

УДК 502.5; 614.8; 004,891.5

Научно-технические разработки по анализу состояния водных объектов Беларуси для предотвращения чрезвычайных ситуаций

Левкевич Виктор Евгеньевич

*ведущий научный сотрудник лаборатории обработки и распознавания изображений, доктор технических наук, профессор
E-mail: v.lev2014@mail.ru*

Мильман Виктор Абрамович

*ведущий научный сотрудник лаборатории обработки и распознавания изображений, кандидат физико-математических наук
E-mail: VictorMi29@mail.ru*

Крючков Александр Николаевич

*заведующий лабораторией картографических систем и технологий
E-mail: Lab210@newman.bas-net.by*

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси (ОИПИ НАН Беларуси) участвует в выполнении государственных программ научных исследований, направленных на обеспечение безопасности человека, общества и государства. В частности, исследуются вопросы безопасности при чрезвычайных ситуациях. В лаборатории картографических систем и технологий и лаборатории обработки и распознавания изображений ОИПИ НАН Беларуси выполнялись работы, связанные с рисками чрезвычайных ситуаций на водных объектах и гидротехнических сооружениях (ГТС). Актуальность этой тематики обусловлена следующими факторами:

- бóльшая часть водохранилищ и ГТС на территории Беларуси построена в период с 1950 по 1970 г. и с тех пор израсходовала значительную долю своего ресурса;
- в связи с масштабной мелиорацией и климатическими изменениями условия на водных объектах стали иными и, по мнению многих специалистов, возросла вероятность экстремальных метеорологических явлений;
- в силу ряда экономических перемен изменился режим использования многих водных объектов, на некоторых из них установлены малые гидроэлектростанции.

Работы по оценке безопасности эксплуатации водных объектов выполнялись совместно с БНТУ, БГТУ и Университетом гражданской защиты (УГЗ) МЧС. Специалисты из БНТУ разрабатывали теоретические вопросы гидрологии и механики. В БНТУ и УГЗ проводили экспериментальные исследования в гидротехнической лаборатории. Специалистами из УГЗ, БГТУ и ОИПИ НАН Беларуси осуществлялись натурные обследования водных объектов и ГТС, разрабатывались базы данных для информации о водных объектах. В УГЗ и ОИПИ НАН Беларуси создавались алгоритмы и программы расчета разрушения дамб, плотин и берегов, а также расчета экономических ущербов от аварий на водных объектах. В ОИПИ НАН Беларуси велись работы по применению цифровой картографии к изучению водных объектов. Специалисты из ОИПИ НАН Беларуси и БНТУ выполняли аэросъемку водных объектов с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и исследовали вопросы применимости результатов аэросъемки. Научными руководителями работ на разных этапах были доктор технических наук, профессор В. Е. Левкевич (БНТУ, ОИПИ НАН Беларуси), кандидат физико-математических наук В. А. Мильман (ОИПИ НАН Беларуси) и доктор технических наук, академик С. В. Абламейко (БГУ, ОИПИ НАН Беларуси).

Рассматривались следующие водные объекты:

- водохранилища с малыми гидроэлектростанциями;
- водохранилища для водоснабжения и регулирования стока;

- водохранилища технического назначения (охладительные, технологические, очистные);
- пруды-накопители мелиоративных и польдерных систем;
- шламоохранилища;
- судоходные реки и каналы.

По перечисленным типам водных объектов выделены группы тестовых объектов на территории всех областей Беларуси. На тестовых объектах проведены натурные обследования, в ходе которых зафиксированы деформации и повреждения гидротехнических сооружений, разрушения берегов, заболачивания прибрежной зоны. Замерены количественные показатели повреждений, определены вероятные повреждающие факторы и явления.

По итогам результатов обследований предложена классификация типичных повреждений ГТС водных объектов. Выделены основные группы повреждений, несущих опасность возникновения чрезвычайных ситуаций. Наиболее часто встречаются повреждения сооружений напорного фронта (дамб и плотин). Типичны повреждения верхового откоса, такие как поломка плит крепления и вынос грунта из-под крепления. Встречается опасное разрушение низового откоса – суффозионный вынос грунта, возникающий при нарушении нормальной фильтрации воды через сооружение. На многих водохранилищах и прудах отмечены повреждения водосбросных и водорегулирующих сооружений, особенно это характерно для прудов-накопителей мелиоративных и польдерных систем, а также разрушения берегов. Некоторые типичные повреждения проиллюстрированы ниже.

