной «ёлочки».

1. Kuliczkowski A., Kuliczowska E., Zwierzchowska A. Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska. Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. 2010. 735 p.
2. Zwierzchowska A. Technologie bezwykopowej budowy sieci gazowych, wodociagowych i kanalizacyjnych. Politechnika swietokrzyska. 2006. 180 p.
3. Rameil M. Handbook of pipe bursting practice. Vulkan verlag. 2007. 351 p.
4. Arola S.K., Desjardins O. Turbulent modeling of sedimenting particles in a horizontal pipe flow using Euler-Lagrange large eddy simulation. International Journal of Multiphase Flow. 2015. Pp. 1–30.
5. Houghtalen R., Osman A., Akan A., Hwang N. Fundamentals of hydraulic engineering systems. 5th edition. Pearson. 2016. 528 p.
6. Захаров Ю.С., Орлов В.А. Восстановление водоотводящих сетей полимерными рукавами. — М.: Русайнс, 2017. 107 с.
7. Rudolph K.-U., Block Th. Wassersektor in Deutschland: Methoden und Erfahrungen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Umweltbundesamt. 2001. 158 p.
8. Kuliczkowski A. Rudy kanalizacyjne. Wydawnictwo Politechniki Swietokrzyskiej. 2004. 507 p.
9. Патент РФ №189523 (RU). МПК G01B 9/00. Испытательный стенд для исследования транспортирующей способности открытых лотков с различной текстурой внутренней поверхности / В.А. Орлов, И.С. Дежина, А.А. Пелипенко, Е.В. Орлов. Заявл. 20.11.2018; опубл. 24.05.2019. Бюл. №15.

References — see page 62.

Research on the texture of the bottom part of the open gutters. Pp. 18–20.

Vladimir A. Orlov, Doctor of Technical Sciences, Professor; **Irina S. Dezhina**, postgraduate student; **Valentina A. Nechitaeva**, senior lecturer, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

1. A. Kuliczkowski, E. Kuliczowska, A. Zwierzchowska. Technologie bezwykopowe w inżynierii środowiska. Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. 2010. 735 p. [In Polish]
2. A. Zwierzchowska. Technologie bezwykopowej budowy sieci gazowych, wodociagowych i kanalizacyjnych. Politechnika świątokrzyska. 2006. 180 p. [In Polish]
3. M. Rameil. Handbook of pipe bursting practice. Vulkan verlag. 2007. 351 p.
4. S.K. Arolla, O. Desjardins. Transport modeling of sedimenting particles in a turbulent pipe flow using Euler-Lagrange large eddy simulation. International Journal of Multiphase Flow. 2015. Pp. 1–30.
5. R. Houghtalen, A. Osman, A. Akan, N. Hwang. Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems. 5th edition. Pearson. 2016. 528 p.
6. Ju.S. Zaharov, V.A. Orlov. *Vosstanovlenie vodootvodjashih setej polimernymi rukavami* [Rehabilitation of sewerage networks by polymeric sleeves]. Moscow. *Rusajns* [“Ruscience” Publishing House]. 2017. 107 p. [In Russian]
7. K.-U. Rudolph, Th. Block. Wassersektor in Deutschland: Methoden und Erfahrungen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Umweltbundesamt. 2001. 158 p. [In German]
8. A. Kuliczkowski. Rury kanalizacyjne. Wydawnictwo Politechniki Świątokrzyskiej. 2004. 507 p. [In Polish]
9. Patent of Russia No. 189523 (RU). IPC G01B 9/00. *Ispytatel’nyj stend dlja issledovanija transportirujushhej sposobnosti otkrytyh lotkov s razlichnoj teksturoj vnutrennej poverhnosti* [Test bench for testing the transport capacity of open trays with different internal surface textures]. V.A. Orlov, I.S. Dezhina, A.A. Pelipenko, E.V. Orlov. Decl. on November 20, 2018; Publ. on May 24, 2019. Bull. No. XX. [In Russian]