

Н. М. Балаескул, В. Н. Заяц, А. В. Молочко

## НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСТАНДАРТНОГО ЛОТКА ПАРШАЛЛА

Лоток Паршалла широко используется как стационарный измеритель расходов для открытых каналов ирригационных систем и малых естественных водотоков, а также как измеритель расхода сточных вод на станциях биологической очистки. Диапазон измеряемых лотком расходов широк (от 0,010 до 80 м<sup>3</sup>/сек) и зависит от его габаритов.

Лоток может работать в двух режимах: при свободном и затопленном истечении.

При свободном истечении на гребне горловины устанавливается критическая глубина, а в выходной части лотка формируется гидравлический прыжок.

Конструкция лотка, до некоторой степени эмпирическая, до сих пор никем не оспаривается. Паршаллом разработан ряд конструктивных правил, при выполнении которых действительны эмпирические формулы расходов, перекрывающие диапазон ширин от 1 дюйма до 50 футов (0,025—15,2 м) [1, 2, 3]. Для создания нормального режима работы лотка в соответствии с исследованиями Паршалла участок канала должен быть прямолинейным на протяжении 15 м до и 20 м после лотка. Несоблюдение конструктивных размеров и правил установки лотка в канале ставит под сомнение возможность использования эмпирических зависимостей Паршалла.

Следует отметить, что на практике при строительстве лотков весьма часто допускаются отклонения от рекомендуемых размеров. На станциях биологической очистки сточных вод при компоновке сооружений в плане требования, предъявляемые к условиям установки лотка в канале, как правило, не соблюдаются. Таким образом, возникает вопрос о возможности применения нестандартных лотков Паршалла для учета стока.

В последние годы американскими исследователями предпринимались неоднократные попытки теоретически обосновать зависимость расходов и глубин в верхнем бьефе лотка. В результате этих поисков Дэвисом [4] было дано полутеоретическое уравнение, связывающее расход и глубину для всех лотков, не только стандартных но и с промежуточными размерами шириной от 1 дюйма до 50 футов. Структура формул, полученных Дэвисом, и их качественные особенности приведены в работе [5]. Там же указано, что формулы Паршалла и Дэвиса дают тождественные результаты. В связи с этим следует полагать, что формула Паршалла может быть приемлема во всех случаях, т. е. как для стандартных, так и для нестандартных лотков, в которых нет соответствия с определенными размерами ширины горловины.

Натурные исследования нестандартного лотка Паршалла нами были выполнены на одной из действующих станций аэрации. Лоток рассчитан на пропуск расходов от 0,26 до 4,0 м<sup>3</sup>/сек, ширина горловины 9,12 м. При проектировании и выполнении лотка были допущены значительные отклонения от рекомендуемых норм. В табл. 1 для сравнения приведены

конструктивные размеры и их соотношение для выполненного на станции лотка (рис. 1) и ближайшего по пропускной способности стандартного лотка Паршалла. Помимо нарушения конструктивных размеров, не соблюдены и правила установки лотка в канале — не выдержаны длины прямых участков до и после лотка в соответствии с нормативными требованиями. Длина прямого участка до лотка составляет 6 м, после него — 8,5 м. Лоток работает в очень стесненных условиях: выше него расположена зона песколовков, ниже — поворот на 90° и на расстоянии 14 м за ним — распределительная камера первичных отстойников (рис. 1, б).

Т а б л и ц а 1

Сопоставление конструктивных размеров стандартного лотка Паршалла и действующего лотка на станции аэрации

Конструктивные элементы расходомера Паршалла и их обозначения	Размеры лотка	
	стандартного	действующего
Ширина горловины $W$ , м . . . . .	2,44	2,19
Длина входной части по оси лотка $B$ , м . . . . .	2,39	2,29
Боковая стенка входной части $A$ , м . . . . .	2,44	2,30
Ширина входа $D$ , м . . . . .	3,40	3,10
Ширина выхода $C$ , м . . . . .	2,75	2,55
Длина горловины по оси лотка $F$ , м . . . . .	0,61	0,60
Длина выходной части по оси лотка $G$ , м . . . . .	0,92	0,90
Уклон dna горловины $I_{дг}$ , м . . . . .	0,375	0,425
Обратный уклон dna выходной части $I_{вых}$ , м . . . . .	0,167	0,222
Угол между боковой стенкой выходной части и осью лотка $\beta$ . . . . .	9°28	10°20
Угол между боковой стенкой входной части и осью лотка $\alpha$ . . . . .	11°19	11°15
Угол между открылками входной и выходной части и осью потока $\gamma$ . . . . .	45°	11°15

Из приведенного следует, что действующий лоток является нестандартным как в конструктивном смысле, так и в отношении обеспечения гидравлического режима потока в лотке. Гидравлические исследования работы такого лотка представляли большой интерес. Целью исследований являлось изучение режима поступления сточных вод и гидравлической структуры потока в лотке, режимов пропуска сточных вод через лоток, установление расчетных зависимостей расходов и глубин.

