

## ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ФОТОГРАММЕТРИИ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ

*А. А. Левкевич, младший научный сотрудник  
Г. В. Латушкина, кандидат технических наук  
РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь*

### Аннотация

Приведены данные государственного учета по состоянию гидротехнических сооружений на открытой мелиоративной сети Беларуси. Рассмотрен новый способ неразрушающего контроля технического состояния гидротехнических сооружений на мелиоративных объектах с использованием средств фотограмметрии. Проведена апробация программных средств по фотограмметрии, предложен вариант их адаптации к обследованию и диагностике состояния гидротехнических сооружений.

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, мелиоративная сеть, техническое состояние, регулирование водного режима, дефекты гидротехнических сооружений, неразрушающий метод обследования, фотограмметрия, 3D-модель.

### Abstract

*A. A. Levkevich, G. V. Latushkina*

### APPLICATION OF PHOTOGRAMMETRY TOOLS IN SURVEY OF HYDRAULIC STRUCTURES ON OBJECTS OF WATER REGIME REGULATION ON RECLAIMED LANDS

The data of the state accounting on the condition of hydraulic structures in the open reclamation network of Belarus are given. A new method of non-destructive control of technical condition of hydraulic structures at reclamation sites using photogrammetry tools is described. The approbation of photogrammetry software tools is carried out and the option of their adaptation to inspection and diagnostics of hydraulic structures condition is proposed.

**Keywords:** hydraulic structures, reclamation network, technical condition, water regime regulation, defects of hydraulic structures, non-destructive method of inspection, photogrammetry, 3D-model.

### Введение

Около 3 млн га мелиорированных земель в Беларуси находятся в сельскохозяйственном использовании. Осушительные системы на землях сельскохозяйственного назначения занимают площадь 1 536,9 тыс. га, осушительно-увлажнительные системы – 1 505,76 тыс. га. Основная часть этих систем построена более 30–40 лет назад. В связи с длительным сроком их эксплуатации на значительных площадях условия ведения сельскохозяйственного производства отличаются по параметрам от изначально представленных в проектах.

В 2022 г. был проведен государственный учет мелиоративных систем и основных гидротехнических сооружений (далее – ГТС) на открытой мелиоративной сети. Согласно полученным данным, по состоянию на 1 января 2023 г. на открытых каналах межхозяйственных и внутрихозяйственных мелиоративных систем насчитывается 2178 шлюзов, из них

в удовлетворительном состоянии находится 1579 шт., что составляет 72 % от общего числа; труб-регуляторов – 24 217 шт., из них в удовлетворительном состоянии – 19 731 шт. (81 %); автомобильных мостов – 3184 шт., из них в удовлетворительном состоянии – 2212 шт. (69 %); труб-переездов – 57 075 шт., из них в удовлетворительном состоянии – 46 978 шт. (82 %).

Таким образом, 20–30 % основных гидротехнических сооружений, построенных на открытой мелиоративной сети, требуют ремонта, а в отдельных случаях и реконструкции. Совершенствование способов диагностирования состояния бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях переменного климата и увлажнения, а также резких перепадов температур, является актуальной задачей в обеспечении надежности и долговечности мелиоративных гидротехнических сооружений.

**Основная часть**

Для обеспечения водного режима, требуемого растениям на осушаемых землях, необходимо поддерживать рекомендуемые нормы осушения. Это достигается с помощью комплекса гидротехнических сооружений. Гидротехнические сооружения на каналах предназначены не только для обеспечения переезда через них, но и для управления потоком воды при ее отводе с осушаемой территории, поддержания в каналах должных уровней воды и ее накопления перед сооружением в целях поддержания на полях необходимого водного режима почв.

Законодательством Республики Беларусь в области мелиорации\* предусмотрено проведение ежегодного осмотра ГТС на местности для содержания их в технически исправном, работоспособном состоянии и создания на мелиоративных системах условий для получения проектных урожаев сельскохозяйственных культур (в том числе за счет благоприятного водного режима почв). От того, насколько систематически и своевременно осуществляются надзор и диагностирование состояния сооружений, зависят сроки проведения ремонтно-эксплуатационных мероприятий, их безаварийная работа и, соответственно, нормальное сельскохозяйственное использование осушаемых земель.