Наиболее вероятной причиной разрушения верховых откосов дамб и плотин признано комплексное воздействие природных факторов: волн и течений (абразия), дождей и ветров (эрозия), а также льда. Возможной причиной нарушения фильтрационной устойчивости плотин являются изменения условий эксплуатации водохранилищ, ошибки при проектировании и эксплуатации.

Натурные обследования показали, что состояние большинства водных объектов не несет непосредственной угрозы чрезвычайных ситуаций с тяжелыми последствиями. Однако многочисленные повреждения и деформации ГТС повышают вероятность аварий, особенно при экстремальных природных явлениях (паводках, ледоходе). Из этого следует целесообразность периодического обследования состояния водных объектов. Предложены понятие экспресс-обследования состояния водных объектов с целью оценки опасности чрезвычайных ситуаций и методические рекомендации по проведению экспресс-обследования.

Для накопления информации об обследованиях водных объектов разработаны два варианта специализированных баз данных (БД), обеспечивающих ввод, хранение, поиск и выдачу информации. Первый вариант специализированной БД является простым и рассчитан на быстрое освоение пользователем с начальным уровнем подготовки. БД основана на стандартных средствах пакета программ Microsoft Office и реализована в виде шести независимых частей, каждая из которых соответствует одной из областей Беларуси. Части БД заполнены общей информацией о водных объектах и результатами натурных обследований. Этот вариант БД передан для использования во все областные управления МЧС. Некоторые экранные диалоговые формы БД изображены на рис. 1 и 2.

Второй вариант БД водных объектов предназначен для работы совместно с геоинформационной системой, разработанной в лаборатории картографических систем и технологий ОИПИ НАН Беларуси. БД позволяет вводить, хранить и выдавать пользователю в удобной форме наиболее полный в настоящее время перечень характеристик водных объектов и ГТС. БД ГТС построена с помощью реляционной модели представления данных. В качестве системы управления базами данных используется Microsoft SQL Server. Система строится по трехуровневой архитектуре: клиент (средство веб-просмотра), веб-сервер, SQL-сервер (сервер БД). Доступ к БД с рабочих мест пользователей выполняется с помощью средств клиентской операционной системы. Клиент отображает серверные страницы и обеспечивает интерактивное взаимодействие с системой БД.

Для хранения информации о водных объектах и ГТС в БД разработаны несколько десятков видов таблиц и справочников. Для взаимодействия с пользователем созданы экранные диалоговые формы в виде окон, некоторые из них показаны на рис. 3.



Повреждения в нижнем бьефе на вдхр. Волпа



Повреждения водосбросных сооружений на вдхр. Лаздуны



Разрушения плит креплений откоса на Чигиринском вдхр.



Вывос грунта из-под плит крепления откоса на вдхр. Млынок



Разрушение берега на Вилейском вдхр.



Подтопление леса на вдхр. Гродненской ГЭС

Область	Район	Название водохранилища	Бассейн реки	Река, озеро, канал	Тип	Вид регулирования	Основное назначение	Год ввода в эксплуатацию	Объем, км³ польный по летам	Площадь, км²	Отметка НПУ/УМО, м	Длина, км вдр. береговая линия	Ширина, км максимальная по средине	Глубина, м максимальная по средине			
Могилевская	Горький	Днепр	Днепр	р. Днепр	руслонное	сезонное	орошение, работа водозабора	1979	4,43,6	0,98	184,0179,0	6,016,2	0,30,16	8,54,5			
		Крытая характеристика сооружений напорного фронта		Состав гидротехнических сооружений		Техническое состояние сооружений		Берегоукрепительные сооружения		Водосборные сооружения		Вольфутски		Плотина			
		Плотина—земляная, длиной 375 м, с трубчатой дренажной, верховой откос пологой заложения, максимальная высота плотины —10,0 м, ширина плотины по гребню —6,5 м. Водосброс —бетонный, лотный, трубчатый, с тремя вальцовыми ковшо-вамя оголовками и латно вышки трубопроводов диаметром 500 мм, автоматиче-ский. Водоспуск —лотный, трубчатый, диаметром 400 м, рассчитан на пропуск рас-хода воды—1,4 м³/с.		лотина, водосброс, водоспуск		Эксплуатирует водохранилище РУП «Учход ВГСА».		0		0		0		0		29.09.2011	

