|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА | **Всемирная метеорологическая организация**  **КОМИССИЯ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ, ИНФРАСТРУКТУРЕ И ИНФОРМАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ**  **Третья сессия** 15—19 апреля 2024 г., Женева | **INFCOM-3/Doc. 8.2(4)** |
| Представлен: председателем  15.IV.2024 г.  **УТВЕРЖДЕННЫЙ ТЕКСТ** |

**ПУНКТ 8 ПОВЕСТКИ ДНЯ: ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ**

**ПУНКТ 8.2 ПОВЕСТКИ ДНЯ: Измерения в рамках Интегрированной глобальной системы наблюдений ВМО**

# Обновление Руководства по гидрологической практике, том I (ВМО-№ 168)



# ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

**Введение**

Последняя пересмотренная редакция *[Руководства по гидрологической практике](https://library.wmo.int/idurl/4/57955)* (ВМО‑№ 168) была опубликована в 2008 году, и с учетом достижений в области технологий и практики его пересмотр и обновление теперь стали приоритетной задачей (см. [проект решения 6.1/1](https://meetings.wmo.int/INFCOM-3/Russian/Forms/AllItems.aspx?RootFolder=%2FINFCOM%2D3%2FRussian%2F1%2E%20DFD%20%2D%20Проекты%20для%20обсуждения&FolderCTID=0x01200043E4DA6B5298F54F9068065611ED55BC&View=%7B35EE7587%2D308A%2D4B51%2D82B6%2D643930B095CF%7D) (ИНФКОМ-3)). Объединенная экспертная группа по гидрологическому мониторингу (ОЭГ-ГИДМОН) и Постоянный комитет по гидрологическому обслуживанию (ПК-ГИД) при поддержке Секретариата провели предварительный обзор наиболее срочных тем для пересмотра, обновления и добавления. Было определено, что в число пробелов входит отсутствие каких-либо ссылок на методы измерения расхода воды с помощью изображений. Эксперты аналитического центра ГидроХаб в сотрудничестве с членами ОЭГ-ГИДМОН и Комитета по управлению проектом по оценке эффективности работы приборов и для измерения расхода воды (проект X) подготовили проект текста, который также был рассмотрен Редакционным советом ПК‑ИПП, и замечания его членов были включены в предложенный проект текста.

**Ожидаемые действия**

На основании вышеизложенного, ИНФКОМ, возможно, пожелает принять проект резолюции о включении в *[Руководство по гидрологической практике](https://library.wmo.int/idurl/4/57955)* (ВМО-№ 168) предложенного нового раздела 5.3.7.6 «Методы измерения расхода воды c помощью изображений».

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

# Проект резолюции

## Проект резолюции 8.2(4)/1 (ИНФКОМ-3)

### Обновление Руководства по гидрологической практике, том I (ВМО-№ 168)

КОМИССИЯ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ, ИНФРАСТРУКТУРЕ И ИНФОРМАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ,

**напоминая** о том, что *[Руководство по гидрологической практике, том I — Гидрология: от измерений до гидрологической информации](https://library.wmo.int/idurl/4/57955)* (ВМО-№ 168) (далее именуемое «*Руководство*») дает общее представление о текущей оперативной гидрологической практике, процедурах и измерительных приборах (от измерения расхода воды до прогнозирования и регулирования), которые могут быть использованы национальными гидрологическими службами Членов для осуществления положений, содержащихся в *[Техническом регламенте, том III](https://library.wmo.int/idurl/4/57818)*[:](https://library.wmo.int/idurl/4/57818) *[Гидрология](https://library.wmo.int/idurl/4/57818)* (ВМО-№ 49),

**приняв во внимание**, что последняя редакция *Руководства* была опубликована в 2008 году, и поэтому самые последние достижения в области технологий и практики, применяемых в гидрологии, не нашли надлежащего отражения в тексте,

**отмечая**, что Объединенная экспертная группа по гидрологическому мониторингу (ОЭГ‑ГИДМОН) и Постоянный комитет по гидрологическому обслуживанию (ПК-ГИД) Комиссии по метеорологическим, климатическим, гидрологическим, морским и смежным обслуживанию и применениям в области окружающей среды (СЕРКОМ) при поддержке Секретариата провели предварительный обзор наиболее срочных тем для пересмотра, обновления и добавления, подчеркивая полное отсутствие, в частности, ссылок на методы измерения расхода воды с помощью изображений,

