

УДК 556 536(075.8)

к.т.н. Павлов В. И.,  
Сергейчук О. В.,  
Кусайко Н. П.

(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, pavlow2005@rambler.ru)

## ОБОСНОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ РАСХОДА ВОДЫ В РЕКЕ БЕЛАЯ

*В период глобального потепления изменяются гидрологические характеристики малых рек и возникает необходимость мониторинга расхода малых рек. Обоснована комбинированная гидрологическая измерительная схема расхода воды на основе использования гидрологического лотка Вентури и треугольного тонкостенного водослива, обеспечивающая измерение во всём необходимом диапазоне изменения речного расхода. Предложено двухэтапное строительство комбинированного расходомера — на первом этапе возводится подводный канал лотка Вентури и используется в качестве контрольного русла для неавтоматизированных измерений расхода и на втором после возможной корректировки геометрических размеров расходомеров завершается возведение и оснащение их самописцами уровня воды.*

**Ключевые слова:** климат, потепление, малые реки, расход, измерение, расходомеры, лотки, водосливы, комбинированная схема, строительные работы, минимизация объёмов, этапы строительства, лоток, подводный канал, контрольное русло, этапы использования

**Постановка проблемы, обоснование ее актуальности.** Оценка водных ресурсов является одной из основных функций государства. Их контроль осуществляется посредством сети гидрологических постов различной плотности. Например, в 80-е годы на водосборах малых рек Приморского края, опасных паводками и половодьями, насчитывалось более 20 гидрологических постов [1]. Один пост в среднем контролировал 133 км<sup>2</sup>. На территории Восточного Донбасса функционировало 14 постов. Один пост приходился на 1900 км<sup>2</sup>. Такая сравнительно низкая плотность гидропостов на территории Донбасса обуславливалась двумя причинами: отсутствием чрезвычайных гидрологических ситуаций и подпиткой природных речных стоков шахтными водами. После развала СССР из-за сокращения финансирования наблюдения на малых реках практически прекратились. В Донбассе после закрытия ряда угольных шахт сток малых рек резко уменьшился; по реке Белая — более чем на 10 млн м<sup>3</sup>/год из-за остановки шахт Романовская, Перевальская, и Малоива-

новская. Возникла проблема обеспечения водой предприятий и населения.

Основным источником водоснабжения Алчевского металлургического комбината (АМК) служит Исаковское водохранилище. С момента сдачи в эксплуатацию водохранилища (с 1953 г.) существенно изменился климат. Зимы стали более теплыми, а лето засушливее, что вызвало более резкое внутригодовое колебание стока. В настоящее время для обеспечения эффективного водоснабжения АМК необходима оценка характеристик природного стока. Для решения этой задачи целесообразно обустройство на реке Белая гидрологического поста, оснащенного современными расходомерами. Накопленные результаты измерений позволят дать оценку гидрологических характеристик водосборов и соседних малых рек без ведения на них гидрологического мониторинга.

**Анализ последних исследований и публикаций.** На малых реках Донбасса непрерывные длительные измерения расхода воды не производились и поэтому остаются слабо изученными их гидрологи-

ческие характеристики: многолетние оценки стока 95 %, 75 % и 5 % обеспеченности, степень заиливания и полезный объём водохранилища и др.

Сток малых рек характеризуется большой неравномерностью из-за влияния следующих факторов [2]: балочного рельефа, степной зоны с небольшими байрачными лесами, засушливого климата. Влияние этих факторов приводит к быстрому поверхностному стоку во время осадков и к длительному питанию рек в меженные периоды только подземными водами.

Зачастую русла водотоков размывы до слоистого песчаника и им захлаплены. Захлапленность донной части русла создает большую турбулентность в водном потоке даже при максимальных расходах, что существенно снижает точность измерений речного расхода в естественных створах. Наличие повышенной турбулентности и значительной внутригодовой изменчивости речного стока обуславливает необходимость создания гидрологического поста, оснащенного современными средствами измерений.

Речной расход воды на малых реках определяется следующими способами [3, 4]:

- гидрометрическими вертушками в створах естественного русла;
- гидрометрическими вертушками в специально оборудованных контрольных руслах;
- гидрометрическими лотками;
- водосливами;
- объёмным способом;
- поплавковым способом.