Рис. 1. Главная страница БД на основе Microsoft Office

Область	Район	Название водохранилища	Бассейн реки	Река, озеро, канал	Тип	Вид регулирования	Основное назначение	Год ввода в эксплуатацию	Объем, км³ польный по летам	Площадь, км²	Отметка НПУ/УМО, м	Длина, км вдр. береговая линия	Ширина, км максимальная по средине	Глубина, м максимальная по средине
Могилевская	Горький	Днепр	Днепр	р. Днепр	руслонное	сезонное	орошение, работа водозабора	1979	4,43,6	0,98	184,0179,0	6,016,2	0,30,16	8,54,5

Рис. 2. Данные по выбранному объекту в диалоговой форме БД

База данных гидротехнических сооружений

Меню: Главная, Добавить, Пользователь, РМ, Организация, Поиск, Справка, Администрирование, Файлы, Сервис, БД, Каталог

Комплекс ГТС

Наименование сооружения*: вдр. Петровича
 Назначение сооружения: Водоснабжение
 Дата включения в реестр: 13.10.2000
 Местоположение сооружения (В, L): 52° 17' 27" N, 27° 22' 01" E
 Организация собственника: Контракт 1
 Эксплуатирующая организация: Контракт 1
 Численность службы эксплуатации ГТС: 200
 в т.ч. лиц, имеющих специальное образование: 120
 Бюджетная стоимость ГТС (на год включения в реестр): 1000000
 Остаточная стоимость ГТС (на год включения в реестр): 800000
 Процент износа: 35
 Ввод в эксплуатацию: 01.01.1988
 Максимальный размер распространения последствий аварии ГТС (км. кв): 40
 Наличие системы оповещения об угрозе ЧС: Да

Выбор и редактирование справочников

Меню: Главная, Добавить, Пользователь, РМ, Организация, Поиск, Справка, Администрирование, Файлы, Сервис, БД, Каталог

Справочники

- предназначения гидротехнических сооружений
- единицы измерения уровня безопасности ГТС
- ГТС по виду сооружения
- ГТС по виду и типу сооружения
- ГТС по материалу строительства
- ГТС по расположению в устье сооружения
- ГТС по типу оборудования водосливной части
- ГТС по конструкции головной части
- ГТС по конструкции водоподъемного устройства
- ГТС по типу сооружения водозабора
- ГТС по высокому расположению водоприемника
- ГТС по способу управления затворами водозабора
- ГТС по способу подвода воды водозабора
- ГТС по материалу изготовления канавок по назначению
- ГТС по материалу облицовки канавок
- ГТС по материалу крепления
- ГТС по виду складываемых откосов
- ГТС по назначению и расположению насыпных ступеней по надежности подвода
- ГТС по материалу сооружения по конструкции отстойника
- ГТС по способу удаления наносов отстойника
- ГТС по месту расположения отстойника по назначению
- ГТС по типу грунтов основания
- ГТС по материалу и податливости элементов
- ГТС по классификации

В.Д. ГТС - версия 1.1
 разработчик: СИЭИ НАН Беларуси

Рис. 3. Диалоговые формы ввода информации о ГТС

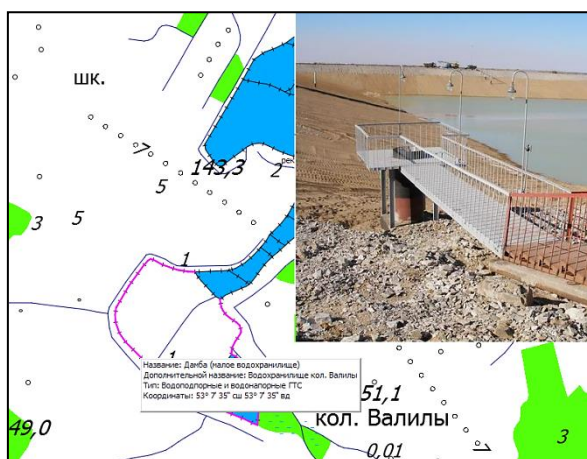


Рис. 4. Вывод краткой справочной информации для объекта «Дамба»