К характерным дефектам и повреждениям, из-за которых сооружения не могут выполнять свои эксплуатационные функции, относятся:

- повреждение затворных устройств и винтоподъемников, вследствие чего складывается неблагоприятная ситуация в связи с невозможностью поддержания необходимого уровня режима в водотоках;
- образование провалов при сопряжении сооружений с дорожным полотном;
- расстройство стыков между сборными элементами сооружений;
- образование провалов грунта в местах засыпок пазух;
- вымоины грунта из-под днища и устоев;
- выбоины, каверны и трещины на бетонных поверхностях, отколы углов и краев плит;
- оголение арматуры, проломы плит и др.

На рис. 1 показаны некоторые дефекты, зафиксированные во время обследования шлюза-регулятора на объекте «Тепленка» (Узденский р-н Минской обл.).

Своевременное и оперативное диагностирование состояния, в котором находится эксплуатируемое ГТС, – необходимое условие для выработки обоснованных мероприятий по поддержанию надлежащей эксплуатационной функциональности сооружения. Согласно ТНПА [1], обследование сооружений, в том числе и гидротехнических, может состоять из трех этапов:

- первый* – предварительный технический осмотр ГТС;
- второй* – общее обследование (по внешним признакам);



Рис. 1. Характерные дефекты шлюза-регулятора:  
*а* – общий вид шлюза-регулятора; *б* – трещина; *в* – каверна

\* О мелиорации земель: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 18 октября 2022 г. № 700, 5/50872 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22200700> (дата обращения 23.05.2024).

*третий* – детальное (инструментальное) обследование (при необходимости).

Особенности эксплуатации мелиоративных гидротехнических сооружений определяются их специфическим месторасположением, удаленностью от городской и сельской инфраструктуры, подверженностью различного рода природным и климатическим воздействиям. Следовательно, при проведении работ по обследованию и диагностике состояния ГТС на первом и втором этапах [1] целесообразно использовать инструменты и методы, сочетающие мобильность, безопасность, оперативность и малозатратность. Одним из таких методов неразрушающего контроля является оптико-цифровой способ фотограмметрии [2, 3].

В настоящее время практический опыт применения данного метода для обследования ГТС фактически отсутствует. В связи с этим в РУП «Институт мелиорации», в лаборатории эксплуатации мелиоративных систем, проводится предварительная адаптация метода фотограмметрии к особенностям диагностики состояния мелиоративных гидротехнических сооружений. Так, обследован ряд объектов на осушительно-увлажнительных мелиоративных системах в Клецком, Минском, Слуцком, Стародорожском и Узденском р-нах Минской обл. Для камеральной обработки собраны фото- и видеоматериалы.

Одной из характерных особенностей применения фотограмметрического метода при обследовании ГТС является частичная или полная невозможность круговой (360°-й) съемки объекта, поскольку, как правило, гидротехнические сооружения на мелиоративных объектах имеют большие размеры, сложную геометрию, водную преграду, дорожное полотно на гребне, а также очень плавное сопряжение с рельефом местности (рис. 2).

Ввиду вышеприведенных особенностей расположения ГТС экспериментальным путем была составлена и апробирована предварительная схема съемки объектов (рис. 3, а), которая производилась на фотокамеру *Canon PowerShot SX 220 HS* с камерой 11 мегапикселей и на камеру смартфона *Vivo 2111* с разрешением снимков соответственно 4000 × 2664 и 4160 × 3120. Видеозапись производилась в форматах HD и Full HD. Применялось двух-, четырех-, десяти- и двадцатикратное приближение.

По результатам съемки в программных средствах *Agisoft Metashape* [4] и *3DF Zephyr* [5] были построены 3D-модели объектов.