Гидрометрические лотки, водосливы и контрольные русла являются строительными сооружениями (расходомерами); наиболее простым из них в конструктивном исполнении является контрольное русло. Идея сооружения заключается в придании естественному руслу строгой геометрической формы, обеспечивающей минимальную турбулентность водотоку. Измерение расхода производится гидрометрическими вертушками. При высоте

водотока, менее рекомендуемой для измерения гидрометрической вертушкой, используется поплавковый способ. Недостатком контрольного русла является сравнительно большая трудоемкость измерений и невозможность обеспечить их непрерывность.

В «Наставлении гидрометеорологическим станциям и постам» [5], констатируется, что на малых реках необходимо оснащение стоковых постов гидрометрическими лотками и водосливами с датчиками автоматического контроля. Использование таких расходомеров позволяет обеспечить следующее:

- контроль всего диапазона изменения расхода в течение года;
- непрерывную автоматизированную регистрацию расхода воды и снижение трудоёмкости замеров;
- изучение процессов формирования речного стока;
- повышение точности оценки максимальных и минимальных значений речных стоков;
- оценку влияния хозяйственной деятельности на величину речного стока;
- оценку водных ресурсов и эффективность их использования.

Измерение расхода лотками и водосливами обеспечивается за счет использования известного физического явления, т. е. когда уровень воды в потоке повышается перед местным гидравлическим сопротивлением. Этот уровень измеряется и пересчитывается в расход воды по предварительно установленной зависимости. В нормативном документе [5] для каждого стандартного расходомерного сооружения приведена расчетная зависимость. Если размеры сооружения отличаются от типоразмерного ряда, то эта зависимость корректируется посредством тарировки: измерением высоты водяного потока ( $H$ ) и речного расхода ( $Q$ ) в течение всего года [3]. Расход  $Q$  определяется объёмным способом с помощью измерительной ёмкости или через скорость потока  $V$ :

**РЕГИОНАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

$$Q = V \cdot S, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1)$$

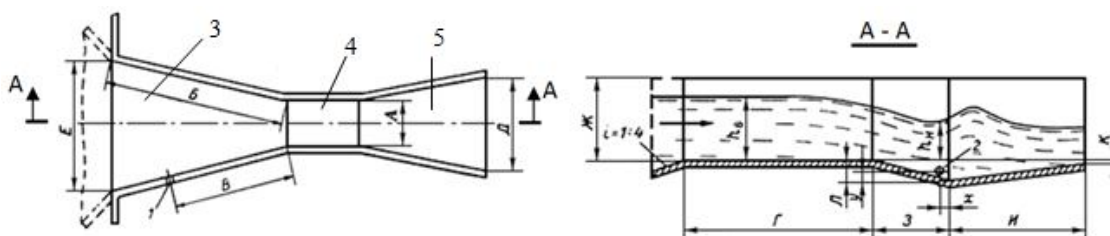
где  $S$  — сечение водного потока в контрольном створе,  $\text{м}^2$ ;

$V$  — скорость потока,  $\text{м}/\text{с}$ .

Скорость потока измеряется с помощью гидрометрической вертушки или поплавковым способом.

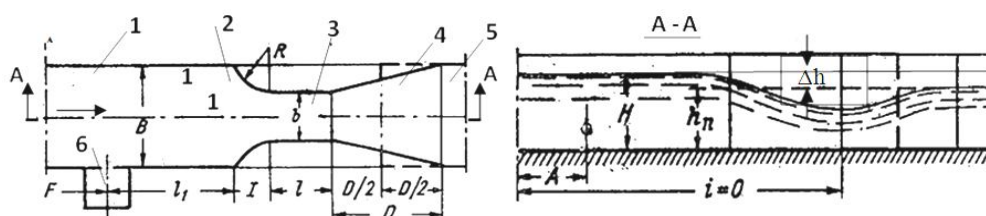
Гидрометрические лотки применяются трех видов: лотки Паршала, Вентури и САНИИРИ (рис. 1–4). Поперечное сечение лотка может быть трапециевидной и прямоугольной формы. Чаще применяется прямоугольная форма из-за меньшей трудоёмкости её реализации. Лотки Паршала

и Вентури состоят из четырех основных частей: подводящего канала, приемного раструба (конфузора) со сходящимися стенками, горловины с параллельными стенками и горизонтальным дном и отводящего раструба (диффузора) с расходящимися стенками. Гидрометрические лотки, по сравнению с водосливными устройствами, позволяют измерять речной расход воды в более широком диапазоне. Однако точность измерений не постоянная и снижается при расходах, близких к нижнему пределу измерений расходомера.



