

## Определение коэффициентов шероховатости и Шези для расчета участков сетей водоотведения в условиях сокращения расходов сточных вод

Т. М. Мкртчян, Н.С. Серпокрылов

В безнапорных трубопроводах канализационных сетей движение жидкости, как правило, неравномерное. Однако на транзитных участках достаточной протяженности, где для выравнивания потока имеется прямолинейный участок не менее 40-50  $h_{\text{жид}}$  ( $h_{\text{жид}}$  - наполнение), постоянное сечение и уклон, движение жидкости можно считать равномерным, и для расчетов использовать формулу Шези [1]:

$$V = C\sqrt{Ri} \quad (1)$$

где  $v$  – средняя скорость, м/с;  $c$  - коэффициент Шези,  $\text{м}^{0.5}/\text{с}$ ;  $R$ -гидравлический радиус, м;  $i$ -гидравлический уклон.

Существует ряд формул, предназначенных для определения коэффициента Шези, в отечественной практике для расчета величины коэффициента  $C$  используют формулу Н.Н.Павловского [2]:

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (2)$$

где  $y$ - величина переменная, зависящая от гидравлического радиуса  $R$  и коэффициента шероховатости  $n$

$$y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0.1).$$

Однако в настоящее время в действующих системах водоотведения, в условиях снижения расходов сточных вод вследствие внедрения систем учета расходов воды в быту и в промышленности, существующие диаметры и уклоны труб отдельных участков не обеспечивают самоочищающиеся скорости, поэтому взвешенные вещества оседают в лотках труб. Для подъема этих осадков с лотка и приведения в "волнообразное" состояние одного и того же количества взвеси требуются большие скорости, чем для транспортирования этого же количества

неосевших взвешенных веществ. В результате на дне трубопровода постепенно оседают и накапливаются различные твердые вещества, в особенности песок, прочно "цементирующийся" канализационным илом. Образовавшийся таким образом осадок "укатывается" слоем текущей воды, увеличивая шероховатость труб и, соответственно, сопротивление потоку жидкости. [3]

Известно, что изменение коэффициента шероховатости  $n$  весьма существенно влияет на результаты гидравлического и технико-экономического расчета сетей: при одинаковых условиях (диаметр, наполнение, уклон) расхождение в определении расхода при изменении  $n$  в пределах от 0.012 до 0.014 составляет в среднем 18% [4].

Для нахождения расчетного расхода сточных вод, размывающего накопившийся слой и предотвращающего образование осадков в дальнейшем, необходимо определить фактически сложившийся на практике коэффициент шероховатости  $n$  для канализационных трубопроводов с донными отложениями.

Анализ существующих исследований по определению коэффициента шероховатости осадков в действующих канализационных трубопроводах показал, что таких данных, особенно в условиях снижения расходов сточных вод, недостаточно для корректировки расчетных зависимостей. [5] Поэтому была поставлена задача уточнить коэффициент шероховатости для разных диаметров труб из различных материалов, находящихся в условиях транспортирования сточной жидкости и имеющие донные отложения.

Канализационный трубопровод с фактически имеющимися донными отложениями будем рассматривать как безнапорный канал с разнородной шероховатостью, допуская, [5] что толщина осадков не меняется по длине расчетного участка. Поэтому можно считать, что движение сточных вод в заиленных трубопроводах на таких участках равномерно.

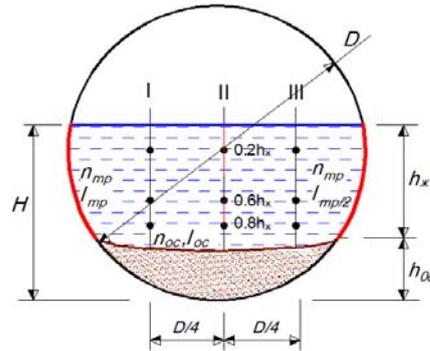


Рис. 1 Точки замеров скоростей в поперечных сечениях коллекторов с осадками.

Тогда для таких трубопроводов формула Н.Н. Павловского принимает вид

$$C_{II} = \frac{1}{n_{II}} R^y, \quad (3)$$

где  $n_n$  – приведенный коэффициент шероховатости [3]:

$$n_{II} = \sqrt{\frac{n_{TP}^2 \frac{l_{TP}}{l_{OC}} + n_{OC}^2}{1 + \frac{l_{TP}}{l_{OC}}}}, \quad (4)$$

где  $l_{TP}$  и  $l_{OC}$  – смоченные периметры трубы и осадка с коэффициентами шероховатости соответственно  $n_{TP}$  и  $n_{OC}$ .

Коэффициент шероховатости  $n_{TP}$  для внутренней поверхности канализационного трубопровода, покрытой биопленкой, независимо от материала труб согласно [6] можно принять  $n_{TP} = 0.014$ .