Для оценки режима поступления сточных вод на станцию аэрации произведен анализ диаграммы стока за полугодовой период, записанной самописцем ДС-1-05, установленным в створе лотка. Поступление стока на станцию происходит неравномерно. Неравномерность наблюдается в течение суток, по дням недели и по сезонам года. Наибольшая неравномерность отмечена в течение суток. В качестве характеристики может быть приведен коэффициент суточной неравномерности, который за период с июля 1969 г. по январь 1970 г. составил 1,08—1,58.

Гидравлическая структура потока в сооружениях и каналах неустойчива. Это объясняется прежде всего спецификой сточных вод, несущих большое количество взвешенных веществ в виде разного рода бытовых и производственных отходов ( $B$  до 2000 мг/л). Значительное влияние на гидравлический режим потока в лотке оказывают местные сопротивления, обусловленные теснотой компоновки сооружений в плане и наличием решеток, резких сужений и расширений в зоне установки лотка (рис. 1, б). Наиболее существенными следует считать помехи, вызывае-

мые отключения отстойников. При этом уровень воды в канале ниже лотка резко повышается, вызывая в ряде случаев затопление водослива.

На рис. 1, а, показаны кривые спада при условии свободного истечения через лоток (нормальный режим) и при подтоплении, вызываемом закрытием шиберов распределительной камеры отстойников. Движение

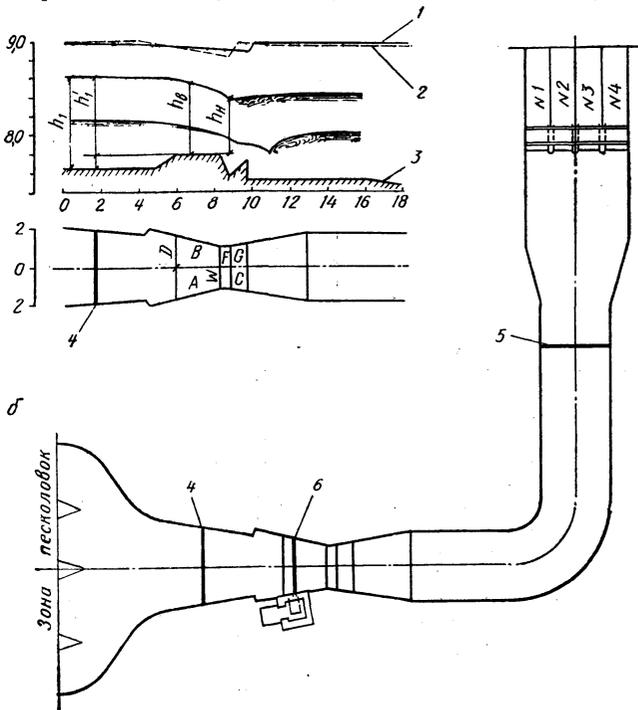


Рис. 1. Нестандартный лоток Паршалла:

а — кривые спада при условии свободного истечения через лоток; б — распределительная камера первичных отстойников; 1, 2 — соответственно левый и правый берег; 3 — дно у левого берега; 4 — створ № 1 (основной); 5 — створ № 3 (контрольный); 6 — створ № 2 (расчетный).

(рис. 1, б): в створе № 1 (основной) — выше лотка, в створе № 3 (контрольный) — ниже лотка за поворотом. В качестве расчетного принят створ № 2 в верхней части лотка, глубина в котором ( $h_2 = h_v$ ) является основным параметром формулы Паршалла. Ввиду стесненной компоновки сооружений выбрать створы, полностью отвечающие нормативным требованиям гидрометрии, оказалось невозможным. До выбора названных створов выполнены контрольные замеры канала и лотка в плане, сняты профили по оси потока и у берегов, а также несколько поперечных сечений в канале. Проведена разметка и нивелировка верхних кромок правого и левого берегов канала и лотка, что позволило при выполнении работ проводить съемку кривой спада и участков сопряжения за водосливом при различных гидравлических режимах потока. Результаты этих измерений для характерных расходов приведены на рис. 1, а.

