

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

---

№ 3 (2025)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и  
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

---

<https://doi.org/10.48081/TPDW7598>

**Бас редакторы – главный редактор**

Талипов О. М.

*доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)*

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

|                  |                                                 |
|------------------|-------------------------------------------------|
| Клецель М. Я.,   | <i>д.т.н., профессор</i>                        |
| Никифоров А. С., | <i>д.т.н., профессор</i>                        |
| Новожилов А. Н., | <i>д.т.н., профессор</i>                        |
| Никитин К. И.,   | <i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i> |
| Алиферов А. И.,  | <i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i> |
| Кошеков К. Т.,   | <i>д.т.н., профессор</i>                        |
| Приходько Е. В., | <i>к.т.н., профессор</i>                        |
| Кислов А. П.,    | <i>к.т.н., доцент</i>                           |
| Нефтисов А. В.,  | <i>доктор PhD</i>                               |
|                  | <i>технический редактор</i>                     |

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/WAOW1921>

**А. В. Нефтисов<sup>1</sup>, \*Л. Н. Кириченко<sup>2</sup>, И. М. Казамбаев<sup>3</sup>,  
Е. В. Командиров<sup>4</sup>, Е. А. Белощицкий<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Academy of Physical Education and Mass Sports,  
Республика Казахстан, г. Астана;

<sup>2,3,5</sup>TOO Astana IT University, Республика Казахстан, г. Астана;

<sup>4</sup>TOO Атриум Строй Инвест, Республика Казахстан, г. Павлодар.

<sup>1</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4079-2025>

<sup>2</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7069-5395>

<sup>3</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0850-7490>

<sup>4</sup>ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3549-8393>

<sup>5</sup>ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9285-3145>

\*e-mail: [lalita17021996@gmail.com](mailto:lalita17021996@gmail.com)

## **КОНЦЕПТ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ В РЕКАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ КРОСС-КОРРЕЛЯЦИОННОГО МЕТОДА**

*В данной статье представлен концепт аппаратно-программного комплекса для непрерывного измерения потока в открытых каналах, использующего ультразвуковые доплеровские сенсоры и метод анализа по взаимной корреляции. Решение разработано для повышения точности измерений уже установленных на реке Талас датчиков измерения расхода, использующих эффект Доплера. Для оценки точности измерения произведены экспериментальные замеры с помощью стационарных доплеровских расходомеров и гидрометрических вертушек ГМЦМ-1, которые показали необходимость разработки и внедрения метода взаимной корреляции. Предложенный концепт включает в себя математическое моделирование, адаптированное к размерам и гидравлическим условиям реки, что позволяет оценить среднюю горизонтальную скорость и объемный расход с заметным снижением неопределенности по сравнению с традиционными методами. Архитектура прототипа реализована на платформе Raspberry Pi 4, интегрированной с модулями преобразования и ультразвуковыми датчиками на 40 кГц,*

*что позволяет осуществлять сбор и обработку данных в реальном времени. Полученные данные обрабатываются для более точного расчета средней скорости потока и расхода, предлагая эффективный, точный и адаптируемый инструмент для гидрологического мониторинга и устойчивого управления водными ресурсами.*

*Ключевые слова: кросс-корреляционный метод, доплеровские датчики, измерение, расход, открытые потоки.*

