

погрешность не превышает 3%, что является подтверждением возможности использования упомянутой гипотезы для расчета распределения по сечению продольной компоненты осредненной скорости. Вместе с тем нельзя не обратить внимания на систематические отклонения вычисленных и экспериментальных скоростей в области сечения, находящегося у откоса. Это следствие того, что использованная гипотеза, естественно, не отражает полностью сложных процессов, имеющих место в потоке, например не учитывает трехмерности поля осредненных скоростей. Это во многом может объяснить отклонение вычисленных скоростей от экспериментальных.

Однако судя по приведенным, а также по другим выполненным многочисленным сравнениям, дающим удовлетворительное согласование расчетных и экспериментальных данных, можно сделать вывод о том, что полученная формула распределения по трапецеидальному сечению продольного компонента осредненных скоростей может быть использована в качестве первого приближения для решения различных задач.

#### Л и т е р а т у р а

1. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. — Л., 1962. 2. Коваленко Э.П. Распределение скоростей в равномерном потоке жидкости. — ИФЖ, 1961, № 8. 3. Коваленко Э.П. Исследование движения воды в открытых руслах. — Минск, 1963. 4. Рогуневич В.П. К расчету распределения осредненных продольных скоростей в однородных по длине прямоугольных потоках. — Водное хозяйство Белоруссии. Минск, 1971, вып.1. 5. Никитин И.К. Турбулентный русловой поток и процессы в придонной области. — Киев, 1963. 6. Никитин И.К. Обобщение зависимости для расчета стабилизированных турбулентных течений по двухслойной схеме. — В сб.: Исследование однородных и взвесенесущих потоков. — Киев, 1967. 7. Агроскин И.И., Штаренлихт Д.В. Уточненная формула для коэффициента Шези С. — Гидротехника и мелиорация, 1965, № 9.

УДК 556.04/08

Н.М. Балаескул, В.Н. Заяц

#### ОПЫТ ТАРИРОВКИ ВОДОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ НА КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

В практике учета сточных вод на канализационных системах наиболее широко используются в качестве стационарных измерителей расходов водоизмерительные сужающие устройства типа лотков Вентури и Паршалла [1,2]. В основу учета стока всеми гидрометрическими лотками положена устойчивая связь между расходами и уровнями верхнего бьефа в условиях свободного истечения потока. Лотки конструктивно просты. Для них разработан ряд рекомендаций и правил, при соблюдении которых действительны: полуэмпирические зависимости и рабочие формулы, разрабо-

танные с учетом конструктивных соотношений элементов лотка и обеспечения условий равномерного движения на подводящем участке [3,4]. Однако при проектировании и натурном исполнении лотков часто допускаются отклонения от существующих рекомендаций. Так, обследование водоизмерительных лотков на действующей станции аэрации расчетной производительностью 410 тыс. м<sup>3</sup>/сут показало, что при проектировании и строительстве лотков допущен ряд серьезных отступлений от нормативов: не выдержаны параметры габаритов, не обеспечены гидравлические условия нижнего бьефа [5].

На станции установлены лоток Паршалла (с шириной горловины 2,19 м) [6] и два однотипных лотка Вентури на каналах шириной 3 м, имеющих длины подводящих участков соответственно 17 и 12 м вместо нормативных 30 м. Лотки установлены за поворотом (на угол 90°). В результате имеют место явно выраженная неравномерность движения и искажение плановой эпюры распределения скоростей, а также появление заметных поперечных уклонов свободной поверхности потока. Вполне очевидно, что учет стока в указанных условиях возможен лишь после установления тарифовочных зависимостей для каждого лотка.