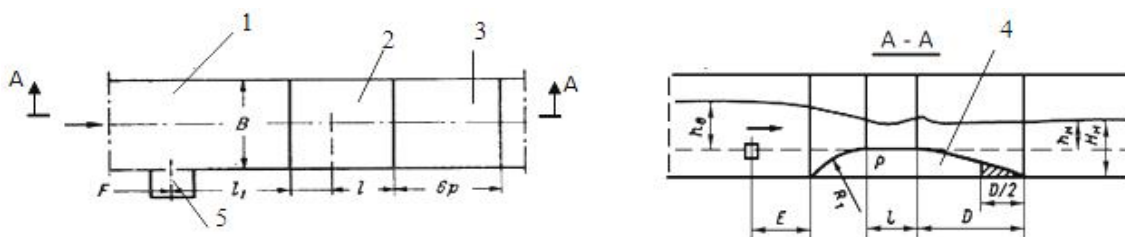
1 — отверстие, ведущее к колодцу самописца для измерения уровня воды в верхнем бьефе; 2 — отверстие для измерения уровня воды в нижнем бьефе для контроля при затопленном режиме; 3 — раструб приемный; 4 — горловина; 5 — раструб отводящий

Рисунок 1 Лоток Паршала



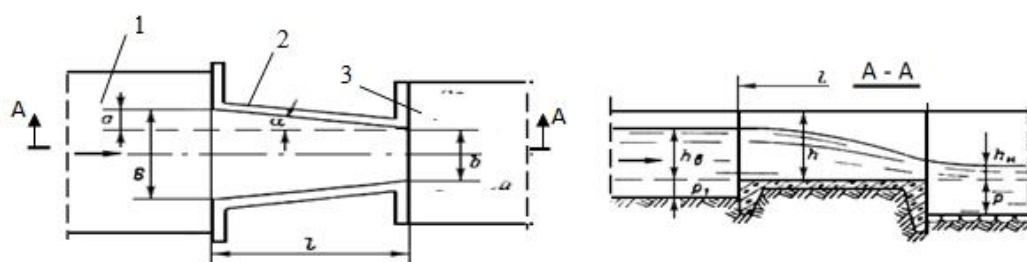
1 — канал подводящий; 2 — раструб приемный; 3 — горловина; 4 — раструб отводящий; 5 — канал отводящий; 6 — колодец самописца

Рисунок 2 Лоток Вентури без порога



1 — конфузор; 2 — горловина; 3 — диффузор; 4 — порог

Рисунок 3 Лоток Вентури с порогом



1 — раструб приемный; 2 — горловина; 3 — раструб отводящий

Рисунок 4 Водомерный лоток САНИИРИ

Водосливы различаются типами конструктивных элементов, создающих гидрологическое сопротивление водному потоку. Применяются водосливы Крампа (треугольного профиля), водомерный порог САНИИРИ, водослив с широким порогом и тонкостенные водосливы. Большое разнообразие конструкций обусловлено необходимостью приспособления водослива к условиям водотока и измерения сравнительно небольших расходов с достаточной точностью для практических целей.

Большинство действующих гидрологических постов оснащены одним расходомером. Для использования стандартных расходомеров разработан ряд типовых проектов. Все типовые проекты требуют привязки к местным условиям. На малой реке в экстремальных гидрологических условиях для измерений расхода во всем диапазоне возможных значений могут устанавливаться два, а то и три расходомера. Проекты использования нескольких расходомеров являются наиболее сложными. Для минимизации объемов строительства и взаимного гидрологического влияния расходомеров разных видов необходимо обоснование их использования в общей комбинированной измерительной схеме.

**Цель и задачи исследований.** *Целью работы* является обоснование гидрологической измерительной схемы расхода воды в реке Белая.

**Объектом исследования** является река Белая до впадения в Исаковское водохранилище.

**Предметом исследования** являются гидрографические и гидрологические характеристики реки.

Для обоснования гидрологической измерительной схемы расхода реки, согласно нормативным документам, необходимо решить следующие *задачи*:

- установить максимальные и минимальные значения расхода воды за годовой период;
- по реке вблизи Исаковского водохранилища определить гидрографические характеристики, регламентирующие условия применения стандартных расходомеров;
- выбрать место расположения гидрологического поста;
- обосновать измерительную схему расхода воды (обосновать виды, количество расходомеров и очередность их установки в направлении движения водного потока);
- рассчитать геометрические параметры расходомеров и диапазоны обслуживаемых расходов.

**Изложение материала и его результаты.** Измерение расходов воды производилось с помощью гидрометрической вертушки ВР-85, и поплавковым способом по стандартным методикам [6]. Гидрографические характеристики водосбора реки Белая определялись с помощью русскоязычной версии геоинформационной системы «Гугл Планета Земля».