## **Введение**

Надежное количественное определение расхода воды в открытых каналах имеет важное значение для обеспечения устойчивого управления водными ресурсами. Для измерения уровня и последующего расчета расхода на многих гидро измерительных постах в Казахстане используются линейные уровнемеры [1], которые являются наиболее простым и недорогим решением для измерения уровня воды. Основным недостатком данного метода является ограниченная точность и высокая погрешность измерения [2; 3]. Другим методом является измерение с помощью поплавковых уровнемеров [4], которые работают на основе вертикального перемещения поплавка, соединенного с датчиком положения. Такие датчики измеряют лишь уровень, что не дает точных данных о количестве воды в русле реки [5]. Более точным методом являются радарные уровнемеры [6; 7], которые используют радиоволны для определения расстояния до поверхности воды. Такие уровнемеры используют бесконтактный способ измерения, при котором уменьшается износ и загрязнение чувствительных элементов датчика, однако имеют высокую стоимость [8]. Также для некоторых моделей необходимо повышенное энергопитание, что создает дополнительные трудности для осуществления измерения и мониторинга в удаленных от населенных пунктов местах. Пьезорезистивные и пьезометрические датчики имеют довольно высокую точность, однако требуют частой поверки и калибровки [9; 10]. Другим бесконтактным видом сенсоров являются оптические расходомеры [11], которые используют принцип измерения времени возврата светового или лазерного луча, отраженного от поверхности воды. Однако данный вид датчиков является одним из наиболее дорогостоящих. Ультразвуковые датчики являются популярным и относительно недорогим решением для измерения расхода воды в открытых руслах рек. Одноканальные ультразвуковые уровнемеры [12; 13] имеют простую конструкцию и принцип измерения. Один ультразвуковой импульс отправляет вертикально вниз. Датчик обнаруживает отраженное эхо и вычисляет расстояние на основе времени, необходимого сигналу для прохождения до воды и возврата к преобразователю. Основным недостатком является то, что данный вид

датчиков требует чистой воды без загрязнений, волн и других помех, что невозможно обеспечить при измерении воды в реках. Ультразвуковые расходомеры по времени прохождения сигнала [14; 15] принцип измерения разности времени прохождения импульса в прямом и обратном направлениях. Однако, при наличии пузырей, взвесей, что естественно для потока естественных рек, снижается точности измерения. Также необходим стабильный ламинарный поток. В отличие от ультразвуковых расходомеров по времени прохождению сигнала датчики, работающие по принципу Доплера [16; 17], позволяют проводить измерения при наличии взвесей, пузырьков воздуха и других нарушений потока. Принцип действия основан на определении скорости воды путем измерения сдвига частоты ультразвукового сигнала, отраженного движущимися частицами в потоке. Таким образом доплеровские ультразвуковые расходомеры хорошо подходят для проведения измерений в открытых потоках рек.

Целью данного исследования является разработка аппаратно-программного комплекса для определения расхода воды в открытом канале, основанного на доплеровском методе с применением кросс-корреляционного подхода для повышения точности измерений.

Задачи:

1 Анализ работы измерительных устройств на основе доплеровского эффекта для измерения скорости течения в открытых водных потоках.

2 Разработка математической модели измерения расхода воды на открытых каналах с применением доплеровского эффекта и кросс-корреляционного метода.

3 Разработка концепта аппаратно-программного комплекса для измерения расхода воды, включающего доплеровские сенсоры, цифровую обработку сигналов с использованием кросс-корреляционного метода.

### **Материалы и методы**

Метод Доплера основан на применении акустического эффекта Доплера (рисунок 1). Принцип работы доплеровских расходомеров заключается в излучении ультразвукового луча, частотой  $f_0$ , от преобразователя, ориентированного под заданным углом  $\theta$  к направлению потока. Частицы, переносимые жидкостью, частично отражают этот акустический сигнал.

В результате относительного движения между датчиком и частицами отраженный сигнал имеет измененную частоту  $f_r$ . Система расходомера рассчитывает разницу частот:

$$\Delta f = f_r - f_0. \quad (1)$$

Используя разность частот (1) рассчитывается скорость потока.