Необходимо отметить, что для производства тарифовочных работ по нормативам требуется [7] наличие прямых участков канала с равномерным движением или близким к нему. Довольно часто на канализационных очистных сооружениях условия плотной компоновки затрудняют выбор створов с равномерным распределением скоростей. На указанной станции для лотка Вентури, установленного на канале общей длиной 79 м (лоток № 1), это оказалось возможным; для лотка № 2, установленного на канале 30 м, выбрать гидроствор не удалось. В связи с этим при выполнении тарифовочных работ пришлось определять расходы по лотку № 2 косвенным путем.

Наличие подводящего к песколовкам канала общей длиной 100 м и шириной 5 м (рис. 1) позволило оборудовать гидроствор в подводящем канале в створе № 3 на 90-м метре от входа в канал, где движение потока весьма близко к равномерному. Измерения расходов гидрометрическими вертушками были выполнены стандартным пятиточечным способом в створах № 1 и 3 (створ № 1 был выбран на 60-м метре от поворота ниже лотка № 1, см. рис. 1) [7]. Для измерения скоростей использовались вертушки ГР-55 (в единичных случаях вертушка ГР-21). Для удобства проведения замеров на штанге закреплялись одновременно 5 вертушек в стандартных точках по глубине. Отсчеты фиксировались одновременно. Период осреднения при измерениях был выбран 30–40 с. Вычисление расходов по данным измерений проводилось графомеханически.

Тарифовочные работы велись в условиях естественного притока для расходов в диапазоне 3,3–6,22 м<sup>3</sup>/с, в разные дни, при различных качест-

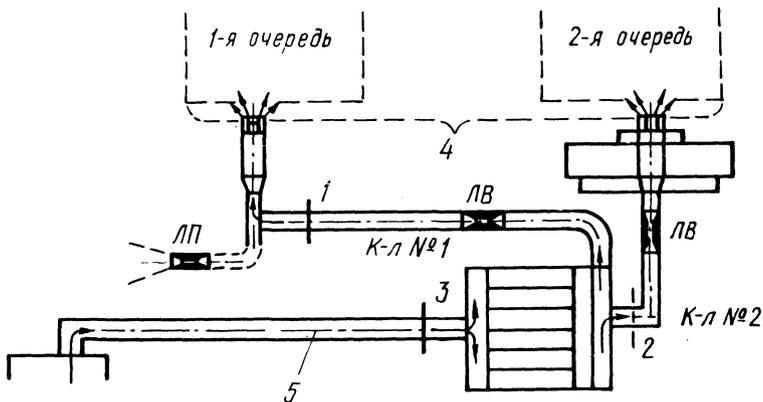


Рис. 1. Схема размещения измерительных сооружений на очистной станции:

ЛВ, ЛП – лотки Вентури и Паршалла; 1,2,3 – гидростворы, 4 – зона отстойников, 5 – подводящий канал.

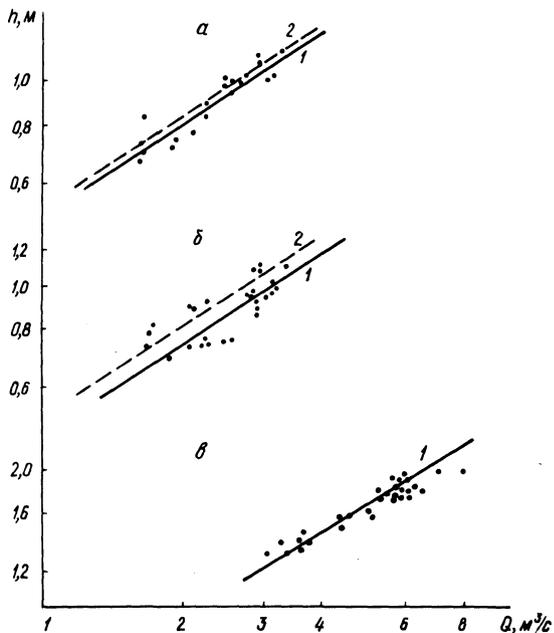


Рис. 2. Зависимости расходов от глубины:

1 – тарифовочная, 2 – аналитическая; а – в лотке № 1, б – № 2, в – подводящем канале.