**отмечая** далее ответственность Генерального секретаря за публикацию принятых изданий, включенных в [резолюцию 47 (Кг-19)](https://library.wmo.int/idviewer/68193/582) «Обязательные публикации ВМО и политика в области распространения на девятнадцатый финансовый период», включая любые последующие поправки чисто редакционного характера,

**принимает** предложенные обновления *[Руководства по гидрологической практике, том I](https://library.wmo.int/idurl/4/57955)* (ВМО-№ 168), в виде нового раздела 5.3.7.6 «Методы измерения расхода воды с помощью изображений», как указано в [дополнении](#annex) к настоящей резолюции;

**поручает** своим постоянным комитетам периодически пересматривать *Руководство* в части их компетенции и мандата, а также в сотрудничестве с СЕРКОМ, и обновлять его по мере необходимости.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

## Дополнение к проекту резолюции 8.2(4)/1 (ИНФКОМ-3)

**5.3.7.6** **Методы измерения расхода воды с помощью изображений**

Методы измерения с помощью изображений могут использоваться для малозатратного и эффективного отслеживания трассеров на последовательных кадрах, результаты которого затем преобразуются в скорость потока на поверхности с помощью временного интервала между кадрами. Среди широкого разнообразия подходов методы измерения поверхностной скорости с помощью изображений можно разделить на следующие категории (ISO 748, 2021):

• методы измерения скорости по изображениям частиц (PIV) (также именуемые методами измерения скорости по крупномасштабным изображениям частиц (LSPIV), когда они применяются в масштабах рек (Fujita et al. 1994 и Muste et al. 2008)) основаны на алгоритмах взаимной корреляции (сопоставления рисунков) и хорошо подходят для потоков с плотными естественными трассерами, такими как турбулентные образования или пена;

• измерение скорости на основе отслеживания частиц (PTV) (Lloyd, Stans by, & Ball, 1995) представляет собой метод Лагранжа, который используется для отслеживания траекторий твердых и разреженных трассеров, например в селевых потоках или при введении искусственных трассеров;

• в других оптических методах исследования потока для получения распределения скоростей используется видимый сдвиг яркостных рисунков на изображении (Barron, Fleet, Beauchemin, & Burkitt, 1994);

• метод измерения скорости с помощью изображений трассера в пространственно-временной системе координат (STIV) (Fujita, Watanabe, & Tsubaki, 2007) позволяет провести одномерные измерения скорости на поверхности по нескольким линиям анализа, расположенным перпендикулярно поперечнику. Скорости рассчитываются на основе комбинированных изображений каждой линии в пространственно-временной системе координат с формированием уголкового рисунка на основании перемещения трассера по поверхности с течением времени и в пространстве.

PIV, PTV и другие оптические методы исследования потока позволяют получать двумерные значения мгновенных поверхностных скоростей на больших площадях. STIV представляет собой надежный метод оценки скорости, когда частицы трассера имеют минимальный размер и расположены разреженно. Независимо от используемого метода, должны выполняться одни и те же этапы обработки:

i) видеозапись участка реки;

ii) предварительная обработка видеозаписи (стабилизация, подвыборка, улучшение изображения, регистрация изображений и т. д.);

iii) орторектификация изображений для исправления перспективных искажений и масштабирования изображений в мировой системе координат;

iv) определение скорости на поверхности путем отслеживания проявления видимых закономерностей с течением времени и в пространстве, как описано в каждом методе (примечание: этапы iii) и iv) являются взаимозаменяемыми);

v) последующая обработка (в основном фильтрация и осреднение по времени); и

vi) расчет расхода воды. Для расчета расхода воды требуется батиметрия поперечного сечения и уровень воды с одного или нескольких секторов, а также действующий метод или предположение для преобразования поверхностной скорости в скорость, осредненную по глубине.

