

**И. В. МАРКИНА**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Московский государственный университет природообустройства»

## СОЗДАНИЕ ЗАКРУТКИ ПОТОКА В СЕТЯХ ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ

*Предложен способ повышения эффективности и надежности системы отвода ливневых вод с помощью применения в коллекторах закрученных потоков путем улучшения транспортирующей способности потока.*

*Ливневая канализация, закрученный поток, завихритель, тангенциальный, отстойник, наносы, транспортирующая способность потока, осевой поток, перепадный колодец.*

*There is proposed a method of raising efficiency and reliability of the systems of storm water withdrawal by means of using twisted flows in collectors, by improving the flow transporting capacity.*

*Storm sewage, twisted flow, swirler, tangential, mud box, drifts, flow transporting capacity, axial flow, drop well.*

Характерной особенностью ливневой канализации городов является наличие разветвленных и весьма протяженных подземных трубопроводов различного диаметра и материала, которые с течением времени неизбежно приходят в негодность, что создает риск аварийных ситуаций.

Повышение надежности работы подземных трубопроводов, предупреждение их старения и оперативная ликвидация последствий аварий в сетях – одни из главных задач служб эксплуатации, которые в настоящее время приобретают особую актуальность в России, где в коммунальном секторе старение подземных трубопроводных коммуникаций и другого оборудования различного назначения достигло критического уровня [1].

Прочистка трубопроводов – трудоемкая и дорогостоящая процедура. В зависимости от применяемого метода стоимость в среднем составляет от 200 до 500 р. за погонный метр. По данным ГУП «Мосводосток», в 2010 году в ходе ежегодного регламентного обслуживания коллекторов было извлечено 56 277,9 т взвешенных веществ, 3 543,1 т нефтепродуктов. Сумма затрат на указанные мероприятия составила 2 989 460 тыс. р. По сравнению с 2009 годом сумма затрат

в 2010 году возросла на 40 %. В своем отчете по выполненным работам за 2010 год ГУП «Мосводосток» в целях совершенствования системы водоотведения и сокращения скопления воды на городской территории предлагает проводить аварийно-восстановительные работы с применением новых технологий.

Таким образом, совершенно очевидна необходимость повышения эффективности и надежности системы отвода ливневых вод с территории. Одним из решений данной задачи может быть применение в сетях ливневой канализации закрученного потока, который позволит повысить транспортирующую способность потока и избежать заиливания коллекторов.

Закрученными называют такие потоки, где жидкость движется поступательно-вращательно относительно продольной оси и наряду с тангенциальной имеет продольную (осевую)  $v$ , а иногда и радиальную  $\omega$  составляющие. Обеспечить закрутку потока можно с помощью завихрителя – устройства, которое обеспечивает принципиальное преобразование структуры осевого потока, когда за счет нормального несоосного подвода потока к отводящему трубопроводу в потоке образуется вращательная

составляющая, обуславливающая возникновение поля центробежных сил, определяющего структуру закрученного потока [2].

Наиболее простой и надежной конструкцией обладает тангенциальный бескамерный завихритель (рис. 1) [3].

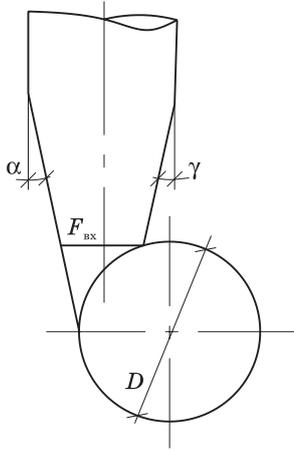


Рис. 1. Схема тангенциального завихрителя:  $F_{вх}$  – площадь входного сечения;  $D$  – диаметр отводящего трубопровода [3]

Основной характеристикой тангенциальных завихрителей является геометрический параметр  $A$ :

$$A = \frac{\pi R_{ц} R}{F_{вх}} \sin \beta, \quad (1)$$

где  $R_{ц}$  – расстояние от оси отводящего трубопровода до центра тяжести входного сечения площадью  $F_{вх}$ ;  $R$  – радиус трубопровода;  $\beta$  – угол наклона подводящего водовода к завихрителю.

Надежной характеристикой закрутки потока является интегральный параметр  $\Pi$ , представляющий собой отношение тангенциального компонента касательного напряжения  $\tau_{ц}$  к полному напряжению у стенки  $\tau$  или, что практически одно и то же, отношение окружной скорости  $v_{ц}$  к полной скорости  $v$  у стенки [3]:

$$\Pi = \frac{\tau_{ц}}{\tau} = \frac{V_{ц}}{V}. \quad (2)$$

Закрученные потоки в гидротехнических сооружениях первоначально применялись в шахтных водосбросах для предотвращения возникновения кавитации. Позже были выполнены работы по обоснованию возможности использования закрученных потоков для промыва наносов из камер отстойников непрерывного действия деривационных гидроузлов.