Для выбора места оборудования стационарного гидрологического поста был обследован район реки Белая от впадения в Исаковское водохранилище и выше по

## РЕГИОНАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

течению на 1750 м. По результатам обследования для расположения гидрологического поста был выбран участок реки возле школьного двора школы № 12 пгт Бугаевка. Длина относительно прямолинейного русла составила 52 м, ширина природного, естественного потока — 4,5–6,0 м, максимальная глубина — 1,0–1,2 м, форма смоченного периметра – близка к прямоугольной, уклон реки — 0,6 ‰, дно — водозеро-зированный слоистый песчаник.

Замеры производились на временных створах с учетом применяемых способов оценки расхода (табл. 1). В предполагаемом створе в зоне выбранного расположения гидрологического поста максимальная высота водного потока составляла  $h_{\max} = 0,442$  м, скорость —  $V_{\max} = 0,806$  м/с; максимальный расход воды —  $Q_{\max} = 7689$  м<sup>3</sup>/ч (2,14 м<sup>3</sup>/с). Значение минимального расхода воды  $Q_{\min} = 64$  м<sup>3</sup>/ч (0,018 м<sup>3</sup>/с) принято по замерам в меженный период маловодного 2020 года. За последние десять лет на Луганщине расходы в половодье и в летние паводки отличались незначительно [7], поэтому измеренные в период паводков максимальные зна-

чения (табл. 1) можно принимать за основу для обоснования гидрологической измерительной схемы расходомеров.

Достаточно точное измерение установленного естественного речного расхода в диапазоне от 64 м<sup>3</sup>/ч до 7689 м<sup>3</sup>/ч могут обеспечить два расходомера: лоток и водослив с общим пределом от 60 до 8000 м<sup>3</sup>/ч, т. е. использование их в комбинированной схеме. Основной сток будет контролировать лоток, а при незначительных расходах будет работать водослив.

Выбор вида лотка обуславливается условиями его применения. Лоток Паршала (рис. 1) не рекомендуется использовать при уклоне русла более 1 ‰ из-за конструктивных особенностей, способствующих накоплению наносов. Уклон русла реки Белая в районе выбранного места расположения гидрологического поста равен 0,6 ‰. Для данного уклона предпочтительнее лоток Вентури (рис. 2) с боковым сужением водотока и без дополнительного донного сжатия. За счет таких конструктивных особенностей лоток Вентури минимизирует накопление наносов в своем русле. Лоток сравнительно прост в изготовлении.

Таблица 1

Результаты измерения речного расхода

Способ измерения	Дата	Средняя глубина/ширина, м	Сечение, м <sup>2</sup>	Расход, м <sup>3</sup> /ч
Поплавок	22.07.20	0,18/1,50	0,30	64,0
Поплавок	02.03.21	0,30/1,50	0,45	1260
Поплавок	16.03.21	0,30/2,00	0,60	946
Поплавок	16.03.21	0,27/2,00	0,54	1075
Вертушка	30.03.21	0,40/3,20	1,27	2047
Поплавок	30.03.21	0,41/3,20	1,31	2125
Вертушка	04.04.21	0,35/3,50	1,23	1539
Вертушка	07.04.21	0,42/3,10	1,30	1453
Вертушка	13.05.21	0,41/3,00	1,23	1561
Вертушка	26.05.21	0,37/3,00	0,92	1182
Поплавок	26.05.21	0,37/2,00	0,74	1134
Вертушка	08.07.21	0,92/6,00	5,50	7709
Вертушка	01.03.22	0,72/4,5	2,26	7282
Вертушка	12.04.22	0,61/5,9	2,57	7180
Вертушка	04.05.22	0,44/6,0	2,14	7689

Геометрические размеры лотка Вентури, приведенные на рисунке 2, имеют следующие обозначения:

$B$  — ширина подводящего канала;

$L$  — длина подводящего канала;

$b$  — ширина горловины;

$l$  — длина горловины;

$l_1$  — расстояние до места измерения уровня воды;

$D$  — длина отводящего раструба;

$R$  — радиус приемного раструба

Параметры лотка Вентури рассчитываются по формулам и требованиям, приведенным в нормативных документах [3, 5, 6]. В этих документах нет прямого расчетного алгоритма. Из расчетных формул и нормативных требований следует приведенный ниже многоцикличный порядок расчетов:

– по ширине естественного створа, принимается ближайшее из рекомендуемых значений ширины подводящего канала  $B$ ;

