



# Интенсификация работы открытых водосточных лотков

**Владимир Александрович ОРЛОВ**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой водоснабжения и водоотведения, e-mail: OrlovVA@mgsu.ru

**Ирина Сергеевна ДЕЖИНА**, аспирантка, e-mail: DezhinalS@mgsu.ru

**Валентина Анатольевна НЕЧИТАЕВА**, старший преподаватель, e-mail: NechitaevaVA@mgsu.ru

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

***Аннотация.** Рассмотрена интенсификация работы открытых водосточных лотков за счет нанесения на их донную поверхность текстурированных оболочек, образующих искусственную шероховатость. Показано, что наличие рифленых поверхностей способствует вихреобразованию при течении воды и улучшает отрыв, а также и транспортировку ранее выпавших в донную часть лотков минеральных примесей. Выполнение операций по совершенствованию структуры лотков возможно в период проведения ремонтно-восстановительных работ с использованием современных полимерных материалов. Представлена конструкция малогабаритного гидравлического стенда, позволяющая исследовать транспортирующую способность потоков, содержащих твердые включения. Методом исследования являются гидравлические испытания, сопровождающиеся использованием светотеневого эффекта, а также фото- и видеоаппаратуры. Определена оптимальная структура внутренней поверхности лотков и труб, обеспечивающих вихреобразование, которая будет улучшать способность потока по выносу и транспортировке инородных дисперсных включений (песка) различного гранулометрического состава.*

***Ключевые слова:** водосточные лотки, самотечные трубопроводы, светотеневого эффект, текстура поверхности, транспортирующая способность.*

## INTENSIFICATION OF OPEN GUTTERS OPERATION

**Vladimir A. ORLOV**, e-mail: OrlovVA@mgsu.ru

**Irina S. DEZHINA**, e-mail: DezhinalS@mgsu.ru

**Valentina A. NECHITAEVA**, e-mail: NechitaevaVA@mgsu.ru

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

***Abstract.** The intensification of the work of open gutter by applying textured shells to their bottom surface, forming an artificial roughness, is considered. It is shown that the presence of corrugated surfaces contributes to vortex formation during water flow and improves the separation and transportation of mineral impurities previously dropped into the bottom of the gutters. The implementation of operations to improve the structure of the gutters is possible during the repair and restoration works with the use of modern polymer materials. The design of a small-sized hydraulic stand, which makes it possible to study the transport capacity of flows containing solid inclusions, is presented. The method of research is hydraulic testing, accompanied by the use of chiaroscuro effect, as well as photo and film equipment. The optimal structure of the inner surface of the gutters and pipes providing vortex formation, which will improve the ability of the flow to carry out and transport foreign dispersed inclusions (sand) of different granulometric compositions, is determined.*