Видеозапись может осуществляться с помощью стационарных камер, ручных камер (или камер в смартфонах) и беспилотных летательных аппаратов (БЛА, или дронов) в зависимости от доступности оборудования и размера участка реки, на котором проводится исследование. Возможна обработка видеозаписей, полученных от непрофессиональных наблюдателей, особенно в рамках оценочных исследований после паводков (Boursicaud et al. 2016, Le Coz et al. 2016). Камеры с цветовоспроизведением с помощью красного, зеленого и синего цветов в видимом спектре (RGB) экономичны, просты в приобретении и позволяют получить изображения с относительно высоким разрешением, но их действие ограничено излучением в видимой части спектра, и они не могут быть использованы для получения изображений в ночное время без внешнего источника света. Ночные измерения можно проводить с помощью камер для съемки в ближней области инфракрасного излучения (NIR) (могут потребоваться дополнительные источники света ближнего ИК‑диапазона). Примером могут служить камеры-ловушки или некоторые RGB-камеры с удаленным фильтром NIR (Hutley et al., 2023). Высочайшее качество измерения поверхностных скоростей с помощью изображений достигается при использовании высокоэффективных тепловизионных инфракрасных (т. е. длинноволновых инфракрасных) камер (Schweitzer & Cowen, 2021). Их можно применять как днем, так и ночью, а в качестве трассеров при этом используются незначительные температурные различия в поверхностных слоях воды. Будучи эффективными, эти камеры в настоящее время являются слишком дорогостоящими и хрупкими для повседневного использования.

Орторектификация обеспечивается путем простого геометрического масштабирования в случае видеозаписи, сделанной с помощью БЛА, направленного в надир, или с помощью более сложных двухмерных или трехмерных фотограмметрических уравнений для острых углов. Для орторектификации требуются наземные контрольные точки (НКТ — точки с известными мировыми координатами, которые видимы на снимках) или знание внутренних и внешних параметров камеры. НКТ — это идентифицируемые объекты на видео, которые могут быть исследованы для получения необходимых координат XYZ. НКТ могут быть исследованы до или после осуществления видеозаписи и должны быть видны на изображении (т. е. их размер должен превышать минимальный размер пикселя при полном разрешении). Данные НКТ в системе координат XYZ обеспечивают калибровку между координатами пикселей и реальными координатами, которая остается действительной для всех видеозаписей при фиксированной установке камеры, когда разрешение, масштабирование, угол тангажа, крен и рысканье камеры остаются неизменными. Это позволяет обрабатывать видеозапись даже тогда, когда НКТ перестают быть видимыми, например когда они находятся под водой во время паводков.

Для расчета расхода воды с помощью методов, основанных на изображениях, необходимо знать осредненные по глубине скорости, уровень воды (глубину или уровень) и батиметрию поперечного сечения, которые либо измеряются отдельно, либо оцениваются. Другие методы измерения поверхностных скоростей, такие как использование буев, приповерхностных измерителей скорости потока и радиолокаторов, позволяют получить скорость на поверхности в той или иной точке, но также могут быть использованы для оценки расхода воды. Поверхностные скорости обычно соотносятся с осредненными по глубине скоростями через коэффициент перевода, часто именуемый коэффициентом альфа (Biggs et al. 2021). В методах измерений с помощью изображениях используется расчет расхода воды скорость-площадь на основе методы элементарных площадок или метода серединных площадок, что, таким образом, в значительной степени соответствуют рекомендациям, изложенным в ИСО 748. Основные источники неопределенности для методов расчета с помощью изображений включают в себя: измерение поперечного сечения (особенно в связи с паводками), коэффициент альфа, уровень воды, орторектификация (Le Coz et al, 2021).

В последнее время наблюдается значительный прогресс в использовании методов PIV в инновационных целях, включая применение алгоритмов PIV для измерения скорости речного потока с помощью изображений, полученных с движущегося воздушного судна, (MARV) (Legleiter et al, 2023) и использование методов измерения скорости по крупномасштабным изображениям частиц для малых беспилотных авиационных систем (БАС) для измерения поверхностной скорости потока и расхода воды (Duan et al, 2023). Кроме того, недавно было разработано программное обеспечение с открытым исходным кодом для обработки изображений с целью облегчения оценки поверхностной скорости потока в речных руслах по данным дистанционного зондирования: [инструментарий для измерения скорости речного потока с использованием изображений, полученных с воздушного судна (TRiVIA)](https://doi.org/10.5066/P9AD3VT3) (Legleiter and Kinzel, 2024; Legleiter 2024). [*Соединенные Штаты Америки*]

**Библиография и рекомендуемая литература**

Fujita, Ichiro, and Saburo Komura, 1994: *Application of Video Image Analysis for Measurements of River-Surface Flows*. Proceedings of Hydraulic Engineering 38: 733–38.