Ввиду невозможности использования самописцев для изучения характера изменения уровней при существующих гидравлических условиях в выбранных створах были установлены постоянные реперы с фиксированной условной отметкой. При помощи специально размеченных реек проводились замеры средних для каждого створа глубин потока.

потока на рассматриваемом участке неравномерное, медленно изменяющееся. Имеют место непрерывные колебания уровней, однако в течение длительного времени (несколько часов) эти колебания устойчивы относительно некоторого среднего значения. Резкое повышение или понижение уровней (неустойчившееся движение) наблюдается в период смены режима работы агрегатов насосной станции, питающей канал.

Работы по исследованию гидравлической структуры потока (характера распределения скоростей) и измерению расходов проводились в двух створах

С целью исключения влияния колебаний уровней отсчеты по рейкам во всех створах производились одновременно.

По данным непосредственных наблюдений построены зависимости глубин для створов № 1 и 2 (график связи  $h_2=f_1(h_1)$  — рис. 2, а) и створов № 1 и 3 (график связи  $h_3=f_2(h_1)$  — рис. 2, б). Точками показаны результаты замеров при нормальном режиме работы сооружений (свободное истечение в лотке), точками в кружках — при закрытии шиберов отстойников. Необходимо отметить, что, как следует из результатов замеров глубин, створ № 2 во всех случаях (даже при низких горизонтах) находился в зоне кривой спада.

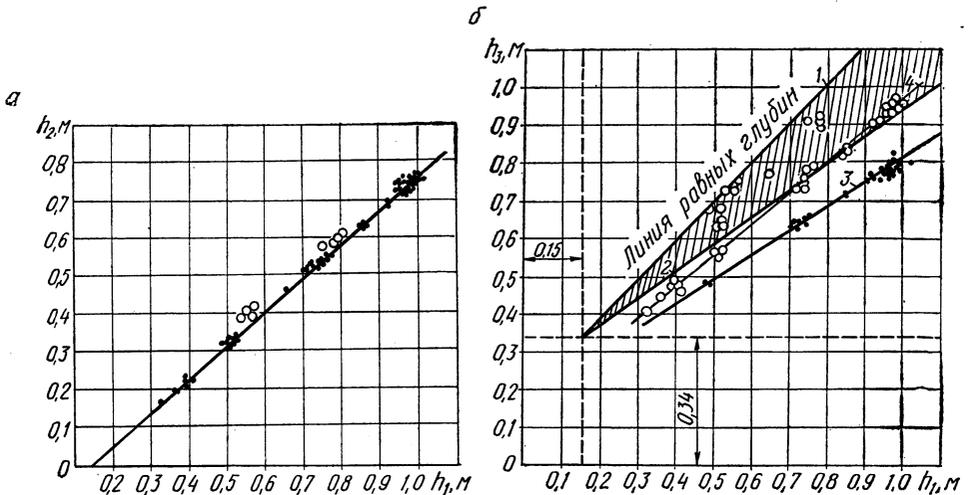


Рис. 2. Зависимости глубин для створов № 1 и 2 (а) и створов № 1 и 3 (б).

Связь между глубинами  $h_1$  и  $h_2$  весьма устойчива (рис. 2, а), причем имеет место прямолинейная зависимость. Это свидетельствует о том, что замер значений глубины  $h_2$  (в створе лотка) на кривой спада не должен отражаться на точности результатов измерений расходов.

Представляет интерес зависимость  $h_3=f_2(h_1)$ . На рис. 2, б пунктирные линии соответствуют приведению глубин  $h_1$  и  $h_3$  к значениям их над порогом водослива ( $h_1'$  и  $h_3'$ ). Линией 1 показана связь равных глубин, что имело бы место при отсутствии течения воды в канале, линия 2 соответствует условию затопления лотка ( $h_3'=0,7h_1'$ ). Зависимость, изображенная линией 3, построена по данным измерений глубин  $h_3$  и  $h_1$  при нормальном режиме работы лотка, а штриховой линией 4 — после отключения одного из отстойников. Заштрихованная область на графике (рис. 2, б) включает диапазон глубин, соответствующих работе затопленного водослива. Указанные зависимости достаточно полно освещают влияние нижележащих сооружений на гидравлический режим лотка. Отключение одного из отстойников приводит к повышению уровня воды в канале за лотком. При достижении значения  $h_3=0,75$  м наступает затопление водослива, на что указывает пересечение прямых 2 и 4 на графике (рис. 2, б). В этом отношении наиболее существенное влияние оказывает отстойник № 4, приемная камера которого расположена у правого берега. В канале за поворотом происходит нарушение плановой структуры скоростей, что вызывает смещение максимальной скорости к правому берегу и неравномерную нагрузку отстойников.