венных показателях загрязненности сточных вод и при разной температуре в весенний и осенний периоды.

Чтобы получить наиболее объективные данные, дополнительно выполнялись замеры глубин одновременно в трех створах: на подводящем канале № 3, в контрольном сечении лотка № 1 и в контрольном сечении лотка № 2 (см. рис. 1). Однако проследить связь между значениями глубин в названных створах не удалось из-за различных условий потокораспределения по обоим лоткам в разное время. Величины глубин в контрольных сечениях лотков (соответственно им – расходов) существенно зависят от высоты расположения шибберов на выходе из сборного канала песколовок, а также от технологического режима работы песколовок и условий протекания в них сточной жидкости.

В связи с этим использованы графики связи расходов с глубинами  $Q = f(H)$  для главного канала и для канала № 1. Значения расходов по лотку № 2 получены по разности  $Q - q$ , при фиксированных значениях глубин одновременно в трех вышеназванных створах. Кроме того, к значениям глубин контрольного сечения лотка № 2 привязаны расходы, полученные путем непосредственных измерений в канале № 2 (створ на 6-м метре второго канала, см. рис. 1).

Математическая обработка результатов измерений осуществлена методом наименьших квадратов с последующим наложением на двухосную логарифмическую клетчатку. Полученные уравнения тарифовочных кривых имеют степенную зависимость вида

$$Q = ah^m, \quad (1)$$

где  $a$  – параметр, зависящий от гидравлических условий и геометрических размеров канала;  $h$  – глубина воды в мерном створе, м.

Теоретическое значение параметра  $a$  для тарируемых лотков № 1 и 2 с шириной горловины 1,5 м при коэффициенте расхода  $C_e = 0,978$  и коэффициенте скорости  $C_v = 1,064$ , рекомендуемых РДП-99-77 [3], равно 2,67, показателя степени  $m = 1,5$ .

Логарифмические анаморфозы кривых расходов для канала и лотков Вентури № 1 и 2 приведены на рис. 2. Оценка точности полученных результатов произведена по методике проф. Н.М. Шапова [8], согласно которой среднее квадратическое отклонение вычисляется как

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta Q_i}{Q_i}\right)^2}{n(n-1)}}, \quad (2)$$

где  $\frac{\Delta Q_i}{Q_i}$  – относительное отклонение от осредняющей кривой отдельного измерения (по графику);  $n$  – число точек измерения.

При практическом пользовании тарифовочными кривыми погрешности соответственно составят: для лотка № 1  $\sigma_1 = \pm 2,04\%$ ; лотка № 2  $\sigma_2 = \pm 2,51\%$ ; подводящего канала  $\pm 1,23\%$ . Сопоставление измеренных расходов для лотка Вентури с аналитической зависимостью указывает на сравнительно близкую сходимость их для лотка № 1 ( $\sigma_1' = \pm 3,3\%$ ) и на значительное расхождение их для лотка № 2 ( $\sigma_2' = \pm 15\%$ ).

При анализе полученных натурными измерениями данных обращает на себя внимание тот факт, что при постоянстве показателя степени при  $h$  ( $m = 3/2$ ) в уравнении (1) имеет место расхождение значений множителя  $a$ , притом тем большее, чем значительнее технологические отступления от нормативов установки лотка в канале (для лотка № 1  $a_1 = 2,8$ , лотка № 2  $a_2 = 3,0$ ). Исходя из анализа общего уравнения лотка Вентури, можно сделать вывод, что отклонения тарифовочной зависимости от аналитической кривой вызываются значительными различиями в значениях коэффициентов скорости  $C_v$  и расхода  $C_e \cdot C_v \cdot C_e = 1,09$  для лотка № 1 и  $C_v \cdot C_e = 1,17$  для лотка № 2, в то время как для аналитической кривой  $C_v \cdot C_e = 1,04$ . Таким образом, лоток № 2 пропускает расходы большие, чем лоток № 1 (при равных глубинах), в то время как проектом предусматривалась одинаковая нагрузка на эти сооружения. При обеспечении свободных условий выхода потока из песколовок наблюдается также неравное поперечное распределение, в связи с чем глубина воды в контрольном сечении лотка № 2 значительно выше, чем лотка № 1. Тем самым еще в большей степени возрастает расходная нагрузка в лотке № 2. Условия же нижнего бьефа этого лотка крайне неблагоприятны для приема значительных расходов, вследствие чего лоток работает практически всегда в зоне подтопления. Это снижает точность учета стока.