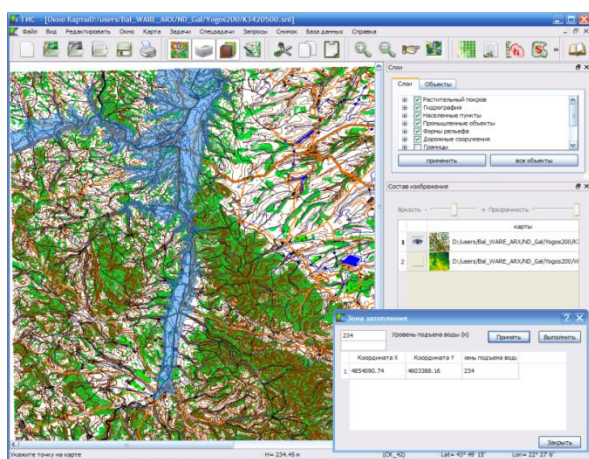


Рис. 5. Моделирование зоны затопления на основе матрицы высот



Рис. 6. Квадрокоптер модели DJI Phantom 3 Professional



Рис. 7. Разрушение берегов (съемка с БПЛА)

Геоинформационная система (ГИС) выполняет функции создания, редактирования, трансформирования и отображения картографической информации. Имеется возможность подключения пользовательских БД и отображения пользовательской информации в картографической форме. Для возможного использования в задачах анализа безопасности водных объектов в ГИС выполнены доработки. В частности, обеспечена возможность отображения информации из БД водных объектов, привязанной к конкретному объекту карты (рис. 4). Это позволяет использо-

вать ГИС как на этапе планирования обследования водных объектов, так и на этапе анализа результатов обследований. Для анализа последствий возможных прорывов плотин в ГИС включена функция расчета высот рельефа в матричной форме и процедура моделирования затопления местности (рис. 5).

Для оценки и прогнозирования развития деформаций и повреждений ГТС и берегов водных объектов разработаны модели, формулы, алгоритмы и программы расчета следующих показателей:

- волнового воздействия на берега водоема;
- общей и местной устойчивости откосов земляных гидротехнических сооружений;
- устойчивости креплений откосов;
- фильтрационной устойчивости плотин из грунтовых материалов;
- подтопления при воздействии водных объектов на прилегающие территории;
- подпора грунтовых вод при подъеме уровня воды в водоемах,

а также величины деформации берегов от воздействия водных объектов на прилегающие территории; алгоритмы отбора объектов, подвергающихся опасности при аварии на водохранилище; размеры подтопления прибрежной территории русловых водохранилищ и модели формирования и развития подводной части береговой отмели.

При расчете волнового воздействия на берега водоема программно реализован алгоритм вычисления длины разгона волны в соответствии с государственным стандартом Республики Беларусь. Выявился недостаток данного алгоритма, проявляющийся в резком изменении длины разгона при малом изменении координат точки береговой линии, в которой рассматривается волновое воздействие. Это случается при рассмотрении водохранилищ вытянутой формы, что характерно для водохранилищ руслового типа. Предложен другой алгоритм вычисления длины разгона волны, лишенный указанного недостатка.

Для прогнозирования величин деформации берегов от воздействия водных объектов применен подход, предложенный В. Е. Левкевичем. Величина деформации выражается в виде линейного уравнения от трех безразмерных агрегированных показателей. Первый показатель описывает морфометрические характеристики водохранилища на расчетном створе, второй – гидрологический режим водохранилища и третий – геоморфологические характеристики берегового склона. Коэффициенты линейного уравнения определяются методом наименьших квадратов на основе натурных измерений.

К настоящему времени натурные наземные обследования являются единственным способом наблюдения за состоянием ГТС и берегов водных объектов. Натурное обследование водохранилищ большого размера требует значительного времени, что не всегда удобно в задачах предупреждения чрезвычайных ситуаций. Для ускорения процесса обследования предложено использовать съемку с БПЛА. Необходимо установить, какие повреждения и деформации ГТС и берегов водных объектов распознаются по фотосъемке с БПЛА. Проведены экспериментальные съемки ряда водохранилищ с БПЛА – квадрокоптера модели DJI Phantom 3 Professional (рис. 6).

Установлено, что съемка с БПЛА позволяет выявить следующие повреждения:

- разломы плит крепления откосов плотин;
- раскрытие стыков между плитами крепления плотин;
- значительные деформации гребня плотин;
- разрушения откосов плотин;
- разрушения берегов водных объектов (рис. 7);
- подтопление прибрежных территорий, в том числе лесов.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что если БПЛА под управлением оператора способен облететь береговую линию водного объекта, то результаты съемки дают достаточную информацию для экспресс-обследования состояния объекта.

Результаты выполненных работ служат научной основой мониторинга состояния водных объектов и ГТС для выявления опасных процессов, приводящих к чрезвычайным ситуациям. Регулярный мониторинг позволяет вовремя выявлять нарушения и принимать меры по профилактике чрезвычайных ситуаций и снижению возможного ущерба.