

КОШОЕВА Б. Б., МИХЕЕВА Н. И., ГОБА Т. Д.

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ**

Аннотация. Рассмотрены основные трудности учета расхода воды на горных реках. Проанализированы проблемы использования традиционных и особенности применения перспективных подходов определения расхода воды при построении автоматизированных гидропостов.

Ключевые слова: расход воды, площадь поперечного сечения, скорость потока, расход воды в горных реках, гидрологический пост.

KOSHOEVA B. B., MIKHEEVA N. I., GOBA T. D.

**METHODS FOR DETERMINING WATER CONSUMPTION
OF NATURAL OBJECTS IN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS**

Abstract. The main difficulties of accounting for water consumption on mountain rivers are considered. The problems of using traditional methods and features of applying promising approaches to determining water consumption in the construction of automated hydraulic posts are analyzed.

Key words: water flow rate, cross-sectional area, flow rate, water flow rate in mountain rivers, water metering on the channel.

Вода – это важный природный ресурс, обеспечивающий жизнь всей планете. Кыргызстан – горная страна в Центральной Азии, водные ресурсы которой представлены озерами и реками, которые полностью формируются на ее территории. Реки играют особую роль, являясь источником электрической энергии. Возрастающая потребность населения и хозяйственной деятельности в воде и энергии, увеличение их стоимости обуславливают необходимость осуществления мониторинга расхода речной воды.

Решение данной проблемы осложняется особенностями горных рек, которые характеризуются деформирующимися руслами, значительным твердым стоком (селеопасностью), сложными ледовыми явлениями, значительным межсезонным колебанием уровня воды [1]. В настоящее время измерения параметров водного потока производят практически вручную специально обученные работники (техники) методом «скорость-площадь» [2, 7]. Для этой цели в Кыргызстане организовано 69 гидропостов. Координацию их деятельности, научно-методическое руководство, а также обработку и анализ результатов измерения осуществляет Агентство по гидрометеорологии (КыргызГидромет) при МЧС Кыргызской республики.

Использование традиционных методов измерения и человеческий фактор обуславливают значительную трудоемкость и вносят существенную погрешность в результаты определения расхода воды. Снижение трудозатрат и уменьшение погрешности измерений можно обеспечить за счет автоматизации функционирования гидрологических комплексов. Создание автоматизированной системы мониторинга расхода речной воды, которая бы соответствовала всем необходимым требованиям, возможно на основе анализа существующих современных методов и средств определения расхода воды и оценки возможности их применения в условиях горных рек Кыргызстана.

Методологической основой определения расхода воды является метод «скорость-площадь» [2]. Для определения расхода методом «скорость-площадь» определяют такие элементы расхода как глубины (для определения площади поперечного сечения) и скорости течения в одной или нескольких точках каждой вертикали. Скорости на вертикалях измеряются гидрометрическим датчиком с пропеллером в пяти, трех, двух и одной точках в зависимости от величины рабочей глубины скоростной вертикали. Основным способом является пятиточечный (см. рисунок 1), при котором измеряют скорость на поверхности воды и на глубинах 0,2h, 0,6h, 0,8h от поверхности воды (h – максимальная глубина) и у дна [9].