***Key words:** gutters, gravity pipelines, chiaroscuro effect, surface texture, conveying capacity.*

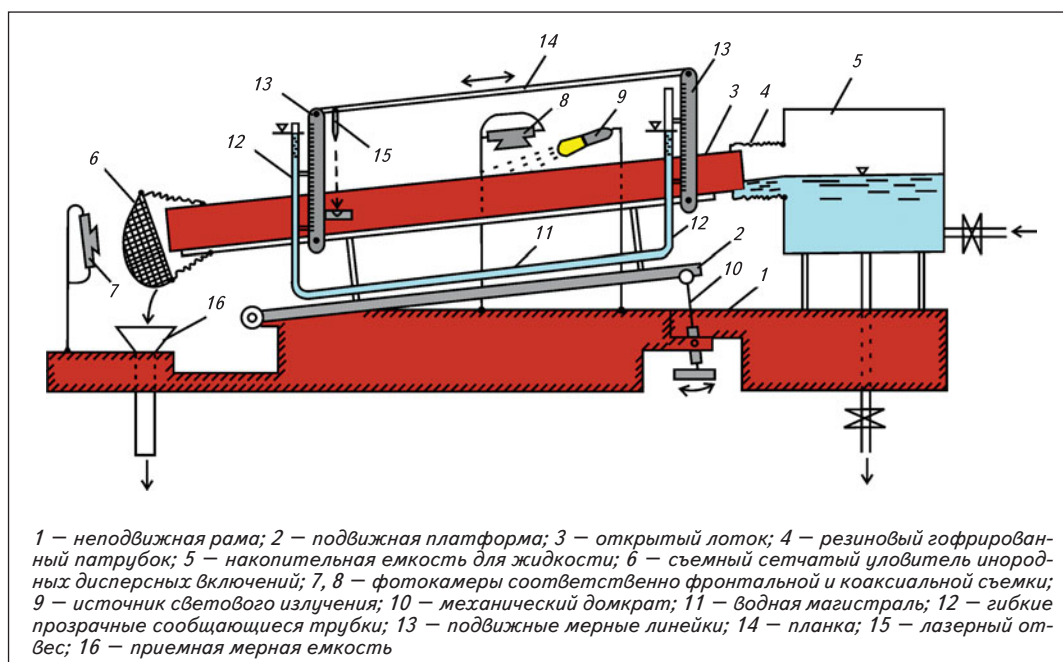
### Введение

Эффективная эксплуатация водосточных лотков и самотечных трубопроводных систем зависит от режима их использования (например, прочистки), а также проведения в экстремальных и негативных ситуациях ремонтно-восстановительных работ, в том числе с помощью бестраншейных технологий [1, 2]. При модернизации самотечных трубопроводных систем важное значение уделяет-

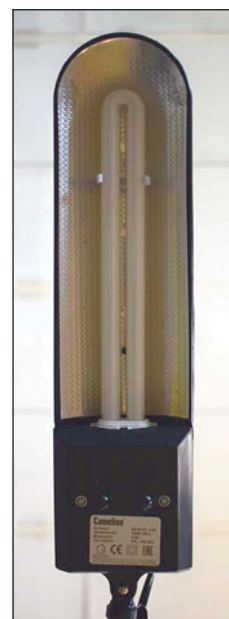
ся улучшению гидравлических характеристик их внутренних поверхностей [3, 4].

В настоящее время предлагаемый строительным рынком широкий ассортимент полимерных и композиционных защитных покрытий позволяет выбрать соответствующий материал с малыми гидравлическими сопротивлениями [5]. Рациональное применение таких строительных материалов для ремонта лотков содей-

ствует решению задач эффективного транспортирования вод, содержащих инородные включения, без их осаждения в лотковых частях труб, а также сокращению циклов периодической диагностики и прочистки [6]. Это позволит проводить более эффективные мероприятия по отводу дождевых вод с кровель зданий и поверхностных вод с городских территорий и строений в целях защиты ландшафтов от эро-



**Рис. 1. Испытательный стенд для исследования турбулентности и транспортирующей способности потока на текстурированных поверхностях лотков**



**Рис. 2. Светильник со специальной конфигурацией лампы**

зионных процессов, а также от затопления и подтопления.

Как известно, выбор материала труб и лотков из бетона, полимербетона, металла и полимеров определяется в зависимости от климатической зоны, максимальной динамической и статической нагрузки [7, 8]. При расчете лотков на ограниченной площади сбора с водонепроницаемым покрытием следует руководствоваться методикой СП 30.13330.2016 «СНиП 2.04.01-85\* Внутренний водопровод и канализация зданий» аналогично расчету для кровли.

Цель исследования – выявление условий, обеспечивающих вихреобразование потока даже при малых скоростях течения за счет совершенствования геометрической формы и расположения искусственных препятствий в донной части лотков. Ребристая текстура донной поверхности лотков может способствовать предотвращению осаждения на них взвешенных частиц, а также эффективному перемещению ранее выпавших в осадок минеральных примесей потоком жид-

кости при скоростях, меньше самоочищающих.

#### Материалы и методы исследований

Вихреобразование в потоке на текстурированных поверхностях с оценкой эффективности транспортировки твердых фракций различного гранулометрического состава производилось на установке, представленной на рис. 1 [9].