– осуществляется проверка на отсутствие турбулентности в подводящем канале по условию

$$Fr = \frac{Q_{\max}}{h_0 \cdot B \cdot \sqrt{g \cdot h_0}} \leq 0,8, \quad (2)$$

где  $Fr$  — число Фурда;

$Q_{\max}$  — максимальный расход, м<sup>3</sup>/с;

$g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$h_0$  — бытовой уровень водотока в створе, для проверки принимается  $h_0 = h_{\max}$ , м;

– рассчитываются остальные геометрические размеры для трех вариантов лотка, исходя из рекомендуемых значений коэффициента сужения потока  $k$ : 0,2; 0,4; 0,6;

– исходя из значений коэффициента  $k$ , рассчитываются три значения ширины горловины по формуле:

$$b = B \cdot k, \text{ м}; \quad (3)$$

– исходя из полученных значений  $b$ , рассчитываются три значения максимальной скорости потока в горловине лотка по формуле:

$$V_{\max b} = \frac{Q_{\max}}{h_{\max} \cdot b}, \text{ м/с}; \quad (4)$$

– исходя из полученных значений  $V_{\max b}$ , рассчитываются три значения замеряемого максимального уровня воды в лотке по формуле:

$$H_{\max} = h_{\max} + 0,057 \cdot V_{\max}^2, \text{ м}; \quad (5)$$

– для каждого значения максимального уровня воды проверяется функциональность трех вариантов лотка по условию неподтопленности:

$$\eta = \frac{h_{\max}}{H_{\max}} \leq 0,7; \quad (6)$$

– для вариантов лотка, прошедших проверку (6), рассчитываются высоты стенок лотка по формуле:

$$w = H_{\max} + 0,5, \text{ м}; \quad (7)$$

– рассчитанные значения высоты лотка проверяется по ее предельному значению:

$$w \leq 1,8, \text{ м}. \quad (8)$$

Из прошедших проверку вариантов принимается вариант лотка, обеспечивающий наименьший объем строительных работ.

На основе расчетных формул (2–8) и приведенной последовательности обоснования параметров первого элемента измерительной схемы применительно для стоквого поста на реке Белой получены следующие результаты.

При ширине естественного створа (6 м) принимается ближайшее из рекомендуемых значений ширины подводящего канала  $B$ , равное 5,0 м.

Условие (2) выполняется, турбулентность в подводящем канале отсутствует  $Fr = 0,465 < 0,8$ . Следовательно, размер  $B = 5$  м подобран корректно.

Ширина горловины, рассчитанная по формуле (3), может принимать значения: 1,0; 2,0 и 3,0 м.

Максимальная скорость потока в горловине, рассчитанная по формуле (4), может принимать значения: 4,85; 2,43 и 1,62 м/с.

Максимальный измеряемый уровень воды в лотке, рассчитанный по форму-

ле (5), может принимать значения: 1,78; 0,78 и 0,59 м.

Коэффициент подтопления, рассчитанный по формуле (6), может принимать значения: 0,25; 0,57 и 0,75. Последнее значение больше допустимого. Из этого следует, что вариант лотка с параметрами  $k=0,6$  и  $b=3,0$  м будет находиться в подтопленном нефункциональном состоянии и его следует исключить из дальнейшего анализа.

Для оставшихся двух вариантов лотка, прошедших проверку (6), высота стенок лотка, рассчитанная по формуле (7), составит 2,28 и 1,28. По условию (8) высота стенок лотка, равная 2,28 м, не допустима и соответственно этот вариант исключается. Геометрические размеры лотка, полностью соответствующие требованиям [6], приведены в таблице 2.

Расход воды, проходящей по лотку, рассчитывается по формуле [6]

$$Q = 1,705 C_g \cdot C_v \cdot b \cdot H^{\frac{3}{2}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (9)$$

где  $C_v$  — коэффициент, учитывающий влияние скорости подхода воды;

$C_g$  — коэффициент расхода;

$H$  — измеряемый уровень воды (рис. 2).