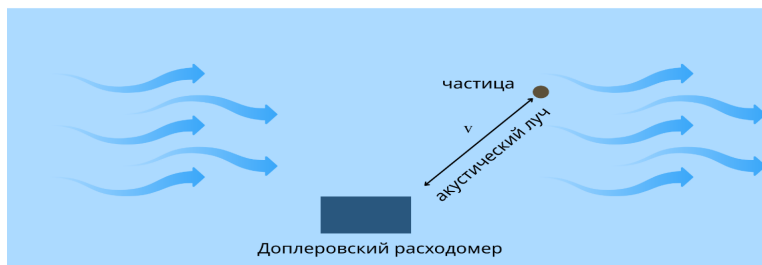


Рисунок 1 – Принцип работы Доплеровского расходомера

$$v = \frac{\Delta f \cdot c}{2 f_0 \cos \theta}, \quad (2)$$

где  $v$  – скорость потока,

$\Delta f$  – разность между отраженной частотой и излучаемой частотой,

$c$  – скорость акустического луча в среде,

$f_0$  – излучаемая частота,

$\theta$  – угол падения излучаемого луча относительно направления потока.

Если известна геометрия реки, можно рассчитать объемный расход воды  $Q$  [18]

$$v = \frac{\Delta f \cdot c}{2 f_0 \cos \theta}, \quad (3)$$

где  $v$  – скорость потока,

$A$  – эффективная площадь поперечного сечения потока.

Важно учитывать, что в открытых потоках реки скорость потока варьируется от глубины канала  $h$  и ширины канала (рисунок 2), так как из-за воздействия трения о стенки и дно русло, а также наличия осадений, возникает внутренняя турбулентность потока. Учитывая такое нелинейное поведение, использование точечного измерения может привести к погрешности. Поэтому в традиционных системах в (3) используется средняя скорость течения  $v_{ср}$ , для вычисления которой строится эпюра вертикального профиля скоростей потока.

Однако из-за влияния внешней среды, сезонных колебаний стока реки скорость, а также вид течения (ламинарный, турбулентный) изменяются. Соответственно эпюра профиля скорости потока динамически и пространственно изменяемая величина, что в свою очередь требует

своевременной калибровки расходомера для избежания высокой погрешности и ошибок измерения.

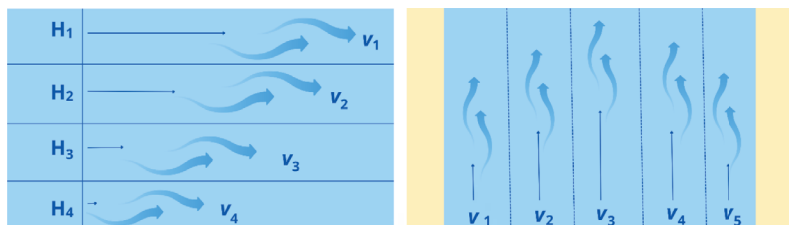


Рисунок 2 – а) – зависимость скорости потока реки от глубины канала, б) – зависимость скорости потока реки от ширины канала

В настоящее время на реке Талас размещено четыре доплеровских датчика расхода воды ( $N=4$ ) для полного поперечного охвата всей ширины реки, которая составляет  $W = 52$  м. Каждый измеряет скорость на своей вертикали. В таблице 1 представлены результаты замеров на реке Талас, произведенных с помощью стационарных доплеровских расходомеров и гидрометрических вертушек ГМЦМ-1 1605.

Таблица 1 – Результаты измерения скорости потока на реке Талас

| Тип измерительного устройства         | Уровень, см |        |      |      |
|---------------------------------------|-------------|--------|------|------|
|                                       | 55          | 47     | 45   | 40   |
| Стационарный доплеровский расходомер  | 1.47        | 1.32   | 1.59 | 1.53 |
| Гидрометрическая вертушка ГМЦМ-1 1605 | 1.48        | 1.42   | 1.77 | 1.8  |
|                                       | 1.47        | 1.36   | 1.68 | 1.72 |
|                                       | 1.20        | 1.31   | 1.5  | 1.59 |
|                                       | 0.99        | 1.13   | 1.23 | 1.40 |
|                                       | 1.28        | 1.30   | 1.55 | 1.62 |
| Погрешность                           | 8,7%        | 11,87% | 2,6% | 10%  |

Замеры произведенные на реке Талас показали расхождения между стационарным доплеровским расходомером и эталонным устройством ГМЦМ-1 1605. Для повышения точности измерений Доплеровскими датчиками предлагается применение кросс-корреляционного метода, который заключается в измерении временной задержки между сигналами двух аппертур (аппертура 1 – вверх по течению, аппертура 2 – вниз по течению), когда как в традиционных датчиках Доплера [16; 17] измеряется сдвиг частоты на одной аппертуре.