На основании данных исследований автором статьи предложено использовать закрученные потоки в сетях ливневой канализации, для чего в лаборатории Московского государственного университета природообустройства проведены экспериментальные исследования, в задачу которых вошло изучение закономерностей изменения основных кинематических характеристик осевого и винтообразного потоков и их транспортирующей способности.

Основой для работы послужили опыты, проведенные А. А. Шатановым на двух моделях промывных галерей (симметричной и асимметричной), которые дали возможность изучить и сравнить количественно характеристики соответственно осевого и винтообразного потоков [4]. Исследования проводились при различных числах Рейнольдса от  $Re_n = 2,5 \times 10^4$  до  $Re_{кон} = 11,0 \times 10^4$ . В результате было установлено, что транспортирующая способность потока в асимметричной промывной галерее в 2,4–3,4 раза больше, чем в симметричной, и значение расхода воды на промыв наносов уменьшается в 1,5–2,0 раза за счет увеличения транспортирующей способности потока.

Характерными загрязнителями поверхностного стока являются взвешенные вещества, органические вещества и нефтепродукты. Концентрации взвешенных веществ значительно колеблются от нескольких миллиграммов до десятков граммов в литре воды. Большой диапазон колебаний имеет место и по дисперсному составу. Их основное количество (до 80 %) представлено мелкодисперсными частицами, в основном частицами пыли, не превышающими 0,05 мм. Из них около 15 % – частицы размером до 0,005 мм.

Органические вещества в поверхностном стоке содержатся в растворенном и нерастворенном состоянии. На долю суспензированных примесей приходится около 90 % общего количества окисляющихся веществ, присутствующих в поверхностном стоке. Содержание нефтепродуктов в поверхностном стоке определяется в основном интенсивностью движения транспорта. Примерный

состав поверхностного стока (мг/л) для различных участков водосборных по-

верхностей селитебных территорий показан в таблице [5].

Состав поверхностного стока с селитебных территорий, мг/л

Площадь стока	Дождевой сток			Талый сток		
	Взвешенные вещества, мг/л	БПК <sub>20</sub> , мг O <sub>2</sub> /л	Нефтепродукты, мг/л	Взвешенные вещества, мг/л	БПК <sub>20</sub> , мг O <sub>2</sub> /л	Нефтепродукты, мг/л
Жилая застройка с высоким уровнем благоустройства	400	40	8	2000	70	20
Современная жилая застройка	650	60	12	2500	100	20
Магистральные улицы с интенсивным движением транспорта	1000	80	20	3000	120	25
Территория индивидуальной застройки	300	60	< 1	1500	100	< 1

Примечание: БПК – биохимическое потребление кислорода.

Прототипом экспериментальной установки послужил участок ливневого уличного коллектора диаметром 500 мм, типичный для городского района, границами которого служат смотровые колодцы. Минимальный уклон  $i$  при плоском рельефе местности равен 0,002. Расходы  $q$ , пропускаемые коллекторами в натуральных условиях, составляют 144,6 л/с при скорости  $v = 0,92$  м/с (рабочее наполнение  $h/d = 0,75$ ) [6].

Геометрический масштаб модели 1:5. Таким образом, учитывая технические возможности лаборатории, длина модельного водовода составила 2 м, диаметр 100 мм. Принципиальная схема установки представлена на рис. 2.

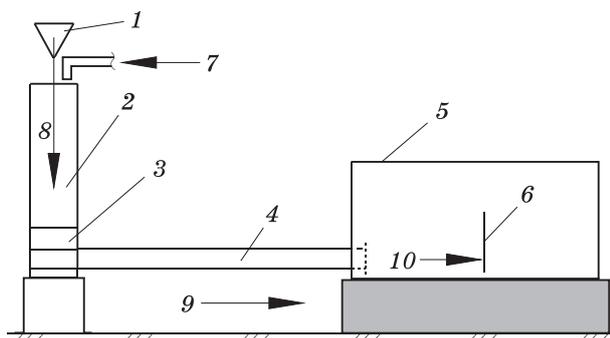


Рис. 2. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – конусный бункер; 2 – приемный бак; 3 – тангенциальный завихритель; 4 – участок трубы из оргстекла; 5 – отводящий лоток; 6 – треугольный водослив; 7 – поступающая вода; 8 – подача наносов; 9 – закрученный поток; 10 – вода с наносами

Эксперимент проводился при раз-

ных расходах ( $Q = 1,8...5,6$  л/с), соответствующих дождям различной интенсивности, и с различной степенью закрутки, что обеспечивалось специальной конструкцией тангенциального завихрителя с двумя съёмными вставками.