Принцип работы устройства состоит в том, что на лоток с определенным рельефом поверхности при определенных уклонах из емкости подается жидкость, содержащая инородные включения. При движении потока воды в лотке фотокамерами и измерительным инструментом фиксировали его фронт (высота слоя, наполнение), характер и геометрические размеры (длина, ширина и площадь зон турбулентности). Анализ вихреобразования и эффективности транспортирующей способности потока по выносу разнодисперсных инородных предметов (песка), осевших (или спе-

циально размещенных) в донной части лотка, проводился с использованием светотеневого эффекта, который создавал источник светового излучения над поверхностью потока. Таким образом, 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 местной турбулизации потока и его транспортирующей способности.

Аппаратурой фиксации результатов стендовых исследований служили встроенные в стенд видео- и фотокамеры, позволяющие осуществлять фронтальную и коаксиальную съемку потока на лотке. В частности, применяли цифровую видеокамеру Sony (модель HDR-CX250E) и цифровой зеркальный фотоаппарат Sony 550 (с объективом DT 1.8/50 SAM).

Как правило, вихревые потоки в различных ситуациях исследуют путем визуальной фиксации

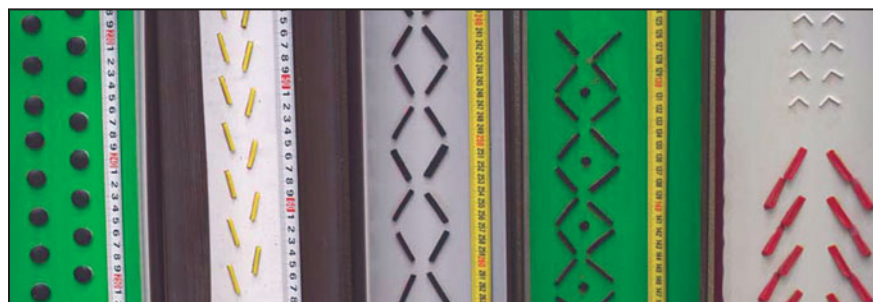
дорожек Кармана. Однако для усиления отслеживания характера турбулизации использовали также эффект преломления отраженной на поверхности воды линии тени, возникающей благодаря двум параллельным лампам дневного света в специальном светильнике (рис. 2). В результате явление вихреобразования фиксировалось в виде деформации линии тени, классифицируя его как ламинарное, вихревое или когерентное. Эксперименты проводили при стационарном расположении камеры коаксиальной съемки потока.

### Результаты исследований

Полученные результаты позволили выявить характер вихреобразования в однофазных потоках путем визуальной фиксации преломления отраженной на поверхности воды линии тени (теновой дорожки). Кроме того, определен механизм перемещения твердых фракций различного гранулометрического состава в двухфазных потоках при разных наполнениях и скоростях.

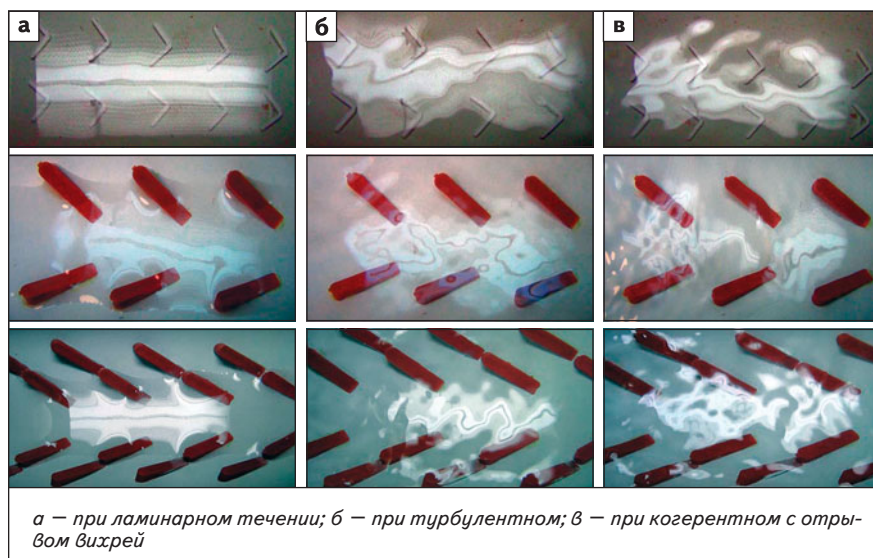
В качестве препятствий, образующих искусственную текстуру (рельеф) внутренней поверхности лотка, использовались различные предметы (рис. 3). Металлические, деревянные и полимерные предметы-препятствия наносились путем приклеивания к донной части лотка как по его центру, так и с относительным смещением от оси. Это позволило выявить перечень параметров, которые содействуют появлению зон возмущения потока, подпора в виде ряби перед следующим препятствием, что сводилось к определению длины, ширины, площади зоны возмущения и т. д.