Коэффициент  $C_v$  вычисляется из уравнения

$$\left(\frac{b}{B} \cdot \frac{2}{3\sqrt{3}}\right)^2 C_v^2 - C_v^{\frac{2}{3}} + 1 = 0. \quad (10)$$

Коэффициент расхода  $C_g$  вычисляется по формуле

$$C_g = \left(\frac{\ell}{0,004 \cdot \ell + b}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{h - 0,003 \cdot \ell}{h}\right)^{\frac{3}{2}}. \quad (11)$$

Для удобства эксплуатации стандартных лотков по расчетным формулам (9–11) составлены таблицы [6]. По этим таблицам, исходя из принятых геометрических размеров (табл. 2), измеряемый диапазон расхода будет составлять от 0,034 м<sup>3</sup>/с до 3,50 м<sup>3</sup>/с. По сравнению с установленным диапазоном расхода по реке Белая, лоток не будет обеспечивать измерение минимального требуе-

мого значения 0,018 м<sup>3</sup>/с. К тому же точность измерений при низких расходах существенно падает. В подобных ситуациях рекомендуется использовать лоток Вентури в комбинации с тонкостенным водосливом, имеющим треугольный вырез [6]. Тонкостенные водосливы относятся к типу сооружений, позволяющих измерять небольшие расходы воды с наиболее высокой точностью.

Горловину лотка Вентури (рис. 3), выполняющую функцию гидрологического сопротивления (подпора), предлагается использовать в меженный период как входной канал водослива. Суженная ширина водотока в горловине позволяет повысить скорость водотока и тем самым расширить диапазон измерений расхода водосливом. При этом возможное наложение верхнего предела измерения водослива на нижний измерительный предел лотка Вентури позволяет проверять правильность тарировки обоих расходомеров.

На рисунке 5 приведены следующие обозначения параметров водослива:

$p$  — расстояние от гребня водослива до дна подводящего канала;

$\alpha$  — угол выреза водослива;

$h$  — измеряемый уровень воды;

$t$  — величина углубления нижнего бьефа;

$L$  — длина подводящего канала;

$B$  — ширина подводящего канала;

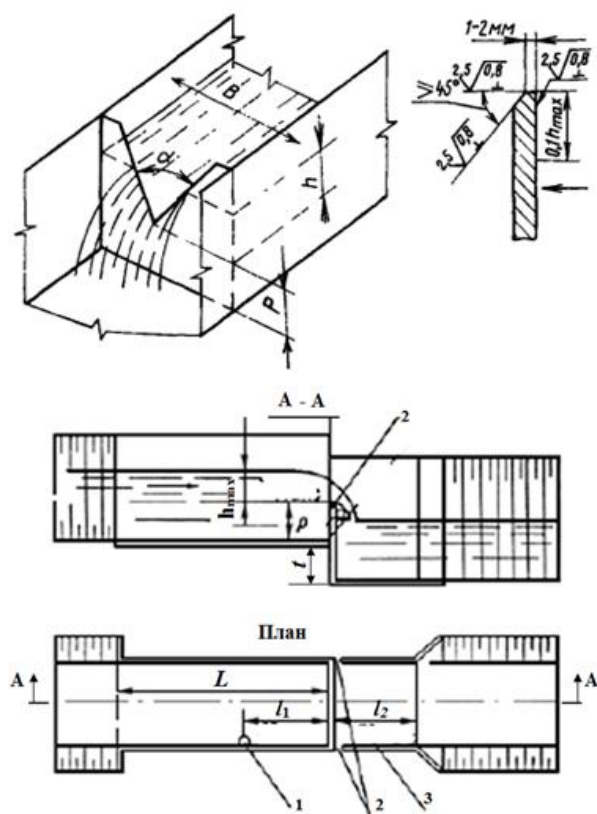
$l_1$  — расстояние от места замера уровня воды до стенки водослива;

$l_2$  — длина отводящего канала.

Таблица 2  
Геометрические параметры лотка Вентури

Параметр	Расчетная формула	Принятое значение, м
$B$		5
$b$		2
$k$	$b/B$	0,4
$L$	если $b < 0,5 B$ , то $L = 5 \div 7 B$	25
$l$	$l \geq 1,5 H_{\max}$	1,5
$l_1$	$l_1 = 3 H_{\max}$	2,34
$R$	$R = 2(B - b)$	6,0
$D$	$D = 3(B - b)$	9,0





1 — место измерения напора в подводящем канале; 2 — стенка водослива; 3 — канал отводящий

Рисунок 5 Треугольный водослив с тонкой стенкой

Размеры водослива должны обеспечивать неподтопленное состояние, для чего углубляется нижний бьеф на величину  $t \geq 0,1$  м (принято  $t = 0,1$  м); расстояние от гребня водослива до дна подводящего канала должно быть  $p \geq 0,2$  м (принято  $p = 0,2$  м).