В ходе обработки данных установлено, что значительная часть моделей, полученных по фотографиям, сделанных по предложенной схеме (без учета особенностей съемки ГТС и моделирования), оказывались искаженными и не выстраивались в полном объеме (рис. 4, а, в).



а



б

Рис. 2. Характерные особенности расположения ГТС:  
а – шлюз-регулятор; б – труба-регулятор

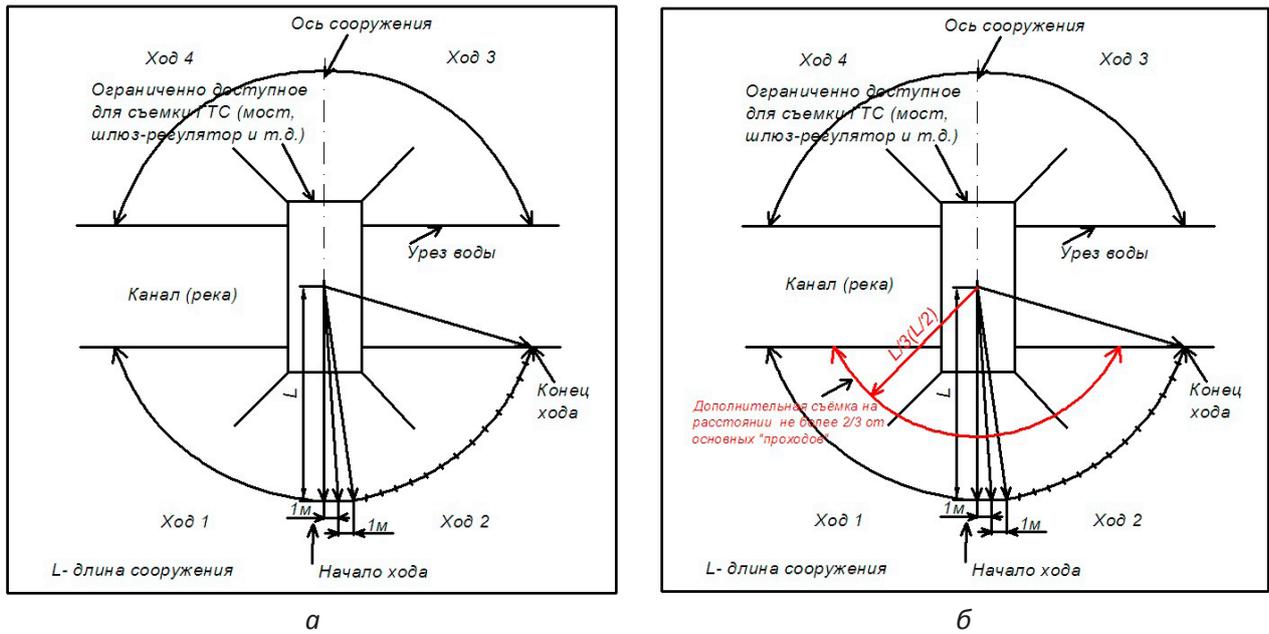


Рис. 3. Предварительная (а) и скорректированная (б) схемы съемки для ограниченно доступных ГТС