Особый практический интерес представляет еще одно обстоятельство. Для обоих лотков установлена большая пропускная способность, чем это предусмотрено при тех же глубинах аналитической зависимостью. Такое отклонение свидетельствует о снижении коэффициента шероховатости каналов при транспортировании по ним сточных вод. В процессе эксплуатации лотков и каналов в системах канализационных очистных сооружений на их стенках образуется биогенный гладкий слой (био пленка), благодаря чему транспортирование сточных вод происходит как бы в гидравлически гладком русле. В аналитической зависимости расходов для лотка Вентури влияние шероховатости на величину расхода не отражено (значения коэффициентов расхода и скорости даны в зависимости от соотношения геометрических размеров лотка и канала, а также глубины). Тем самым для лотков, выполненных из различных материалов, предполагается одинаковая аналитическая зависимость. Это подтверждает необходимость проведения специальных тарифовочных работ в натуральных условиях

по установлению фактической зависимости расходов от уровней (глубин) верхнего бьефа лотков с учетом факторов, влияющих на гидравлический режим истечения в лотка.

На основании выполненных исследований сделаны следующие выводы.

1. Общее уравнение расхода для лотков Вентури с эмпирическими коэффициентами действительно лишь при условии выполнения нормативных рекомендаций по конструированию лотков и установке их на каналах (для воды).

2. При отступлении от нормативов тарировка измерительных лотков является обязательной и должна выполняться для всего диапазона бытовых расходов.

3. При эксплуатации лотков Вентури и Паршалла в системах канализационных очистных сооружений необходима периодическая тарировка их для установления фактической пропускной способности, поскольку специфика сточных вод оказывает существенное влияние на гидравлические условия.

4. Исследования по определению пропускной способности водоизмерительных лотков в системах канализационных сооружений способствуют изучению гидравлической структуры потока сточных вод в распределительных каналах, что важно для решения теоретических и практических задач транспортирования сточных вод по трубам и каналам.

#### Л и т е р а т у р а

1. Л о б а ч е в П.В. Лотки и водосливы для измерения расхода сточных вод. — Водоснабжение и санитарная техника, 1968, № 7. с. 13-18. 2. Л о б а ч е в П.В., Ш е в е л е в Ф.А. Расходомеры для систем водоснабжения и канализации. — М., 1976. 3. Правила измерения расхода жидкости при помощи стандартных водосливов и лотков РДП-99-77. — М., 1977. 4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. — Л., 1972, вып. 5, ч. II. 5. Б а л а е с к у л Н.М., З а я ц В.Н. Натурные исследования по изучению режима работы водоизмерительных лотков Вентури. — В сб.: Проблемы использования и охраны вод. Минск, 1979, с. 160-168. 6. Б а л а е с к у л Н.М., З а я ц В.Н., М о л о ч к о А.В. Натурные исследования нестандартного лотка Паршалла. — В сб.: Водное хозяйство Белоруссии, 1972, вып. 2, с. 24-30. Минск, 1972. 7. Международный стандарт 748-73. Измерение жидкого стока в руслах. Определение расхода методами исследования поля скоростей. 8. Щ а п о в Н.М. Гидрометрия гидротехнических сооружений и гидромашин. — М., 1957.