Геометрический параметр завихрителя  $A$  с двумя вставками равнялся 2,86, с одной вставкой – 1,26, без вставок – 0,73. Соответственно ширина входного отверстия на модели составляла 10, 20 и 30 мм, а обеспечиваемая начальная закрутка  $\Pi_0 = 0,82; 0,78$  и  $0,69$ . Напор в приемном баке в процессе проведения экспериментов изменялся от 13 до 44 см.

Определенную трудность составил подбор состава наносов, имеющего весьма важное значение при моделировании, так как взвешенные потоки являются динамически подобными только в том случае, если и движение наносов на модели подобно движению их в натуре. С использованием данных по фракционному составу взвешенных веществ в ливневом стоке для экспериментальной работы в качестве твердой составляющей потока был определен и использовался предварительно просеянный песок с диаметром фракций  $d = 0,5$  мм (70 %) и  $d = 0,1$  мм (30 %) [5].

В каждом опыте наносы подавались с различной скоростью в зависимости от поступающего расхода, однако их концентрация в потоке оставалась неизменной (1,0 г/л), что соответствовало средней концентрации взвешен-

ных веществ, поступающих с городской территории в сеть ливневой канализации во время дождя. Основной задачей было определить место возможного осаждения наносов в условиях различных расходов и интенсивности закрутки потока.

На основании наблюдений было установлено, что при заданной концентрации в течение всех серий эксперимента осаждения наносов по длине трубопровода не происходило. На первом участке трубы  $l_1$  с наиболее сильной закруткой по периметру трубопровода и наличием паровоздушного ядра в центре потока песок перемещался вместе с потоком, концентрируясь у стенки трубы.

На втором участке  $l_2$  в условиях затухания закрутки и уменьшения диаметра паровоздушного ядра наносы также перемещались по направлению движения потока, однако все более равномерно распределялись по сечению трубы, смещаясь от стенки к центру.

На третьем участке  $l_3$ , где устанавливался осевой поток, песок концентрировался в нижнем слое потока, перемещаясь вдоль трубы. Полного оседания не происходило из-за остаточной закрутки, которая поднимала со дна частицы.

Поскольку при концентрации, заданной в работе, наносы не оседали, с целью определения места их возможного оседания в потоке одновременно подавали увеличенные порции песка. Параллельно решалась задача оценки способности закрученного потока перемещать уже осевшие на дно частицы. Количество одновременно поданного песка, при котором происходило оседание, в разных опытах составило от 200 до 500 г, в зависимости от расхода и параметра завихрителя  $A$ . На основании произведенных наблюдений установлено, что при всех режимах оседание начиналось в начале третьего участка  $l_3$ , т. е. в месте, где поток переходил в осевой. Осевший песок имел вид гряд, которые постепенно перемещались по дну вдоль трубопровода. Однако при прекращении подачи песка он полностью смывался водой в течение 1,5–3,0 мин (в зависимости от режима).

Степень закрученности потока и длина участка трубопровода, на котором она сохранялась, в первую очередь зави-

сели от напора на входе. На основании полученных данных был составлен график зависимости  $l = f(h_{вх})$ , представленный на рис. 3.

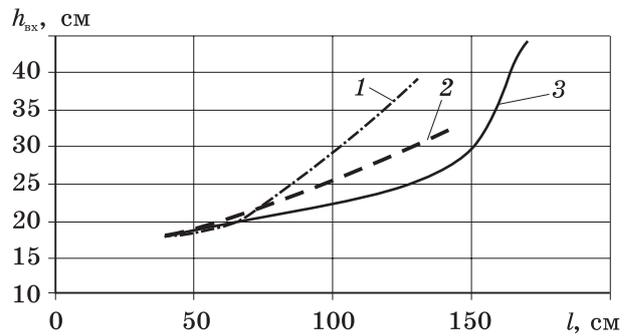


Рис. 3. Длина участка трубопровода, на котором сохраняется закрутка потока, для завихрителей с параметрами: 1 –  $A = 0,73$ ; 2 –  $A = 1,26$ ; 3 –  $A = 2,86$

Полученные результаты дают основание утверждать, что по длине трубопровода, на которой сохраняется закрутка потока, оседания наносов происходить не будет, а при установлении осевого потока оседающие частицы будут постепенно смываться за счет энергии остаточной закрутки потока предыдущих участков. Однако увеличение напора на входе приводит не только к увеличению параметра закрутки  $\Pi$  и длины трубопровода, на которой она сохраняется, но и к увеличению скоростей потока. Поскольку это неизбежно ведет к истиранию частей трубопровода, дальнейшее увеличение напора не рекомендуется.