### Результаты и обсуждение

В рамках построения математической модели кросс-корреляционного метода для одного датчика, определяем отраженный от микрочастиц  $N_p$  акустический сигнал, как комплексную огибающую

$$s_{k,i}(t) = \sum_{n=1}^{N_p} A_n e^{(j2\pi f_0 t - 2k_0 x_{k,i}(t) + \varphi_n)}. \quad (4)$$

где  $f_0$  – несущая частота,

$k_0$  – волновое число в воде,

$x_{k,i}(t)$  – мгновенное положение  $k$ -й апертуры,

$\varphi_n$  – случайная фаза  $n$ -ой частицы.

Для определения временного сдвига между апертурами вычисляем нормированную взаимную корреляционную функцию

$$R_i(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T (s_{1,i}(t) - \bar{s}_{1,i})(s_{2,i}(t + \tau) - \bar{s}_{2,i}) dt, \quad (5)$$

$s_{1,i}(t)$  – комплексная огибающая эхо, полученная апертурой 1 (вверх по течению),

$s_{2,i}(t)$  – комплексная огибающая эхо, полученная апертурой 2 (вниз по течению),

$\bar{s}_{1,i}$  – временное среднее значение комплексной огибающей сигнала  $s_{1,i}(t)$ ,

$\bar{s}_{2,i}$  – временное среднее значение комплексной огибающей сигнала  $s_{2,i}(t)$ ,

$T$  – время накопления.

Момент времени, при котором корреляция выше всего, показывает, сколько времени потребовалось потоку, чтобы пройти от первой апертуры ко второй

Аргумент максимума модуля корреляции соответствует задержке  $s_{1,i}(t)$  от  $s_{2,i}(t)$

$$\tau_i = \arg \max |R_i(\tau)|. \quad (6)$$

Скорость вдоль акустического луча

$$v_{b,i} = \frac{L}{\tau_i} \quad (7)$$

где  $L$  – базовая дистанция кросс-корреляционной пары.

Определение средней скорости потока для определения общего расхода

$$u_i = v_{b,i} \cos \theta, \quad (8)$$

где  $\theta$  – угол наклона луча к горизонтали.

Оценка статистической погрешности скорости, которая выводится из критерия Крамера–Рао

$$\sigma_{u,i} \approx \frac{L\sigma_{\tau,i}}{\cos \theta \tau_i^2}, \quad (9)$$

где  $\sigma_{\tau,i} = \frac{0,64\sqrt{2}}{SNR\sqrt{BT}}$

Для расчета объемного расхода воды вводится дискретную сегментация по ширине на четыре сектора, т.к на реке Талас в настоящее время установлено четыре датчика.

$$Q = \sum_{i=1}^4 u_i h_i \Delta y_i \quad (10)$$

где  $y_i$  – поперечная координата  $i$ -го датчика,

$h_i$  – глубина в точке  $y_i$ ,

$\Delta y_i$  – ширина сектора, представляемого датчиком.

Измерение гидравлических параметров потока воды в русле реки Талас осуществляется с использованием четырёх стационарных ультразвуковых расходомеров, работающих по доплеровскому методу (рисунок 3).