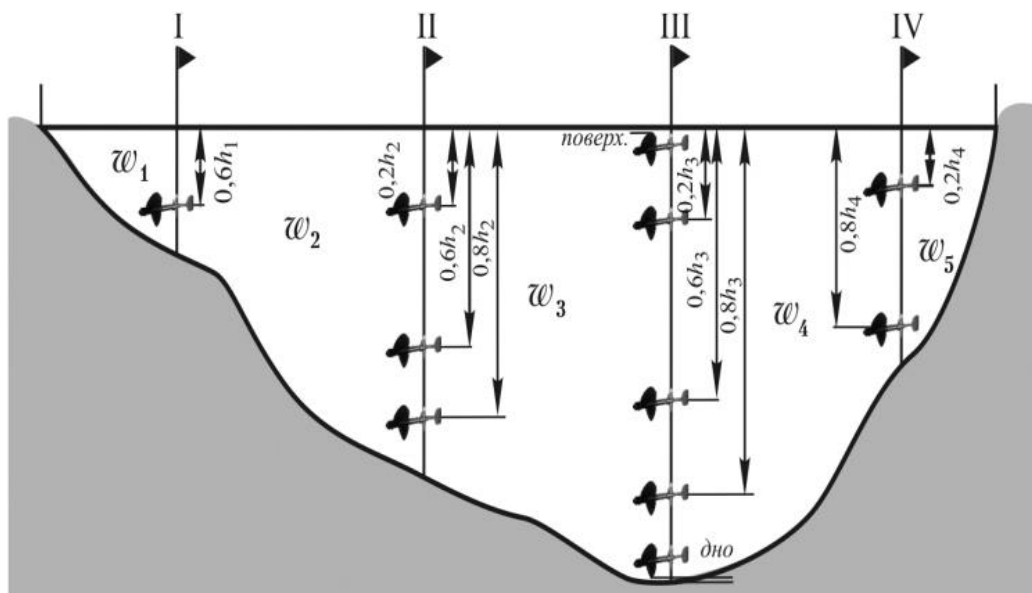


Рис. 1. Схема расположения точек на скоростных вертикалях гидрометрического створа

Расход воды при этом вычисляют по формуле:

$$Q = F * V,$$

где F – площадь поперечного сечения потока, V – скорость течения.

На рисунке 2 представлена функциональная модель-декомпозиция контекстной диаграммы расчета расхода воды.

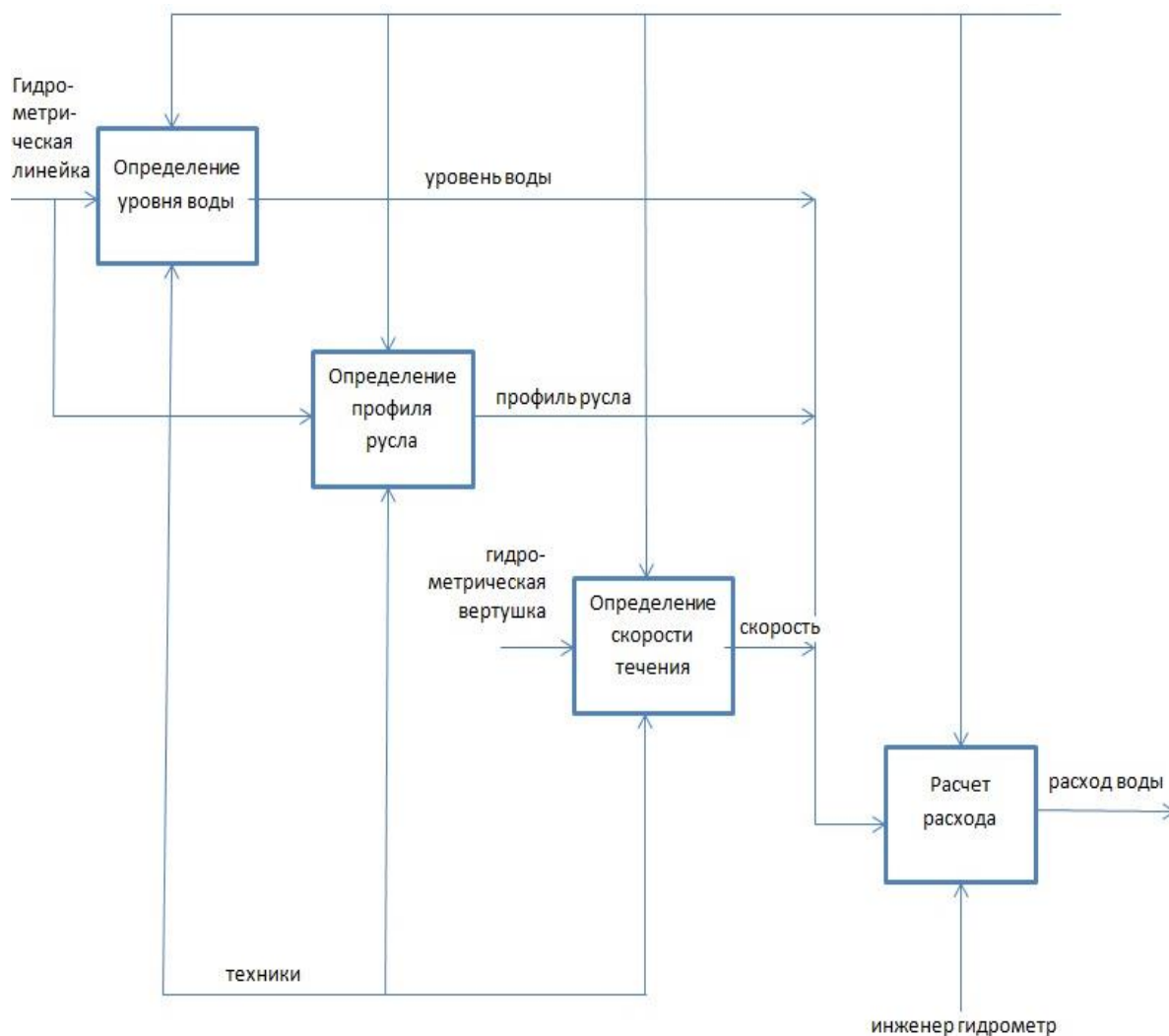


Рис. 2. Функциональная модель-декомпозиция контекстной диаграммы расчета расхода воды