На рис. 4 представлены изображения потока с отраженной теновой дорожкой на открытом лотке, в донной части которого находились препятствия из полимерного материала в виде:



Слева направо: круглые в плане препятствия; цилиндрические бруски; крестообразно расположенные бруски в виде параллелепипеда; то же, с круглым препятствием в середине; уголки и двухрядные препятствия в виде последовательно расположенных клиньев

**Рис. 3.** Образцы поверхностей с искусственной шероховатостью, использованные в эксперименте



а — при ламинарном течении; б — при турбулентном; в — при когерентном с отрывом вихрей

**Рис. 4.** Визуализация деформации теновой дорожки

- уголков (размером 1,5×1,5 мм, высота 2 мм);
- однорядных клиньев (заостренная часть 1 мм и лобовая 4 мм, длина 20 мм);
- двухрядных клиньев (заостренная часть 1 мм и лобовая 4 мм, общая длина 40 мм).

Диапазон скоростей потока во всех экспериментах составлял: при ламинарном режиме течения — 0,2–0,22 м/с, турбулентном — 0,27–0,29 м/с и когерентном — 0,35–0,38 м/с. Таким образом, скорости течения имели значения менее самоочищающих (0,7 м/с). Наиболее ярко вихреобразование проявлялось в случае двухрядного расположения пре-

пятствий в виде клиньев (см. рис. 4).

Сравнительные данные по транспортировке (выносу) песчаных гряд с лотка, полученные на базе гидравлических экспериментов с параллельной визуализацией состояния песчаной дюны видео- и фотоаппаратурой, представлены в таблице. Опыты проводились на лотке без препятствий и с препятствиями в виде клиньев при одинаковых условиях. В обоих случаях в донную часть лотка предварительно помещали определенное количество песка (28 г) с диаметром фракций 2,5–3 мм, что позволяло создать искусственную дюну

*Гидравлические характеристики и визуальная динамика выноса песчаных включений фракцией 2,5–3 мм с текстурированных поверхностей*

Номер опыта	Средняя скорость течения, м/с	Среднее наполнение в лотке	При отсутствии препятствий	При наличии препятствий (с фиксацией светотеневой дорожки)
1	0,059/ 0,072	0,115/ 0,125		
2	0,198/ 0,203	0,215/ 0,224		
3	0,202/ 0,218	0,231/ 0,233		
4	0,222/ 0,244	0,292/ 0,313		
5	0,344/0, 371	0,392/ 0,377		

Примечание. Дробные значения относятся к экспериментам соответственно при отсутствии и наличии препятствий. Направление потока справа налево.

площадью 76,5 см<sup>2</sup> (размером 17×4,5 см).

Анализ результатов экспериментов, представленных в таблице, позволяет сделать некоторые выводы по поведению потока, размыва и выноса песчаных гряд. Так, в экспериментах без препятствий визуальная картина может характеризоваться подъ-

емом (всплытием) более мелкой фракции песка до уреза воды в лотке с последующим огибанием потоком песчаной гряды при увеличении наполнения и скорости, но без эффективного смыва песка. Последующие эксперименты показали, что разрушение подобной песчаной гряды может наблюдаться лишь при скоро-

стях более 0,5 м/с и наполнениях более 0,4. Исследованиями на лотке с препятствиями установлен более интенсивный вынос песчаных примесей при меньших скоростях и наполнениях в лотке, преимущественно в крайней его левой части по ходу течения воды, где наблюдалось интенсивное вихреобразование.

**Выводы**

1. Представлены результаты экспериментальных исследований на малогабаритном гидравлическом стенде, имитирующем работу открытых водосточных лотков с текстурированной поверхностью.