На основании проведенных опытов достаточной для предотвращения оседания наносов на дно и его заилиения в первом приближении можно считать длину, равную  $1/5$  длины трубопровода. По мнению автора, элементом сети, на котором возможно осуществление реконструкции с целью создания закрученного потока, являются перепадные колодцы. Их устанавливают в следующих случаях: при необходимости понижения оси трубопровода для приема притоков; во избежание возникновения в трубах скоростей течения, превышающих максимально допустимые; при пересечении с другими подземными сооружениями;

для устройства затопленных выпусков. По высоте перепадов перепадные колодцы подразделяют на колодцы малой (до 6 м) и большой высоты. Схема перепадного колодца малой высоты шахтного типа приведена на рис. 4.

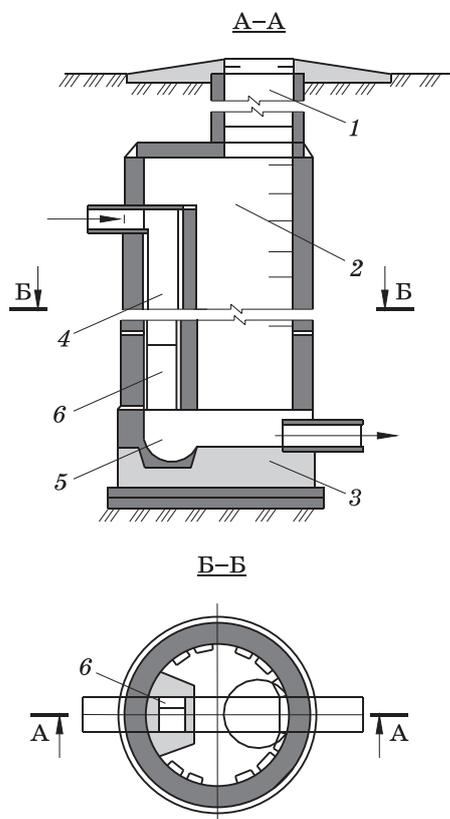


Рис. 4. Перепадной колодец шахтного типа с учетом предлагаемой реконструкции: 1 – горловина; 2 – рабочая камера; 3 – основание; 4 – шахта (стояк); 5 – вододобойный приямок; 6 – тангенциальный завихритель

Конструкция такого колодца теоретически допускает устройство тангенциального завихрителя, аналогичного рассматриваемому в настоящей работе.

#### Выводы

Предложен способ повышения транспортирующей способности потока в подземных коллекторах с помощью его закрутки с целью сокращения затрат на эксплуатацию подземных коммуникаций. В лаборатории кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВПО МГУП проведены экспериментальные работы по изучению закономерности изменения основных кинематических

характеристик осевого и закрученного потоков и их транспортирующей способности.

Исследования показали, что наличие наносов в потоке не влияет на пропускную способность трубопроводов, а также на степень закрученности потока. На данные характеристики оказывает влияние напор на входе и параметр завихрителя  $A$  – при увеличении напора и параметра  $A$  увеличиваются как расход, так и угол закрутки потока.

При всех исследованных режимах оседание наносов происходило на участке угасания закрутки, т. е. в месте, где поток переходит в осевой, однако оседающие частицы постепенно смывались за счет энергии остаточной закрутки потока предыдущих участков.

Даны предложения по реконструкции перепадных колодцев как существующих элементов ливневой сети, конструкция которых потенциально подходит для устройства завихрителей.

1. Храменков С. В., Примин О. Г., Орлов В. А. Бестраншейные методы восстановления трубопроводов. – М.: изд-во Прима-Пресс-М, 2002. – 248 с.

2. Зуйков А. Л. Гидродинамика циркуляционных течений: научное издание. – М.: изд-во АВС, 2010. – 216 с.

3. Ханов Н. В. Гидравлика водосборов с тангенциальными завихрителями: монография. – М.: МГУП, 2003. – 224 с.

4. Шатанов А. А. Исследование промывных устройств в отстойниках гидроэлектростанций: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МИСИ, 1974.

5. Дикаревский В. С., Курганов А. М. Отведение и очистка поверхностных сточных вод: учебное пособие для вузов. – Л.: Стройиздат, 1990. – 224 с.

6. Лукиных А. А., Лукиных Н. А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле академика Павловского. – М.: Стройиздат, 1974. – 156 с.

Материал поступил в редакцию 01.11.12.

**Маркина Ирина Вячеславовна**, аспирантка

Тел. 8-903-556-33-46

E-mail: [rasta-iren@mail.ru](mailto:rasta-iren@mail.ru)