Данный метод достаточно прост в использовании и сегодня является основным методом для определения расхода воды, но при его использовании на горных реках возникают некоторые трудности. Высокая скорость движения водного потока способствует изменению глубины реки в отдельных местах, что приводит к погрешностям при расчете расхода воды. На сегодняшний день гидропосты используют гидростатические и барботажные датчики уровнемеров, которые заносит песком. Работы в русле горной реки для очистки датчика опасны. В зоне формирования рек вблизи гидрологических постов отсутствуют мосты, развиты ледовые явления, деформация русел.

Развитие измерительной техники и информационных технологий способствует появлению новых методов мониторинга расхода воды на реках. Существуют различные

методики автоматизированного измерения как площади водного сечения, так и скорости течения воды. Для реализации данных методик используются разнообразные датчики поплавкового типа, а также датчики, основанные на радарном принципе использования ультразвука.

Автоматизированная система контроля уровня воды [10, 11], основанная на использовании датчика поплавкового типа, включает в себя следующие элементы: поплавковый датчик, модуль аналогового входа, логический контроллер, сетевой шлюз и блок питания. Блок питания подает постоянное напряжение на программируемый логический контроллер (ПЛК110), к аналоговым входам которого подключен поплавковый датчик. Отсчеты уровня воды можно выводить на персональный компьютер, подключенный к контроллеру через кабель связи. Для удаленного доступа необходимо подключить контроллер к облачному сервису (Owencloud) через сетевой шлюз. При этом мониторинг уровня воды можно вести в режиме реального времени. Поплавковый датчик необходимо устанавливать в специальном успокоительном колодце [10, 11].

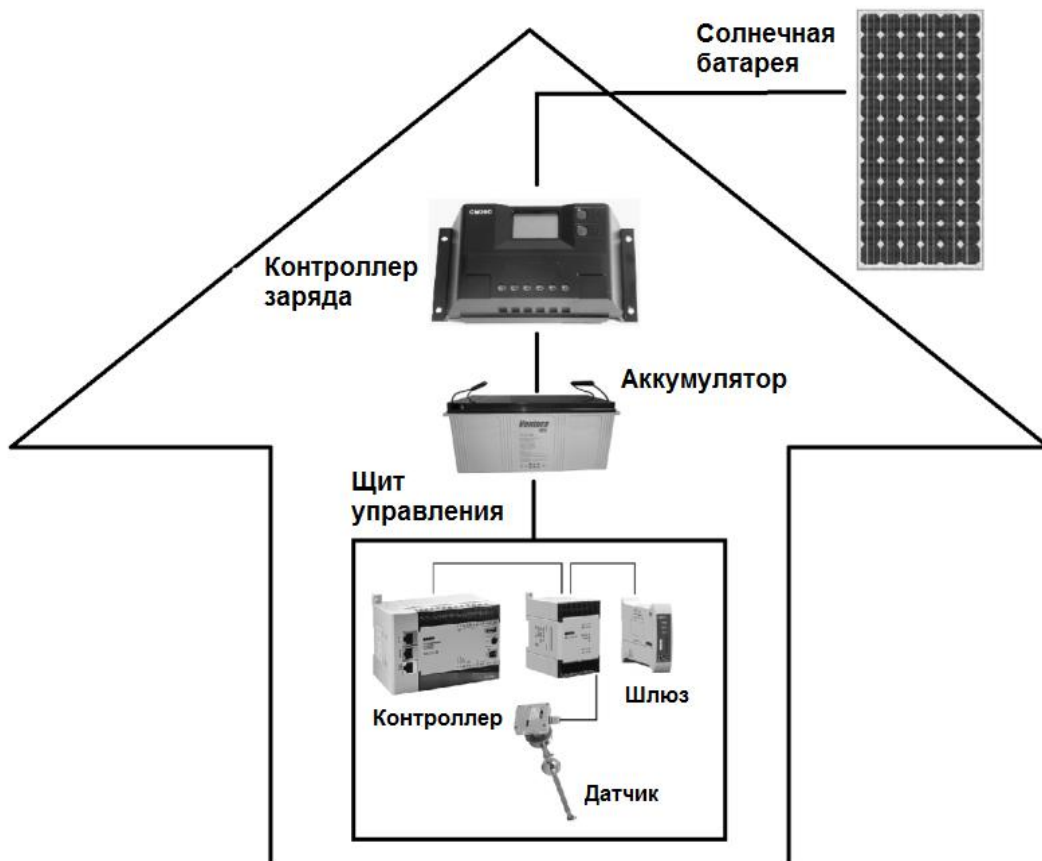


Рис.3. Структура оборудования гидропоста при использовании датчика поплавкового типа

Особый интерес представляет использование аэрогидрометрического, магнитоиндукционного и ультразвукового методов.

