

УДК 504.4.062.2

*Н.И. МИХЕЕВА, Г.Ш. ЖУНУШОВА, Б.Б. КОШОЕВА, С.Н. МАМБЕТИСАЕВ*

## **К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ РАСХОДА ВОДЫ В ГОРНЫХ РЕКАХ КЫРГЫЗСТАНА**

Приводятся характеристики водных ресурсов Кыргызстана и их значимости для стран Центральной Азии. Описана государственная служба наблюдения за состоянием рек, представлены основные параметры и существующие способы их измерения. Приводятся результаты ежедневных наблюдений расхода воды реки Аламедин в течение года. Изложены результаты разработки автоматизированной системы контроля уровня воды и формирования соответствующей базы данных. Обоснованы сложность применения существующих систем для автоматизации контроля расхода воды в горных реках и необходимость проведения дальнейших экспериментальных и теоретических исследований для решения данной проблемы.

**Ключевые слова:** гидрологический пост, расход воды в горных реках, гидрограф, мониторинг водных ресурсов, сеть автоматизированных гидропостов.

### **Введение**

В настоящее время вода становится все более важным стратегическим фактором, обеспечивающим хозяйственную деятельность и жизнеобеспечение населения любой страны.

Кыргызстан - единственная страна в Центральной Азии, водные ресурсы которой, представленные горными реками, полностью формируются на собственной территории. В этом состоит ее гидрологическая особенность и преимущество. Эти реки являются источником жизни, а также электрической энергии. Гидроэнергетический потенциал горных рек Кыргызстана составляет около 174 млрд. кВт\*час, а мощность – 19.8 млн. кВт. Огромные запасы воды сосредоточены в 6580 ледниках, объем которых составляют около 760 млрд. м<sup>3</sup> [1].

Водные ресурсы страны играют важную роль в обеспечении экологической и экономической стабильности всего региона Центральной Азии. Общий годовой объем стока рек Кыргызстана составляет 47-52 куб. км. Воды, формирующиеся на территории Кыргызстана, поставляются в Узбекистан, Казахстан, Таджикистан и Китай [2].

Возрастающая потребность населения и его хозяйственной деятельности в воде, увеличение ее стоимости обуславливают необходимость осуществления мониторинга расхода воды у ее источника, а также в процессе потребления. И если методика автоматизированного измерения расхода потребляемой воды в основном методически отработана и технически оснащена на современном уровне, то проблема автоматизации учета расхода воды в реках Кыргызстана практически не решена, что обусловлено сложными природно-климатическими условиями.

Большая часть стока рек Кыргызстана формируется в горах, получая основную часть питания за счет таяния ледников и снежников, в меньшей степени – от атмосферных осадков и подземных вод. Режимы рек определяются высотным положением водосборов, их ориентацией, степенью увлажнения, временем года. Бурный характер течения воды, особенно в верховьях реки, изменчивость положения русла и его характеристик, существенное изменение величины стока в течение года – все это затрудняет применение автоматизированных технологий мониторинга параметров горных рек.

На данный момент в Кыргызстане насчитывается 69 гидропостов (рис. 1). Координацию их деятельности, научно-методическое руководство, а также обработку и анализ результатов измерения осуществляет Агентство по гидрометеорологии (КыргызГидромет) при МЧС Кыргызской республики.

Основные виды наблюдений и работ на гидропостах производятся практически вручную в соответствии со стандартами [3, 4]. Согласно [3], уровень воды измеряется с помощью водомерной рейки, установленной в успокоительном колодце. Стандарт [4] регламентирует методики измерений расхода воды на реках и каналах методом «скорость-площадь». При этом оговариваются требования к расположению гидроствора и его оборудованию. Результат измерения расхода получается косвенным путем с использованием прямых измерений уровня водомерной рейкой, глубины гидрометрической штангой с последующим расчетом площади водного сечения, а скорость течения определяется с применением гидрометрических вертушек. В стандартах оговариваются

требования к предельно допустимой погрешности, а также периодичности измерений в различных конкретных ситуациях.

В соответствии с ужесточившимися требованиями к точности и оперативности получения данных о характеристиках горных рек возникает настоятельная необходимость в существенной модернизации состояния и технической вооруженности гидропостов, а в перспективе – создания автоматизированной сети для круглосуточного мониторинга водного хозяйства Кыргызстана.

В 2018 году в Кыргызском государственном техническом университете (КГТУ) имени И. Раззакова совместно с Агентством по гидрометеорологии начаты работы по созданию сети автоматизированных гидропостов для решения следующих задач: 1) быстрого оповещения о разливах горных рек и горных озер, призванного заполнить недостающую нишу краткосрочного оперативного прогнозирования опасных гидрологических явлений; 2) повышения точности учета расхода и стока речной воды с целью оптимизации ее использования в народном хозяйстве.