Одновременное отключение двух отстойников всегда вызывает затопление лотка, на что указывают опытные точки, лежащие в заштрихован-

ной области. При попеременном отключении песколовок наблюдалось только некоторое искажение плановой структуры скоростей перед лотком. Влияния на затопление водослива не отмечено.

На первом этапе исследований наибольший интерес представляло установление зависимости расходов и глубин для условия свободного истечения через лоток. С этой целью при различных глубинах потока были выполнены измерения скоростей гидрометрическими вертушками параллельно в створах № 1 и 3.

В связи с неустойчивым режимом течения в канале и возможными помехами взвесей все измерения выполнены с многократной повторностью. Наибольшее количество измерений выполнено для чаще встречающихся (бытующих) расходов. Для измерения минимальных расходов с низкими горизонтами приходилось снижать приток сточных вод на станцию путем аккумуляции части стока в главном коллекторе перед питающей насосной станцией. В этом отношении зимний период оказался наиболее благоприятным для измерения расходов. Тем не менее обеспечить малые расходы не в ночное время суток удавалось крайне редко.

При работе гидрометрическими вертушками в качестве основного был принят трехточечный способ измерения скоростей по трем вертикалям. Пятиточечный способ замера по пяти вертикалям применяли в тех случаях, когда в результате отключения песколовок или отстойников наблюдался явно выраженный неравномерный характер течения.

Ранее в этом же канале были проведены исследования [6] с целью выбора сокращенного числа вертикалей для получения достоверных величин расходов в створе. Для этого были выполнены измерения расходов при большом числе вертикалей (10) многоточечным способом с последующим сопоставлением расходов по полному и сокращенному числу вертикалей. Исследования показали, что наиболее точный результат в сравнении с детальным способом имеет место при определении расхода по трем вертикалям, расположенным в створах следующим образом: средняя — по геометрической оси канала и две крайние — на расстоянии 0,375 м от стенок канала (в створе № 1) и 0,35 м (в створе № 3).

Измерения скоростей вертушками в различных точках вертикали выполнялись одновременно. Это сокращало время производства работ и позволяло получать значения скоростей, осредненные за единый период времени, что весьма важно в условиях непрерывных колебания (пульсации) расходов и уровней. Чтобы исключить влияние попаданий взвесей на лопасти, вертушки в промежутках между контрольными замерами вынимались из потока, проверялись и при обнаружении помех очищались. После обнаружения помех результаты измерений выбраковывались. При повторении контрольных измерений расходов одновременно фиксировали глубины во всех исследуемых створах.

Всего при различных уровнях и режимах было измерено 57 расходов (из них 50 при свободном истечении). Наибольший измеренный расход составил  $3,529 \text{ м}^3/\text{сек}$ , наименьший —  $0,497 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

Для оценки достоверности результатов измерений расходов вертушками была осуществлена попытка применения объемного способа измерения. В качестве приемной емкости использовался один из первичных отстойников, который принимал весь лотковый расход. Для обеспечения возможности приема всего расхода одним отстойником на период измерений необходимо было поддерживать минимально возможный сток. В противном случае лоток переполнялся. Один из таких минимально возможных расходов был измерен. Расход по объемному способу составил  $0,584 \text{ м}^3/\text{сек}$ , параллельный вертушечный —  $0,617 \text{ м}^3/\text{сек}$ . В

связи с отмеченными техническими трудностями провести ряд контрольных замеров объемным способом оказалось невозможным, несмотря на зимний период с минимальным общим стоком.

Контрольные измерения другими методами (смещения, электролитическим) не дали положительных результатов, поскольку зимние условия не позволяли полностью соблюдать все необходимые требования.