Аэрогидрометрический метод (аэроизмерения) включает операции по маркировке водной поверхности (сбросу поплавков) и аэрофотосъемке двух последовательных положений поплавков через заданные промежутки времени [3]. Преимущества данного метода заключается в применении его в местах бурного течения рек, где использование других методов невозможно. Метод является дорогостоящим.

Магнитоиндукционный метод основан на эффекте возникновения электродвижущей силы в потоке воды, протекающей в магнитном поле, которое создается искусственно посредством уложенных на дно витков кабеля, как показано на рисунке 4 [3].

Средняя скорость течения пропорциональна разности потенциалов на концах измерительной цепи

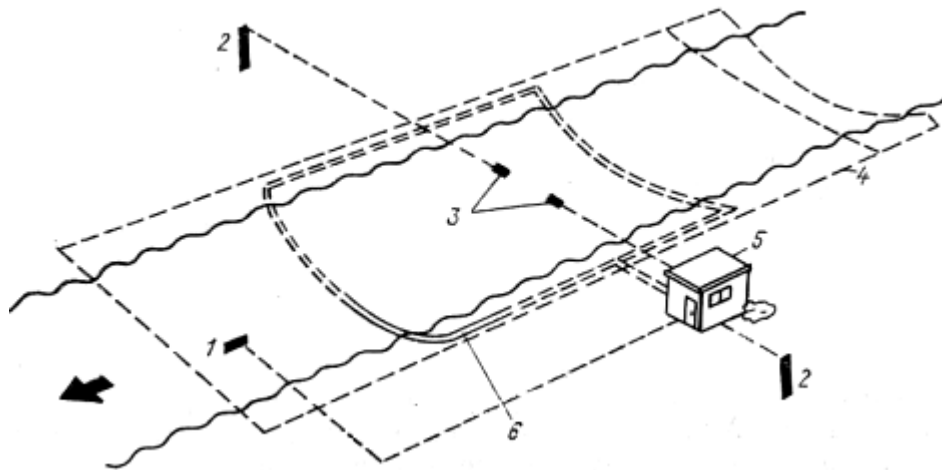
$$V = E/\varphi LH,$$

где φ – константа, зависящая от проводимости воды, грунтов дна и характеристик электромагнитного контура (определяется посредством градуировочных экспериментов); L – ширина реки; H – напряженность поля.

Для определения расхода воды служит формула:

$$Q = Eh/\varphi H,$$

где h – средняя глубина потока.



- 1 – ячейка для измерения проводимости воды,
- 2 – измеритель проводимости дна,
- 3 – сигнальные зонды,
- 4 – кабель для передачи сигналов,
- 5 – павильон для хранения оборудования,
- 6 – катушка, создающая магнитное поле

Рис. 4. Комплекс для определения расхода воды методом электромагнитной индукции

К достоинствам данного метода относят его универсальность, возможность применения в любых токопроводящих жидкостях, высокая точность и стабильность измерений. Последнее осуществимо только при отсутствии сильных электромагнитных помех.

В случае применения ультразвукового метода [3] производится ультразвуковое сканирование скорости перемещения поверхностного слоя, при этом зависимость формула уравнения расхода имеет вид:

$$Q = k_B V_1 F_2 \sin\alpha,$$

где F_2 – площадь водного сечения в плоскости ультразвукового зондирования; k_B – коэффициент перехода от осредненной по ширине потока поверхностной скорости течения к средней, V_1 – измеренная скорость; $\sin\alpha$ – поправка на величину угла, на который отклонен датчик [3].