Рис. 1. Карта расположения гидропостов на территории Кыргызской Республики

К настоящему времени спроектирована часть системы, позволяющая автоматизировать измерение уровня воды с использованием успокоительного колодца. Значения величины уровня воды и момента времени его измерения будут помещаться в базу данных в облачном сервисе, которая будет экспортироваться по GSM в КыргызГидромет для обработки и анализа с использованием EXCEL [5].

Система сконструирована из продукции компании ОВЕН, основные компоненты – поплавковый датчик, модуль аналогового входа, логический контроллер, GSM/GPRS модем, аккумулятор и солнечная батарея (рис. 2).

Это позволит оперативно реагировать на стремительное повышение уровня воды, проводить эффективный мониторинг опасных гидрологических явлений, а также осуществлять долго- и среднесрочные прогнозы и реализовывать прикладные решения на их основе.

За основу системы автоматизированного мониторинга расхода воды принят в соответствии со стандартом [4] метод «скорость-площадь». Данный метод, производимый вручную, отличается существенной трудоемкостью, как в процессе измерения, так и при обработке его результатов.

К настоящему времени разработаны ряд методик автоматизированного измерения, как площади водного сечения, так и скорости течения воды [6]. На рынке предлагаются различные датчи-

ки для измерения скорости течения, уровня воды и профиля русла, основанные на радарном принципе использования ультразвука, а также технические средства для обработки сигналов датчиков [7]. Приводятся примеры использования некоторых систем, в частности, в [8]. К сожалению, в большинстве публикаций не содержатся обоснования разработок, а также анализ их точности и эффективности. Приведенные решения используются в основном в условиях равнинных рек. Поэтому описанные системы не могут быть безоговорочно применены в условиях Кыргызстана.

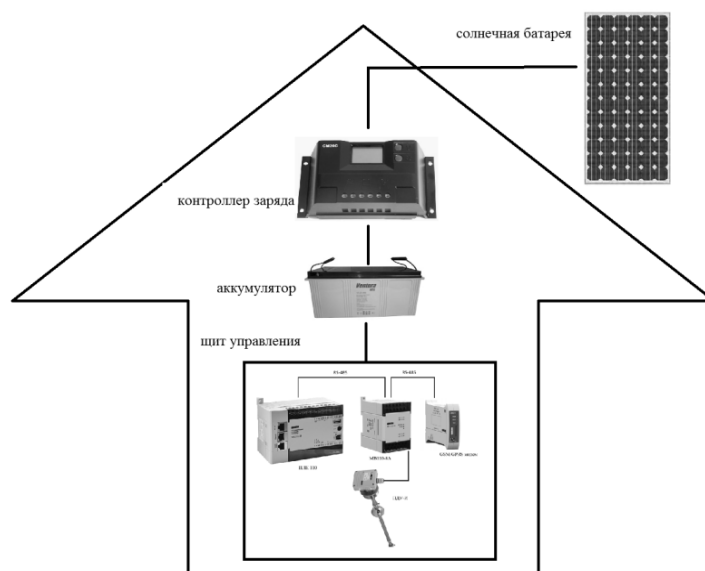


Рис. 2. Система для автоматизированного мониторинга уровня воды

Выбор и обоснование методов и средств мониторинга расхода горных рек Кыргызстана связаны с определенными существенными особенностями. Так, параметры русла горных рек [9] подвержены с течением времени значительным и быстрым изменениям, а измерения скорости воды в условиях быстрого течения и существенной турбулентности характеризуются значительными трудностями. Поэтому с целью выбора адекватных методов и средств мониторинга параметров горного потока необходимы объективные данные о значениях этих параметров, полученных экспериментально в течение длительного времени. Такой эксперимент был проведен на примере реки Аламедин, как типичного представителя горных рек Кыргызстана.

Аламедин – река в *Аламудунском районе*, левый приток реки *Чу*. Длина — 78 км, площадь бассейна – 317 км<sup>2</sup>, средний расход воды – 6.36 м<sup>3</sup>/с, максимальный – 300 м<sup>3</sup>/с, минимальный – 0.74 м<sup>3</sup>/с.

Река берёт начало с ледника Аламедин в районе северного склона *Киргизского Ала-Тоо*. Имеет 33 притока, самый крупный из них – Чункурчак (19 км). Половодье летом (май-сентябрь), межень – зимой. Воды реки широко используются для орошения.

Измерения расхода воды реки Аламедин (рис. 3) производились ежедневно сотрудниками Кыргызгидромет на гидропосте около устья реки Чункурчак методом, основанным на требованиях стандарта [4], в течение года с 05.01.2017 по 26.01.2018. Результаты измерений представлены на рисунке 4.