Угол выреза водослива рассчитывается при условии обеспечения измерений минимального расхода воды из уравнения:

$$Q_{\min} = \frac{8}{15} \mu \sqrt{2g} \cdot tg \frac{\alpha}{2} \cdot h^{\frac{5}{2}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (12)$$

где  $\mu$  — коэффициент расхода, равный  $0,58 \div 0,59$ ;

$\alpha$  — угол выреза водослива, град;

$h$  — измеряемый уровень воды, м;

$g$  — ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

В комбинированной измерительной схеме водосливом должен измеряться диа-

пазон расхода, не контролируемый лотком, от  $0,018 \text{ м}^3/\text{с}$  до  $0,034 \text{ м}^3/\text{с}$ . Следует учесть, что минимально возможный уровень воды, измеряемый тонкостенным водосливом, составляет  $h = 0,06$  м [6]. Таким образом, исходя из измерений минимального расхода воды получено значение  $\alpha = 83^\circ$  и принято ближайшее рекомендуемое значение  $\alpha = 90^\circ$ . По принятому значению  $\alpha$  уточнено минимальное измеряемое значение расхода  $Q_{\min} = 0,013 \text{ м}^3/\text{с}$ , измеряемое водосливом. Максимально возможный уровень, измеряемый водосливом, составил  $h_{\max} = 0,40$  м, а максимальное значение расхода —  $Q_{\max} = 0,138 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Дно лотка и водослива общее, следовательно, подпор водяному потоку  $p = 0,20$  м, создаваемый водосливной стенкой, будет увеличивать измеряемый уровень потока в лотке. Поэтому для расчета расхода, измеряемого лотком, надо будет использовать величину

$$H = H_{\text{изм}} - p, \text{ м} \quad (13)$$

где  $H_{\text{изм}}$  — расстояние от дна лотка до уровня воды в точке замера.

Геометрические параметры водослива сведены в таблицу 3.

Предлагаемая комбинированная схема использования расходомеров не исключает их взаимное влияние. Необходима предэксплуатационная тарировка расхода в лотке и в водосливе. Контрольные замеры расхода в лотке можно осуществлять измерительной вертушкой. Для обеспечения измерений необходим мостик в замерном створе лотка на высоте боковых стенок  $1,30$  м. Расход водослива можно контролировать объёмным или поплавковым способами, так как измеряемые им расходы воды небольшие.

После введения возможных поправок в расчетные формулы расходов (9) и (12) строительство завершается установкой самописцев уровней воды (СУВ) для лотка Вентури и треугольного водослива с тонкой стенкой.



Таблица 3  
Геометрические параметры треугольного водослива с тонкой стенкой

Параметр	Расчетная формула	Принятое значение, м
$p$	$p \geq 0,2$ м	0,2
$t$	$t \geq 0,1$ м	0,1
$\alpha$	по формуле (12)	90°
$L$	$L = 5 h_{\max}$	2,0
$B$	$B = 5 h_{\max}$	2,0
$l_2$	$b = 2 h_{\max}$	0,80
$l_1$	$l_1 = 3 h_{\max}$	1,20

Следует отметить, что в основу приведенных расчетов положены гидрологические данные, требующие уточнения, особенно для периодов половодья и паводков. В связи с этим после завершения строительства подводящего канала лотка необходимо его использование в качестве контрольного русла для уточнения уровней и расхода воды по водным фазам реки.

По сравнению с измерениями в естественном, необорудованном створе, контрольное русло обеспечивает следующие преимущества [5]:

- исключает измерения поперечного сечения русла и нахождение исполнителя непосредственно в водном потоке во время замеров гидрологической вертушкой;
- обеспечивает равномерность потока и минимизирует косоструйные течения, за счет чего повышается точность измерений;
- количество промерочных вертикалей для вертушки сокращается до 3-х;
- возможен переход от непосредственных замеров скорости водного потока к замерам только уровня воды.

Обоснование основных конструктивных размеров контрольного русла аналогично выбору параметров подводящего канала лотка. Профиль русла принимается прямоугольной формы для снижения объема строительных работ. Ширина русла  $B = 5$  м способствует снижению турбулентности потока по условию (1). Длина русла принимается равной  $L = 10$  м, исходя из корректного применения поплавкового метода

оценки расхода. Высота боковых стенок контрольного русла обуславливается высотой береговой линии в выбранном створе, и составляет 1,5 м с учетом её превышения на 0,5 м. Это превышение необходимо для исключения возможных заторов в половодье на измерительном мостике. Мостик располагается на расстоянии 8 м от входа потока в контрольное русло.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Наблюдаемые климатические изменения речного стока создают проблемы для сельскохозяйственной деятельности и промышленных предприятий. Для решения вопросов водопользования малыми реками необходимо уточнение их гидрологических характеристик. Для проведения этих исследований необходимо оснащение стокового поста на реке Белая гидрологическими измерительными сооружениями.