Система измерений представляет комплекс, состоящий из стационарных датчиков радарного типа для измерения уровня поверхностных вод и скорости водного потока. Система измерений предназначена для выполнения гидрометрических работ на водотоках бесконтактным ультразвуковым способом в реальном масштабе времени. Определение скорости водного потока основано на доплеровском принципе смещения частот, когда на подаче короткого ультразвукового импульса (сигнала) фиксированной частоты в воду отражатели (частицы), имеющиеся в воде, возвращают сигнал к датчику системы. Отраженный импульс имеет сдвиг в частоте, пропорциональный скорости потока. Система рассчитана на установку и проведение измерений с использованием гидротехнических сооружений (мостов, переправ и др.) на водных объектах. Вариант установки системы без защитного кожуха представлен на рисунке 5 [4].



Рис. 5. Установка системы измерения на конструкциях моста

Радарный уровнемер для обеспечения измерений при высоких уровнях воды должен быть закреплен над поверхностью воды на высоте на 0,5 м выше ее максимального исторического уровня. Для обеспечения надежности прихода сигнала на рупорную антенну, ось антенны должна быть направлена перпендикулярно плоскости водного потока посредством специального крепления рупорной антенны, имеющего две степени свободы [8].

Преимущества ультразвукового метода – это измерение потока, как в прямом, так и в обратном направлениях, простота монтажа (не требуется организация дополнительных колодцев и измерительных камер). Недостатком является необходимость периодической очистки датчиков [5]. В условиях измерения параметров водного потока на горных реках, которые характеризуются турбулентным режимом движения воды, неровностью и быстро меняющейся поверхностью, точность измерений существенно снижается. Также существует необходимость учета имеющихся технических условий на объекте измерения и продумывания мероприятий по обслуживанию и эксплуатации средств измерения [6].

Современный уровень развития техники позволяет поднимать вопросы о повышении оперативности предоставления потребителям качественной гидрологической информации. В условиях внедрения новых цифровых средств измерений встает вопрос о корректировке стандартов, регламентирующих данные работы.

Адекватный выбор датчиков, метода и аппаратуры для мониторинга расхода воды в горных реках требует проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований с учетом законов речной гидравлики. На основе математического моделирования совокупности измеряемых параметров (уровня и скорости течения воды, ее расхода, ширины реки и профиля ее русла, наличия взвешенных частиц и характера наносов и др.) целесообразно выявлять параметр-критерий величины расхода, который можно было бы непрерывно измерять, используя радарный принцип построения датчика. Такое техническое решение может обеспечить высокую надежность и эффективность аппаратуры для мониторинга расхода воды горной реки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт департамента водного хозяйства и мелиорации КР. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.water.kg/index.php/ru/o-departamente/vodnye-resursy-i-vodokhozyajstvennaya-infrastruktura-kyrgyzstana> (дата обращения: 03.09.2020).

2. Методические указания ГСИ. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость-площадь». МИ 1759–87–М. : Издательство стандартов, 1987. – 15 с.
3. Масумов Р. Р. Методы измерения расхода воды на реках и каналах, в напорных трубопроводах насосных станций и оросительных систем. – Ташкент, 2015. – 149 с.
4. СТО ГГИ 52.08.36-2013. Стационарные автоматизированные гидрологические комплексы. Способы размещения и установки. СПб. : Арт-Экспресс, 2013. – 54 с.
5. Методы определения расхода воды в напорных и безнапорных потоках [Электронный ресурс]. URL: https://linedrive.ru/decisions/technologies /measure_method/water_flow_measure (дата обращения: 03.09.2020).
6. Малахова Ю. Г. Метрологическое обеспечение технологических процессов и производств [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sibsau.ru/sveden/edufiles /47486> (дата обращения: 03.09.2020).
7. ГОСТ 25 855-83. Уровень и расход поверхностных вод. Общие требования к измерению. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1983. – 32 с.
8. Высоцкий Д. В. Методика измерений уровня воды в водоемах и водотоках автоматизированными гидрологическими комплексами [Электронный ресурс]. URL: http://www.hydrology.ru/sites/default/files/Books/rd_52.08.869-2017.pdf (дата обращения 03.09.2020)
9. Фролова Г. П. Методические указания [Электронный ресурс]. URL: <http://lib.krsu.edu.kg/uploads/files/public/4175.pdf> (дата обращения 03.09.2020)
10. Кошоева Б.Б., Мамбетисаев С.Н., Текебаев Н. Разработка системы автоматизации измерения уровня воды на гидрологическом посту с возможностью мониторинга данных в облачном сервисе // Огарев-online, 2018. – № 13. [Электронный ресурс]. URL: <http://journal.mrsu.ru> (дата обращения 12.10.2020)
11. Кошоева Б.Б., Мамбетисаев С.Н. Проектирование системы автоматизации для измерения уровня воды и отправки данных по стандарту GSM // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии, 2018. – № 1 (8). – С. 142–146.