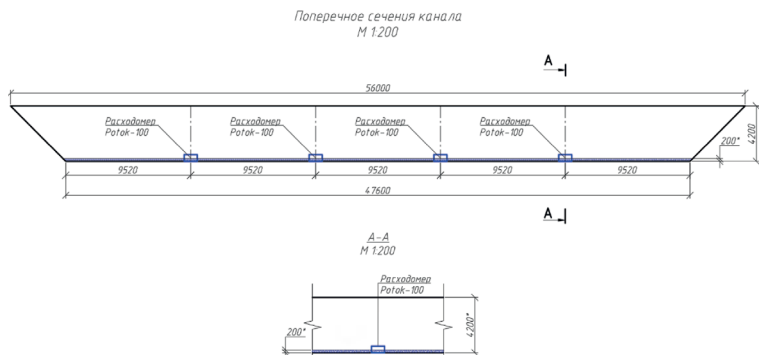
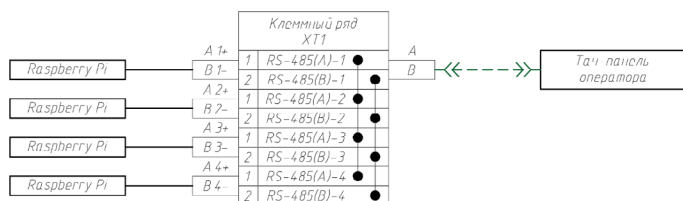
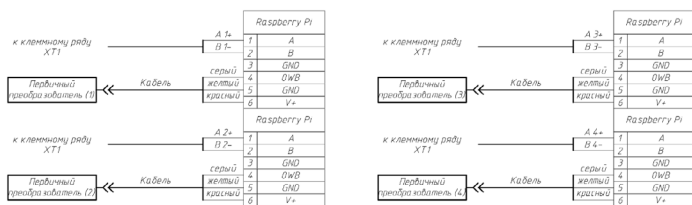


Рисунок 3 – Схема размещения первичных измерительных датчиков на реке Талас

Первичные измерительные датчики установлены на основе ультразвукового эффекта Доплера с применением кросс-корреляционного метода на дне канала в фиксированных точках, что позволяет обеспечивать равномерный охват поперечного сечения потока и повышение точности вычисления расхода. На рисунке 4 представлена схема подключения первичных измерительных датчиков и Raspberry Pi.



a)



b)

Рисунок 4 – Схема подключения расходомеров, реализованная на Raspberry Pi: а) первый уровень; б) – второй уровень.

Каждый первичный преобразователь формирует цифровой поток данных, включающий значения мгновенной скорости, объемный расход м<sup>3</sup>/ч. Эти данные передаются Raspberry Pi 4, где собираются, обрабатываются и передаются на операторский интерфейс, а далее на верхний уровень в Scada-систему с последующей архивацией и хранением данных. Raspberry Pi обрабатывает полученные данные применяя кросс-корреляционный анализ между переданным и принятым сигналом (рисунок 5).

```

51 def init():
52     self.reference = None
53     self.channels = []
54
55 def estimate_delay(self, reference, mode="self"):
56     """Cross-correlate with reference burst and estimate 10 seconds"""
57     corr = correlate(self.channels, reference, mode="self")
58     lag_index = np.argmax(corr)
59     self.lag_pos = lag_index / PL_AGC
60     return self.lag_pos
61
62 def compute_velocity(self):
63     self.velocity = (Q_BURST / self.lag_pos) * COS_THETA
64     return self.velocity
65
66 def compute_discharge(self):
67     self.discharge = self.velocity * BURST_Q[self.lag_pos] * BURST_V
68     return self.discharge
69
70 def build_reference() -> np.ndarray:
71     """Generate synthetic reference burst used for correlation"""
72     t = np.arange(0, BURST_LENGTH / BURST_FREQ, 1 / PL_AGC)
73     ref = np.sin(2 * np.pi * BURST_FREQ * t)
74     return (ref * ref.mean()) * np.exp(1j * 2 * np.pi * t)
75
76 def main():
77     reference = build_reference()
78     channels_ah = [channel(channel(), ch) for l, ch in enumerate(channels)]
79
80     try:
81         while True:
82             Q_total = 0.0
83             for ch in channels_ah:
84                 ch.receive()
85                 ch.estimate_delay(reference)
86                 ch.compute_velocity()
87                 Q_total += ch.compute_discharge()
88
89             # ... Output results ...
90             velocities = [{"ch.velocity": v} for ch in channels_ah]
91             print(f"Velocities: {', '.join(str(velocities[i]) for i, _ in enumerate(velocities))} | Q_total: {Q_total: .0f} m³/s")
92
93             time.sleep(BURST_PERIOD)
94
95 except KeyboardInterrupt:
96     pass
97 finally:
98     plt.figure(figsize=(10, 10))
99     plt.show()
100