Результаты, полученные в данной работе, сводятся к следующему.

Обоснована комбинированная гидрологическая измерительная схема расхода воды на основе использования гидрологического лотка Вентури и треугольного тонкостенного водослива. Снижение объемов строительных работ достигается за счет установки водослива в горловине лотка.

Геометрические размеры водослива обеспечивают измерение минимальных расходов реки и общего диапазона расходов с лотком для более надёжной тарировки обоих расходомеров.

Строительные работы по реализации предложенной комбинированной измерительной схемы предусматриваются в два этапа. На первом этапе возводится подводящий канал лотка Вентури и используется в качестве контрольного русла для неавтоматизированных измерений расхода и уточнения всех исходных гидрологических характеристик принятых расходомеров. На втором этапе после возможной корректировки геометрических параметров завершается сооружение расходомеров и оснащение их самописцами уровня воды.

Дальнейшие исследования будут заключаться в анализе средств автоматизированного измерения уровня воды для решения задачи дистанционного контроля и накопления данных об уровне воды в рассмотренных расходомерах.

### Библиографический список

1. Гарцман, Б. И. Анализ геоморфологических условий формирования первичных водотоков на основе цифровых моделей рельефа [Текст] / Б. И. Гарцман // География и природные ресурсы. — 2013. — № 1. — С. 136–147.
2. Павлов, В. И. Анализ изменения составляющих водного баланса бассейна водосбора Исаковского водохранилища [Текст] / В. И. Павлов, Н. П. Кусайко, С. И. Кулакова // Экологический вестник Донбасса. — 2021. — № 2. — С. 73–81.
3. ГОСТ РФ МИ 2406–97. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков. [Текст]. — Введ. 1997-15-05. — М. : Изд-во стандартов, 1997. — 53 с.
4. Субботин, А. С. Гидрометрические сооружения [Текст] : учеб. Пособ. / А. С. Субботин. — Л. : Гидрометеиздат, 1989. — 255 с.
5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 6. Часть II. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках [Текст] : информационный материал : утв. Главным управлением гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР 04.06.1971. — Введ. 1971-04.06. — Л. : Гидрометеиздат, 1972. — 225 с.
6. РДП 99–77. Правила измерения расхода жидкости при помощи стандартных водосливов и лотков [Текст] : утв. Государственным комитетом стандартов Совета Министров СССР 07.06.1977. — Введ. 1978-01-01. — М. : Изд-во стандартов, 1978. — 52 с.
7. Изменения климата Луганщины и их прогнозирование. Основания для оптимизма [Текст] / И. Д. Соколов и др. — Луганск : ФЛП Пальчак А. В., 2017. — 200 с.

© Павлов В. И.  
 © Сергейчук О. В.  
 © Кусайко Н. П.

*Рекомендована к печати к.хим.н., зав. КМНИЛ НЦМОС ДонГТИ Смирновой И. В., начальником службы экологической безопасности и производственной санитарии управления охраны труда и промышленной безопасности Филиала № 1 «АМК» ООО «ЮГМК» Красноносом Н. Н.*

Статья поступила в редакцию 22.03.2022.

**Ph.D. Pavlov V. I., Sergeychuk O. V., Kusayko N. P. (DonSTI, Alchevsk, LPR, pavlow2005@rambler.ru)**  
**SUBSTANTIATION OF THE HYDROLOGICAL MEASURING SCHEME FOR WATER DISCHARGE IN THE BELAYA RIVER**

*During the period of global warming, the hydrological characteristics of small rivers change and it becomes necessary to monitor the small rivers flow. A combined hydrological measuring scheme of water flow based on using a hydrological Venturi flume and a triangular thin-walled spillway is substantiated, which ensures the measurement of the minimum flow rates and the total flow range by the spillway with a flume for more reliable calibration of both flow meters. A two-stage construction of a combined flow meter is proposed — at the first stage, the inlet channel of the Venturi flume is erected and used as a control channel for non-automated flow measurements, and at the second stage, after possible adjustment of the geometric dimensions of the flow meters, the construction and their equipping with water level recorders is completed.*

**Key words:** climate, warming, small rivers, flow, measurement, flow meters, flumes, weirs, combined scheme, construction work, volume minimization, construction stages, flume, supply channel, control channel, usage stages.