Вычисление расходов по данным вертушечных измерений произведено уточненным аналитическим способом по формуле А. П. Браславского [6]

$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} f_i K_i V_{i, \sigma} \quad (1)$$

где  $f_i$  — площадь отсеков живого сечения водотока между соседними скоростными вертикалями;  $k_i$  — коэффициент, выбираемый из таблиц [4] по величине отношения  $v_m/v_\sigma$ , где  $v_m$  — меньшее,  $v_\sigma$  — большее значение средней скорости по вертикали на границах данного отсека живого сечения водотока;  $v_{i, \sigma}$  — средняя по вертикали скорость течения воды, большая из двух значений на границах данного отсека живого сечения.

Математическая обработка данных наблюдений произведена методом средних. Анализ полученных результатов показал, что зависимость расхода от глубины в верхнем бьефе лотка может быть представлена формулой Паршалла, которая для выполненной ширины горловины  $W = 2,19$  м имеет вид

$$Q = 5,46 h_b^{1,6} \quad (2)$$

где  $Q$  — расход воды,  $м^3/сек$ ;  $h_b$  — глубина воды в верхнем бьефе лотка, измеренная над порогом (в нашем случае  $h_2$ ).

На рис. 3 изображена логарифмическая анаморфоза кривой расходов по Паршаллу (для  $W = 2,19$  м) и нанесены значения фактически измеренных расходов. Как видно из графика, линия, построенная по формуле Паршалла, хорошо аппроксимирует экспериментальные данные.

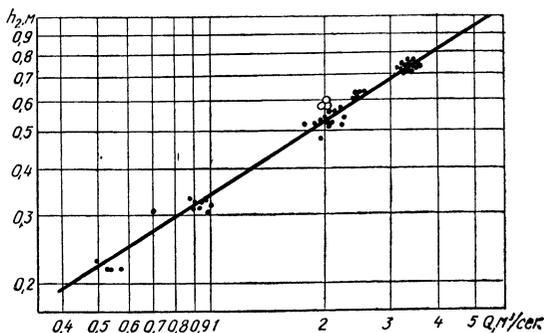


Рис. 3. Логарифмическая анаморфоза кривой расходов.

Ввиду того, что измеренные значения  $h_2$  в действующем лотке во всех случаях оказались на кривой спада, была установлена связь данных фактических измерений расходов с глубинами в створе № 1, измеренными над порогом водослива (приведенные глубины  $h_1'$ ). Эта связь выражается зависимостью

$$Q = 4,7 \cdot h_1'^{1,54} \quad (3)$$

где  $h_1'$  — приведенная глубина.

При графическом изображении зависимости (3) рассеяние опытных точек получается таким же, как и для (2). Это свидетельствует о

том, что перенос точки замера глубин за пределы кривой спада не улучшает расчетную зависимость  $Q=f(h_2)$ . Таким образом, формула Паршалла (для условий свободного истечения) может быть использована без внесения корректив.

1. При нормальном режиме работы (свободное истечение) выполненный нестандартный лоток дает хорошую согласованность с формулой Паршалла и может использоваться как стационарный измеритель расходов сточных вод.

2. Результаты исследования хорошо согласуются с положением Дэвиса о возможности применения нестандартных лотков при условии, если на гребне водослива устанавливается критическая глубина.

3. Наличие двух режимов усложняет автоматизацию учета стока. При затопленном режиме в лотке требуется дополнительная специальная обработка диаграмм записи расходов для внесения необходимых поправок в показания счетчика.

4. В связи с хорошей сходимостью результатов вертушечных измерений с зависимостью Паршалла можно полагать, что гидрометрические вертушки найдут широкое применение для измерения расходов сточных вод в открытых каналах и при тарировке сооружений.

#### Литература

1. Г. И. Саенко. Руководство и таблицы для ирригационных водомеров Паршалла. М., 1947.
2. Р. К. Линслей и др. Прикладная гидрология. Пер. с англ. Л., 1962.
3. R. Parshall. Measuring Water in Irrigation Channels. U. S. D. A. Farmers Bull., Revised October, 1941.
4. S. Davis. Unification of Parshall Flume Data. Journal of the Irrigation and Drainage Division. Proc. of the Amer. Soc. Civ. Eng. December, 1961.
5. Н. М. Балаескул. Применение водоизмерительных лотков в эксплуатационной гидрометрии. Сб. «Водное хозяйство Белоруссии». Вып. 1. Минск, 1971.
6. Н. М. Балаескул. Оценка ускоренных способов определения расходов воды в открытых потоках. Сб. «Водоотведение и очистка вод». Минск, 1969.