```

Рисунок 5 – Алгоритм кросс-корреляционного анализа

Представленный на рисунке 5 код реализует передачу ультразвукового сигнала частотой 40 кГц, прием сырых данных из четырёх каналов, выполняет кросс-корреляционный анализ, оценивая временную задержку, рассчитывает среднюю горизонтальную скорость и расход потока.

### Информация о финансировании (при наличии)

Исследования выполнены при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программы ИРН BR24993128 «Разработка информационно-аналитической системы для принятия решений для эффективного использования трансграничных водных ресурсов в сельскохозяйственной отрасли Жамбылского региона»

### Выводы

Полевые испытания, проведенные на реке Талас выявили расхождения между значениями скорости, полученными с помощью стационарного доплеровского расходомера, и значениями, зарегистрированными эталонным

гидрометрическим измерителем. Для повышения точности измерения разработан концепт применения метода кросс-корреляции, где вместо измерения сдвига частоты на одной апертуре, метод оценивает временную задержку между эхо-сигналами, полученными на двух пространственно разделенных апертурах, тем самым связывая задержку непосредственно со скоростью течения и минимизируя ошибки, связанные с амплитудой.

Описана математическая модель кросс-корреляционного метода с учетом конфигурации уже установленных на реке Талас доплеровских датчиков расхода. Для практической реализации модели была разработана аппаратно-программная архитектура на базе Raspberry Pi, сопутствующий код выполняет генерацию импульсов, высокочастотную дискретизацию, извлечение задержки кросс-корреляции и расчет разряда в реальном времени.

## REFERENCES

1 **Hu, X., Chen, C., Wang, G., Singh, J.** Robust Water-Level Measurement Method Based on Computer Vision [Text] // *Journal of Hydrology*. – 2023. – Vol. 619. – Issue 6. – No. 4. – P. 129456-1–129456-14.

2 **López, M., Martínez, P., Quintana, F., González, A., García, M., Rodríguez, R.** Improving Image-Based Water-Level Monitoring by Coupling Water-Line Detection with Staff-Gauge Tracking [Text] // *Environmental Modelling & Software*. – 2025. – Vol. 173. – Issue 1.– No. 102. – P. 106509-1–106509-13.

3 **Li, Y., Zhang, H., Sun, J., Wu, Y.** Real-Time Water Levels Using GNSS-IR: A Potential Tool for Flood Early Warning [Text] // *Geophysical Research Letters*. – 2023. – Vol. 51. – Issue 17. – No. 4. – P. e2023GL105039-1–e2023GL105039-9.

4 **Qi, J., Ma, L., Zhou, D., Wang, X., Chen, Y., Liu, H.** A Review of Non-Contact Water-Level Measurement Based on Computer Vision and Radar Technology [Text] // *Water*. – 2023. – Vol. 15. – Issue 18. – No. 3233. – P. 1–34.

5 **Kobayashi, T., Asada, M.** High-Accuracy Surface-Perceiving Water-Level Gauge with Self-Calibration [Text] // *Remote Sensing of Environment*. – 2024. – Vol. 299. – Issue 4. – No. 113889. – P. 1–18.

6 **Chen, L., Liu, Y., Wang, D.** Accurate Non-Linearity and Temperature Compensation for Piezoresistive Pressure Sensors [Text] // *Sensors*. – 2023. – Vol. 23. – Issue 13. – No. 6167. – P. 1–21.

7 **Su, G., Xue, X., Zhao, R.** Calibration of Marine Pressure Sensors Using a Constant-Pressure Variable-Temperature Scheme [Text] // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2024. – Vol. 12. – Issue 12. – No. 2366. – P. 1–18.