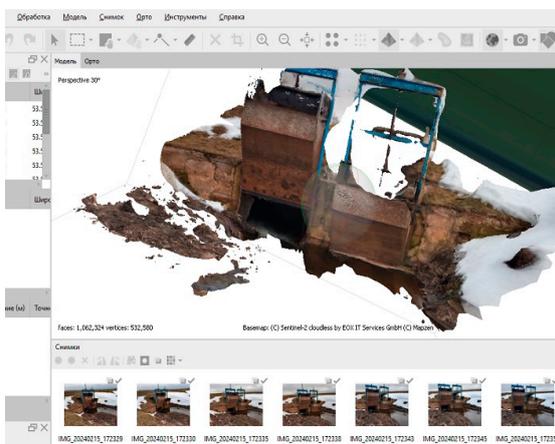
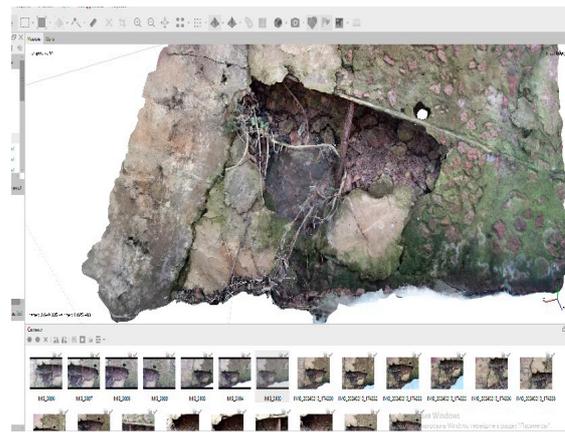
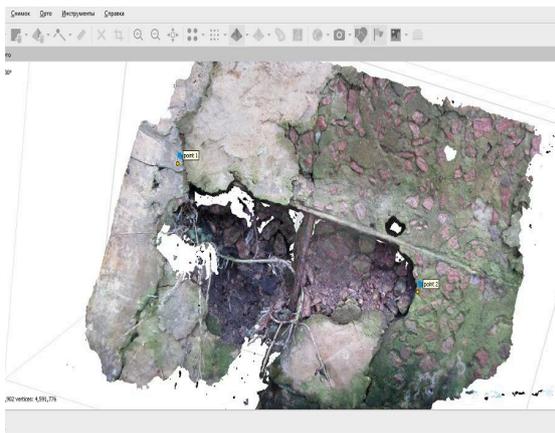


Рис. 4. 3D-модели ГТС и их дефекты, полученные по предварительной схеме съемки (а, в) и по скорректированной схеме съемки (б, г)

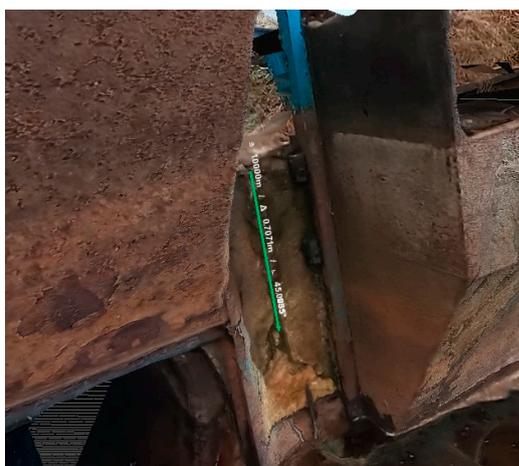
Схема была скорректирована (рис. 3, б), и затем построены модели с учетом особенностей съемки ГТС. Также выявлено, что при проведении съемки необходимо учитывать следующее:

- добавлять дополнительные съемочные проходы на расстояние не ближе  $\frac{1}{2}$  от основного прохода;
- использовать по возможности только опции оптического приближения на фотокамере (Zoom);
- проводить максимально возможную круговую съемку с учетом направленности источников освещения;
- принимать во внимание блики и искажения от отражающих поверхностей (снега, воды и др.);
- для корректного восстановления 3D-модели одного хода съемки рекомендуется ми-

нимальное количество фотографий – 15, оптимальное – 30 и более.

С увеличением числа съемочных проходов возросло количество фотографий. В результате процесс их обработки стал длительнее. Несмотря на это, корректировка схемы съемки оказала значительное положительное влияние на улучшение четкости восстанавливаемых 3D-моделей, а также на глубину их проработки. В свою очередь это позволило более точно определять геометрические размеры дефектов сооружений и, соответственно, точнее разработать мероприятия по ремонту, видам и объемам работ.