Видно (рис. 3), что течение горной реки – это бурный поток, для которого характерен турбулентный режим движения воды. При этом движение частиц воды имеет хаотический характер, в потоке формируются вихри и активизируются процессы перемешивания воды, скорости течения непрерывно изменяются по величине и направлению. Взвешенные частицы различного состава могут повреждать погруженную аппаратуру, образуют быстро изменяющиеся наносы, формирующие профиль русла реки. Неровный и быстро меняющийся характер поверхности затрудняет измерение уровня воды [10].

Величина расхода (рис. 4) изменяется в течение года в широких пределах – от значения порядка 2.5 м<sup>3</sup>/с в межень до 22 м<sup>3</sup>/с в половодье, то есть почти на порядок.



Рис. 3. Река Аламедин

При этом в период половодья увеличение расхода может быстро смениться значительным снижением, и наоборот, причем эти изменения носят случайный характер. Все это может существенно снижать точность измерений и даже приводить к отказу системы, что потребует частого ремонта, дополнительной периодической настройки и калибровки аппаратуры.



Рис. 4. Гидрограф реки Аламедин за 2017 год

Приведенные результаты показывают, что адекватный выбор датчиков, метода и аппаратуры для мониторинга расхода горной реки требует проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований с учетом законов речной гидравлики [10, 11]. 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 выявить параметр-критерий величины расхода, который можно было бы непрерывно измерять, используя радарный принцип построения датчика. Такое техническое решение может обеспечить высокие надежность и эффективность аппаратуры для мониторинга расхода воды горной реки.

Современный уровень развития науки, техники, технологий, обуславливает потребность в повышении оперативности предоставления потребителям качественной гидрологической информации. Гидрометрические работы стандартизированы. В связи с необходимостью модернизации гидрометрических работ перед Кыргызгидрометом встают задачи, требующие научно-методических и инженерных решений. В условиях внедрения новых цифровых средств измерений встает вопрос о корректировке стандартов, регламентирующих данные работы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Официальный сайт департамента водного хозяйства и мелиорации КР // URL: <http://www.water.kg/index.php/ru/o-departamente/vodnye-resursy-i-vodokhozajstvennaya-infrastruktura-kyrgyzstana>.
2. Итибаев З.С. Прогнозирование, предупреждение и их использование в управлении деятельностью по уменьшению опасности бедствий // URL: <http://www.wmo.int/pages/prog/hwtrp/flood/ffgs/carffg/documents/presentations/turkey/day1/Kirg-turkey-opt.pdf>
3. ГОСТ 25 855-83. Уровень и расход поверхностных вод. Общие требования к измерению. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1983.
4. Методические указания ГСИ. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость-площадь». МИ 1759 – 87. М.: Издательство стандартов, 1987.
5. 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.
6. СТО ГГИ 52.08.36-2013. Стационарные автоматизированные гидрологические комплексы. Способы размещения и установки. СПб: Арт-Экспресс, 2013.
7. Масумов Р.Р. Методы измерения расхода воды на реках и каналах, в напорных трубопроводах насосных станций и оросительных систем. Ташкент. 2015. 149 с.
8. Хамидов В. Гидрологический мониторинг на реке Пяндж и прогресс модернизации наблюдательной сети. Агентство по Гидрометеорологии РТ. Душанбе. 2015.
9. Крошкин А.Н. Некоторые особенности участков русел горных рек Киргизии. Автореферат кандидатской диссертации. Ташкент. 1962.
10. Караушев А.В. Речная гидравлика. Ленинград: Гидрометеоздат, 1969. 414 с.
11. Спицын И.П., Соколова В.А. Общая и речная гидравлика. Ленинград: Гидрометеоздат, 1990. 358 с.

**Михеева Наталья Ивановна**

Канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматическое управление», Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова 720044, Кыргызстан, г. Бишкек, Айтматова пр-т, д. 66, Тел.: +996-550-603-676 Эл. почта: [mihnata@mail.ru](mailto:mihnata@mail.ru)

**Жунушова Гульнара Шералиевна**

Заведующая отделом «Гидрология», Агентство по гидрометеорологии (КыргызГидромет) при МЧС Кыргызской республики 720017, Кыргызстан, г. Бишкек, ул. Керимбекова 1, Тел.: +996-777-900-408 Эл. почта: [hydro@meteo.kg](mailto:hydro@meteo.kg)

**Кошоева Бибигуль Бейшенбековна**

Канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Телематика», Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова 720044, Кыргызстан, г. Бишкек, Айтматова пр-т, д. 66, Тел.: +996-551-779-422 Эл. почта: [bibigul200472@mail.ru](mailto:bibigul200472@mail.ru)