Для получения экспериментальных данных, были проведены гидравлические исследования в производственных условиях на канализационной сети г. Еревана и г. Раздана республики Армения.[7]

Для оценки истинного значения величины  $n_{OC}$  с надежностью  $p = 0,95$ , предполагая, что измерения независимы и произведены без систематической ошибки, а случайные ошибки распределены по нормальному закону с параметрами  $\theta$  и  $\sigma$  по данным подсчитаем значения выборочного среднего

$$n_{OC}^{oc} = \frac{1}{19} \sum_{i=1}^{19} n_{OC}^{oc_i} = 0.0203$$

и выборочной дисперсии

$$S^2 = \frac{1}{18} \sum_{i=1}^{19} (n_i^{oc} - n_{cp}^{oc})^2 = 3.82 * 10^{-6}$$

В качестве точечных оценок величины  $n_{oc}$  примем соответственно  $n_{cn}^{oc} = 0.0020$  и  $s = \sqrt{S^2} = 0.001955$ . Найдем доверительный интервал для  $n_{oc}$  с надежностью  $\rho = 0.95$ . Так как точное значение стандартной ошибки измерения  $\sigma$  неизвестно, то доверительные границы для  $n_{oc}$  - подсчитываем с помощью распределения Стьюдента [8]: для числа степеней свободы  $K=19-1=18$  находим коэффициент Стьюдента  $t=t(0.95;18)=2.101$ , что позволяет найти соответствующую границу отклонения  $n^{oc}$  от  $n_{cp}^{oc}$

$$|n^{oc} - n_{cp}^{oc}| = t \frac{S}{\sqrt{i}} = 2.101 \frac{0.001955}{\sqrt{19}} = 0.00094$$

Тогда доверительный интервал для  $n_{oc}$  с надежностью 0,95 находится в интервале  $(0,020-0,00094; 0,020+0,00094)$ . Округляя границы интервала, получаем  $0,019 < n_{oc} < 0,021$ . [10] Это свидетельствует о том, что коэффициент шероховатости донных отложений в коллекторах водоотведения с достаточной достоверностью можно принять  $n_{oc}=0,020$ . Тогда (4) при значении  $n_{oc}=0.020$  принимает вид (5)

$$n_{np} = \sqrt{\frac{0.000196 * l_{mp} + 0.0004 * l_{oc}}{l_{mp} + l_{oc}}} \quad (5)$$

Если для упрощения расчётов принимать, что части смоченного периметра  $l_{тр} = l_{oc}$  то из (5) получим  $n_{np} = 0.017$ . В итоге для исследованных сетей канализации формула (3) примет вид

$$C = 58.82 * R^{0.195 - 0.0225R} \quad (6)$$

Выполненные по (6) расчеты показывают удовлетворительную сходимость фактических и расчетных скоростей течения сточных вод, максимальное расхождение не превышает 10%, т. е. для условий республики Армения коэффициент Шези при проектировании самотечных сетей водоотведения следует вести по (6) при  $n_{np} = 0.017$ .

## Литература:

1. Богомолов А.И., Махайлов К.А. Гидравлика . - М.: 1972 г. С. 52.
2. Wood D. K., Tchobanoglous O. Trace elements in Biological Waste Treatment // J. Water Pollut. Control Fed. vol. 47. num. 7. 1975.P.75-54.
3. Н.С. Серпокырылов, А.А. Бондарчук, И.В. Новосельцева, Н.Н. Куля  
Экспериментальное исследование водоструйного аэратора  
[Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2011, №2. –  
Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/852>  
(доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
4. Лукиных А. А., Лукиных Н. А. Таблицы для гидравлического расчета  
канализационных сетей по формуле акад. Павловского Н. Н. Изд. 4-е  
дополн. - М.: Стройиздат, 1974, 156 с.
5. Серпокырылов Н.С. и Мкртчян Т. М. Патент на полезную модель РФ  
№123929 „Устройство для измерения высоты слоя осадков в колодцах  
канализационной сети”, опубл. 10.01.2013,
6. Румшицкий Л.З. Элементы теории вероятности.- М.:изд „Наука”, 1976.с  
15-18.
7. County Sanitation District No. 4 of Santa Clara County // Specifications  
Section 20.2. part 3. Campbell, Calif. P. 19-23.
8. Давыденко О.В. Обзор современных проблем и перспектив развития  
водоснабжения и водоотведения на территории Ставропольского края  
[Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2011, №2. –  
Режим оступа:<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2011/427>(доступ  
свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
9. ГОСТ 15126-80. Средства измерения скорости течения воды. Вертушки  
гидрометрические речные.
10. Герасимов Г.Н. Технический справочник по обработке воды: в 2 т. -  
СПб: Новый журнал / Degremont: 2007. Т. 1.- С. 878, Т.2.- С. 920.