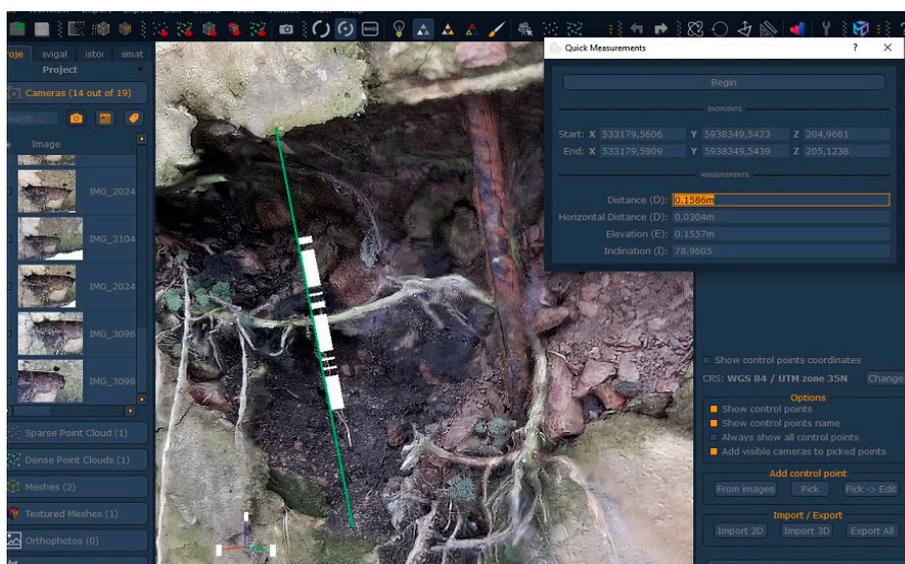
Использование программных средств измерения приведено на рис. 5 (а, б, в). Исходя из размеров дефектов, можно в качестве примера рассчитать приблизительный объем бетона ( $V_6$ ), необходимый для заливки каверны:  $V_6 = 0,005 \text{ м}^3$  (рис. 5, б, в).



а



б



в

Рис. 5. Результаты измерения геометрических размеров ГТС, их частей и дефектов (каверна)

Таким образом, установлено, что на этапе первичного визуального и инструментального обследования и при проведении проектно-изыскательских работ использование фотограмметрических инструментов может в значительной степени сократить различные виды

издержек, повысить оперативность, позволить более точно определять виды работ, необходимых для устранения дефектов на ГТС и впоследствии применяться при паспортизации, инвентаризации мелиоративных систем совместно с геоинформационными системами.

### Заключение

Применение современных неразрушающих способов диагностики бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях водонасыщения и низких температур, актуально в целях обеспечения надежности и долговечности мелиоративных гидротехнических сооружений.

Диагностика состояния ГТС посредством метода фотограмметрии и 3D-моделирования на разных этапах обследования позволяет:

- 1) своевременно, оперативно и с минималь-

- ными затратами выявлять дефекты и разрушения на сооружениях; 2) более эффективно и сбалансированно оценивать объемы ремонтно-эксплуатационных работ либо – при необходимости – принимать решение о проведении дальнейшей углубленной диагностики состояния ГТС; 3) в значительной степени оптимизировать процесс обследования ГТС, дополняя визуальный осмотр и повышая качество полученных результатов.

### Библиографический список

1. Строительные нормы Республики Беларусь. Техническое состояние зданий и сооружений : СН 1.04.01-2020. – Введ. 27.10.2020 г. – Минск : Минстройархитектуры, 2021. – 68 с.
2. Анженков, А. С. Современные технические средства диагностики мелиоративных гидротехнических сооружений / А. С. Анженков, А. А. Левкевич // Мелиорация. – 2023. – № 3 (105). – С. 5–13.
3. Краснопевцев, Б. В. Фотограмметрия / Б. В. Краснопевцев. – Москва : УПП «Репрография» МИИГАиК, 2008. – 160 с.
4. Agisoft Metashape. Professional Edition: руководство пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agisoft.com/features/professional-edition/>. – Дата доступа: 02.04.2024.
5. 3DF Zephyr 7.5. User manual [Электронный ресурс]. – Mode of access: <https://www.3dflow.net/technology/documents/3df-zephyr-documentation/>. – Date of access: 05.04.2024.

Поступила 15 августа 2024 г.