**Мамбетисаев Санжар Нурланович**

Магистр, преподаватель, кафедры «Телематика», Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова 720044, Кыргызстан, г. Бишкек, Айтматова пр-т, д. 66, Тел.: +996-779-183-013 Эл. почта: [sanjar\\_n@mail.ru](mailto:sanjar_n@mail.ru)

*N.I. MIKHEEVA, G.SH. ZHUNUSHOVA, B.B. KOSHOEVA, S.N. MAMBETISAEV*

**TO THE QUESTION OF THE AUTOMATION OF THE CONTROL OF THE WATER FLOW DISCHARGE IN THE MOUNTAIN RIVERS OF KYRGYZSTAN**

The characteristics of water resources of Kyrgyzstan and their significance for the countries of Central Asia are given. The state service of monitoring the state of rivers is described, the main parameters and the existing methods for their measurement are presented. The results of daily observations of the flow of water of the Alamedin River during the year are given. The results of the development of an automated water level control system and the formation of an appropriate database are presented. The complexity of the use of existing systems to automate the control of water flow in mountain rivers and the need for further experimental and theoretical studies to solve this problem are substantiated.

**Keywords:** *hydrological post, water flow in mountain rivers, hydrograph, monitoring of water resources, network of automated gauging stations.*

## REFERENCES

1. The official website of the Department of Water Management and Land Reclamation of the Kyrgyz Republic. URL: <http://www.water.kg/index.php/ru/o-departamente/vodnye-resursy-i-vodokhozyajstvennaya-infrastruktura-kyrgyzstana> (in Russian).
2. Itibayev Z.S. Forecasting, warning and their use in disaster risk management. URL: <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/flood/ffgs/carffg/documents/presentations/turkey/day1/Kirg-turkey-opt.pdf> (in Russian).
3. GOST 25 855-83. The level and flow of surface water. General requirements for measurement. Moscow. USSR State Committee on Standards. 1983 (in Russian).
4. Guidelines GSI. Water flow on rivers and canals. The method of measurement using the speed-area method. MI 1759 – 87. Moscow. Publishing house of standards. 1987 (in Russian).
5. Koshoeva B.B., Mambetisayev S.N. Designing an automation system for measuring the water level and sending data according to the GSM standard. *High Performance Computing Systems and Technologies*. 2018. No. 1 (8). P. 142-146 (in Russian).
6. STO GGI 52.08.36-2013. Stationary automated hydrological complexes. Ways of placement and installation. *St. Petersburg. Art-Express*. 2013 (in Russian).
7. Masumov R.R. Methods for measuring water flow in rivers and canals, in pressure pipelines of pumping stations and irrigation systems. *Tashkent*. 2015. 149 p. (in Russian).
8. Khamidov V. Hydrological monitoring on the Pyanj River and the progress of modernization of the observation network. Agency for Hydrometeorology RT. *Dushanbe*. 2015 (in Russian).
9. Kroshkin A.N. Some features of the sections of the channels of the mountain rivers of Kyrgyzstan. *Abstract of a PhD thesis. Tashkent*. 1962 (in Russian).
10. Karashev A.V. River hydraulics. *Leningrad. Publisher "Gidrometeoizdat"*. 1969. 414 p. (in Russian).
11. Spitsyn I.P., Sokolov V.A. General and river hydraulics. *Publisher "Gidrometeoizdat"*. 1990. 358 p. (in Russian).

**Nataly I. Mikheeva**

PhD of Technical Sciences, Associate Professor  
of Department "Automatic control",  
Razzakov Kyrgyz State Technical University,  
66, Aitmatovav, Bishkek, Kyrgyz Republic, 720044  
Phone: +996-550-603-676  
E-mail: mihnata@mail.ru

**Gulnara Sh. Zhunushova**

Head of Department "Hydrology",  
Agency on Hydrometeorology (KyrgyzHydromet) under the Ministry  
of Emergency Situations of the Kyrgyz Republic  
1, Kerimbekovastr., Bishkek, Kyrgyz Republic, 720017  
Phone: +996-777-900-408  
E-mail: hydro@meteo.kg

**Bibigul B. Koshoeva**

PhD of Technical Sciences, Associate Professor,  
Head of Department "Telematics",  
Razzakov Kyrgyz State Technical University,  
66, Aitmatovav, Bishkek, Kyrgyz Republic, 720044  
Phone: +996-551-779-422  
E-mail: bibigul200472@mail.ru

**Sanjar N. Mambetisaev**

Master, lecturer of Department "Telematics",  
Razzakov Kyrgyz State Technical University,  
66, Aitmatov av, Bishkek, Kyrgyz Republic, 720044  
Phone: +996-779-183-013  
E-mail: sanjar\_n@mail.ru