Biggs, H., et al., 2021: *River discharge from surface velocity measurements-A field guide for selecting alpha*. Envirolink Advice Report. Christchurch, New Zealand.

Australian Water monitoring, N. I., 2021: Part 11: Application of surface velocity methods for velocity and open channel discharge measurements NI GL 100.11–2021. Water Monitoring Standardization Technical Committee – Bureau of Meteorology.

Barron, J., Fleet, D., Beauchemin, S., & Burkitt, T., 1994: *Performance of optical flow techniques*. International Journal of Computer Vision.

Duan, J.G., Engel, F.L., and Cadogan, A., 2023, Discharge estimation using video recordings from small unoccupied aircraft systems. *Journal of Hydraulic Engineering*, 149 (11). [https://doi.org/10.1061/JHEND8.HYENG-13591](https://doi.org/10.1061/JHEND8.HYENG-13591" \t "_blank) *[Соединенные Штаты Америки]*

Fujita, I., Watanabe, H., & Tsubaki, R., 2007: *Development of a non-intrusive and efficient flow monitoring technique: the space-time image velocimetry* (STIV). Int. J. River Basin Manage., 5, 105-114. doi:10.1080/15715124.2007.9635310.

Hutley, N. R., Beecroft, R., Wagenaar, D., Soutar, J., Edwards, B., Deering, N., Grinham, A& Albert, S., 2023: *Adaptively monitoring streamflow using a stereo computer vision system*. Hydrology and Earth System Sciences, 27(10), 2051-2073. https://doi.org/10.5194/hess-27-2051-2023.

ISO 748:2021 Hydrometry — Measurement of liquid flow in open channels — Velocity area methods using point velocity measurements

Jérôme Le Coz, Antoine Patalano, Daniel Collins, Nicolás Federico Guillén, Carlos Marcelo García, Graeme M. Smart, Jochen Bind, Antoine Chiaverini, Raphaël Le Boursicaud, Guillaume Dramais, Isabelle Braud: *Crowdsourced data for flood hydrology: Feedback from recent citizen science projects in Argentina, France and New Zealand*. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.036

Legleiter, C. J., Kinzel, P. J., Laker, M., & Conaway, J. S. (2023). Moving aircraft river velocimetry (MARV): Framework and proof-of-concept on the Tanana River. Water Resources Research, 59, e2022WR033822. [https://doi.org/10.1029/2022WR033822](https://doi.org/10.1029/2022WR033822" \t "_blank)

Legleiter, C.J., and Kinzel, P.J., 2024. A framework to facilitate development and testing of image-based river velocimetry algorithms. Earth Surf. Process.  Landforms.2024;49:1361–1382. [https://doi.org/10.1002/esp.5772](https://doi.org/10.1002/esp.5772" \t "_blank)

Legleiter, C.J., 2024, TRiVIA - Toolbox for River Velocimetry using Images from Aircraft (ver. 2.1.1, March 2024): U.S. Geological software release, [https://doi.org/10.5066/P9AD3VT3](https://doi.org/10.5066/P9AD3VT3" \t "_blank). [*Соединенные Штаты Америки*]

Lloyd, P., Stansby, P., & Ball, D., 1995: *Unsteady surface-velocity field measurement using particle tracking velocimetry*. J. Hydraul. Res., 33, 519–534. doi:10.1080/00221689509498658

Muste, M., Fujita, I., & Hauet, A., 2008: *Large‐scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments. Water resources research*, 44(4). doi:10.1029/2008WR006950

Raphaël Le Boursicaud, Lionel Pénard, Alexandre Hauet, Fabien Thollet, Jérôme Le Coz. Gauging extreme floods on YouTube: application of LSPIV to home movies for the post-event determination of stream discharges. https://doi.org/10.1002/hyp.10532

Schweitzer, S. A., & Cowen, E. A., 2021: *Instantaneous River-Wide Water Surface Velocity Field Measurements at Centimeter Scales Using Infrared Quantitative Image Velocimetry*. Water Resources Research, 57. doi:10.1029/2020WR029279

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_