2. С использованием видео- и фотоаппаратуры исследованы явления вихреобразования, базирующиеся на фиксации деформации линии тени на текстурированной поверхности лотка, а также транспортирующая способность потока в лотках по выносу песчаных включений различного фракционного состава.

3. Совершенствование текстуры лотков и самотечных трубопроводов возможно при реализации ремонтно-восстановительных работ путем нанесения на их донную часть полимерных защитных рукавов с соответствующим рельефом поверхности.

**ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES**

1. Иванов Е. С. Технология и организация работ при строительстве объектов природообустройства и водопользования. М. : АСВ, 2014. 560 с.
1. Ivanov E. S. *Tekhnologiya i organizatsiya rabot pri stroitel'stve ob'ektov prirodobustroystva i vodo-pol'zovaniya* [Technology and organization of works in the construction of environmental management and water use]. Moscow, ASV Publ., 2014. 560 p. (In Russian).
2. Kuliczowski A., Kuliczowska E., Zwierzchowska A. *Technologie beswykopowe w inzynierii srodowiska* [Бестраншейные технологии в инженерной экологии]. Polska : Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp., 2010. 735 p.
3. Саломеев В. П., Гогина Е. С., Орлов В. А., Макиша Н. А. Реконструкция систем и сооружений водоотведения. М. : МГСУ, 2017. 232 с.
3. Salomeev V. P., Gogina E. S., Orlov V. A., Makisha N. A. *Rekonstruktsiya sistem i sooruzheniy vodootvedeniya* [Reconstruction of drainage systems and structures]. Moscow, MGSU Publ., 2017. 232 p. (In Russian).
4. Arolla S. K., Desjardins O. Transport modeling of sedimenting particles in a turbulent pipe flow using Euler-Lagrange large eddy simulation [Моделирование осаждения частиц в турбулентном потоке в трубе с использованием имитации больших вихрей Эйлера-Лагранжа]. *International Journal of Multiphase Flow*. 2015, vol. 75, pp. 1–11. DOI: doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2015.04.010.

5. Houghtalen R., Osman A., Akan A., Hwang N. *Fundamentals of hydraulic engineering systems* [Основы гидротехнических систем]. USA : Pearson, 2016. 528 p.
6. Pinguet J.-F., Meynardie G. *Reseaux d'assainissement: du diagnostic a la rehabilitation* [Канализационные сети: диагностика перед реконструкцией]. *Eau, Industrie, Nuisances*, 2006, no. 295, pp. 39–43.
7. Rudolph K. U., Block Th. *Wassersektor in Deutschland. Methoden und erfahrungen* [Водный сектор в Германии. Методы и опыт]. Deutschland, Verlag Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 2001. 151 p.
8. Kuliczowski A. *Rury kanalizacyjne* [Канализационные трубы]. Polska : Wydawnictwo Politechniki Swietokrzyskiej, 2004. 507 p.
9. Патент РФ на полезную модель № 176330. Испытательный стенд по исследованию турбулентности и транспортирующей способности потока жидкости оптическими средствами в открытых лотках при различном рельефе их внутренней поверхности / Орлов В. А., Дежина И. С., Пелипенко А. А., Орлов Е. В., 2018.
9. Patent RF for utility model no. 176330. *Ispytatel'nyy stend po issledovaniyu turbulentnosti i transportiruyushchey sposobnosti potoka zhidkosti opticheskimi sredstvami v otkrytykh lotkakh pri razlichnom rel'efe ikh vnutrenney poverkhnosti* [A test bench for the study of turbulence and the transporting ability of a liquid flow by optical means in open trays with a different relief of their inner surface]. Orlov V. A., Dezhina I. S., Pelipenko A. A., Orlov E. V. Publ. 17.01.2018. (In Russian).

Для цитирования: Орлов В. А., Дежина И. С., Нечитаева В. А. Интенсификация работы открытых водосточных лотков // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 1. С. 66–70. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.01.66-70.

For citation: Orlov V. A., Dezhina I. S., Nechitaeva V. A. Intensification of Open Gutters Operation. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2020, no. 1, pp. 66–70. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2020.01.66-70. ■