8 **Wu, S., Guo, X., Zheng, Y.** Development of a High-Precision and Wide-Range Ultrasonic Water Meter [Text] // Measurement. – 2022. – Vol. 208. – Issue 2. – No. 112235. – P. 1–13.

9 **Kulkarni, R., Das, P., Tripathi, M.** Evaluation of Ultrasonic Sensors for Flow Measurement in Open Channels [Text] // Flow Measurement and Instrumentation. – 2025. – Vol. 92. – Issue 4. – No. 102080. – P. 1–12.

10 **Zhou, X., Wang, S., Cao, J.** Transient Effects of Bubbles on Transit-Time Ultrasonic Flowmeters in Natural Streams [Text] // Water Resources Research. – 2023. – Vol. 59. – Issue 9. – No. e2023WR033012. – P. 1–17.

11 **Paterson, A., Bates, K.** Acoustic Doppler Velocimetry in Transient Free-Surface Flows [Text] // Journal of Hydraulic Engineering. – 2024. – Vol. 15. – Issue 7. – No. 04024018. – P. 1–12.

12 **Delgado, F., Rodríguez-Castellanos, M.** Velocity Measurements in Developing Narrow Open-Channel Flows Using ADV and LDA [Text] // Experimental Thermal and Fluid Science. – 2022. – Vol. 145. – Issue 3. – No. 110571. – P. 1–10.

13 **Zhang, C., Li, J., Chen, B.** Research on Mobile Ultrasonic Stratified-Flow Velocity Measurement [Text] // Frontiers in Water. – 2025. – Vol. 2. – Issue 4. – No. 1590124. – P. 1–15.

14 **Shen, K., Gong, Y., Li, H.** Low-Cost IoT-Based Deep Learning Water-Gauge Reader for Remote Streams [Text] // Geocarto International. – 2024. – Vol. 39. – Issue 8. – No. 10. – P. 992–1014.

15 **Gurung, M., Kafle, A., Sharma, L.** Low-Cost Water-Level Measurement Technologies for Assessing Hydrological Extremes [Text] // Frontiers in Marine Science. – 2025. – Vol. 12. – Issue 1. – No. 1604069. – P. 1–14.

16 **Hernández-Nolasco, J. A., Wister Ovando, M. A., Acosta, F. D., Pancardo, P.** Water Level Meter for Alerting Population about Floods [Text] // Proceedings of the 30th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA). – Crans-Montana, Switzerland : IEEE, 2016. – P. 879–884.

17 **Chen, C., Zhang, X., Liu, Z., Wang, Q., Li, M.** An Integrated Method for River Water-Level Recognition from Surveillance Images Using Convolution Neural Networks [Text] // Remote Sensing. – 2022. – Vol. 14. – Issue 23. – No. 6023. – P. 1–20.

18 **Arregui, F., Contreras, J. I., Martínez, F., Gil, M., Torres, R.** Key Factors Affecting Water Meter Accuracy [Text] // Proceedings of the International Conference on Leakage Control. – London : IWA Publishing, 2005. – P. 1–10.

Поступило в редакцию 12.08.25.

Поступило с исправлениями 12.08.25.

Принято в печать 05.09.25.

А. В. Нефтисов<sup>1</sup>, \*Л. Н. Кириченко<sup>2</sup>, И. М. Казамбаев<sup>3</sup>,

Е. В. Командиров<sup>4</sup>, Е. А. Белоущий<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Academy of Physical Education and Mass Sports,

Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

<sup>2</sup>Astana IT University, Қазақстан Республикасы, Астана қ.;

<sup>4</sup>«Атриум Строй Инвест» ЖШС, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

12.08.25 ж. баспаға түсті.

12.08.25 ж. түзетулерімен түсті.

05.09.25 ж. басып шығаруға қабылданды.

## **КРОСС-КОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ ӘДІСТІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ӨЗЕНДЕРДЕГІ СУ ШЫҒЫНЫН АНЫҚТАЙТЫН АППАРАТТЫҚ-БАҒДАРЛАМАЛЫҚ КЕШЕННІҢ ТҰЖЫРЫМДАМАСЫ**

*Бұл мақалада ультрадыбыстық доплерлік сенсорларды және өзара корреляцияны талдау әдісін қолдана отырып, Ашық арналардағы ағынды үздіксіз өлшеуге арналған аппараттық-бағдарламалық кешен тұжырымдамасы ұсынылған. Шешім Талас өзенінде орнатылған Доплер эффектісін қолданатын ағынды өлшеу датчиктерінің өлшеу дәлдігін жақсартуға арналған. Өлшеу дәлдігін бағалау үшін өзара корреляция әдісін әзірлеу және енгізу қажеттілігін көрсеткен стационарлық доплерлік Шығын өлшегіштер мен ГМЦМ-1 гидрометриялық айналмалы табақтарының көмегімен эксперименттік өлшеулер жүргізілді. Ұсынылған тұжырымдама өзеннің өлшемдері мен гидравликалық жағдайларына бейімделген математикалық модельдеуді қамтиды, бұл дәстүрлі әдістермен салыстырғанда белгісіздіктің айтарлықтай төмендеуімен орташа көлденең жылдамдық пен көлемдік ағынды бағалауға мүмкіндік береді. Прототиптің архитектурасы Raspberry Pi 4 платформасында жүзеге асырылады, ол түрлендіру модульдерімен және 40 кГц ультрадыбыстық датчиктермен біріктірілген, бұл нақты уақыт режимінде деректерді жинауға және өңдеуге мүмкіндік береді. Алынған мәліметтер гидрологиялық бақылау мен суды тұрақты басқарудың тиімді, дәл және бейімделетін құралын ұсына отырып, ағын мен ағынның орташа жылдамдығын дәлірек есептеу үшін өңделеді.*

*Кілтті сөздер: кросс-корреляция әдісі, Доплерлік датчиктер, өлшеу, ағын, ашық ағындар.*

A. V. Neftissov<sup>1</sup>, \*L. N. Kirichenko<sup>2</sup>, I. M. Kazambaev<sup>3</sup>,

E. V. Komandirov<sup>4</sup>, E. A. Biloshchytskyi<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Academy of Physical Education and Mass Sports,

Republic of Kazakhstan, Astana;

<sup>3</sup>Astana IT University, Republic of Kazakhstan, Astana;

<sup>4</sup>Atrium Stroy Invest LLP, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 12.08.25.

Received in revised form 12.08.25.

Accepted for publication 05.09.25.

## CONCEPT OF A HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM FOR DETERMINING WATER FLOW IN RIVERS USING THE CROSS-CORRELATION METHOD

*This article presents a concept for a hardware and software complex for continuous flow measurement in open channels using ultrasonic Doppler sensors and the mutual correlation analysis method. The solution was developed to improve the accuracy of measurements taken by flow sensors already installed on the Talas River using the Doppler effect. To assess the accuracy of the measurements, experimental measurements were made using stationary Doppler flow meters and GMTSM-I hydrometric impellers, which showed the need to develop and implement a mutual correlation method. The proposed concept includes mathematical modelling adapted to the dimensions and hydraulic conditions of the river, which allows the average horizontal velocity and volumetric flow rate to be estimated with a significant reduction in uncertainty compared to traditional methods. The prototype architecture is implemented on a Raspberry Pi 4 platform integrated with conversion modules and 40 kHz ultrasonic sensors, which allows for real-time data collection and processing. The data obtained is processed for a more accurate calculation of the average flow velocity and flow rate, offering an effective, accurate and adaptable tool for hydrological monitoring and sustainable water resource management.*

*Keywords: cross-correlation method, Doppler sensors, measurement, flow rate, open channels.*

Теруге 09.09.2025 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2025 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4447

Сдано в набор 09.09.2025 г. Подписано в печать 30.09.2025 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4447

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz