

$$v_2 = v_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} = v_1 \left(\frac{D}{d} \right)^2,$$

где D – больший диаметр конфузора; d – меньший диаметр конфузора.
В результате получим

$$v_2 = v_1 \left(\frac{106}{65} \right)^2 = v_1 \cdot 2,66.$$

С учетом этого соотношения можно записать

$$\rho Q v_1 (1 - 2,66) = R, \quad R = -1,66 \rho Q v_1,$$

т.е. использование конически сужающегося насадка конфузора теоретически может увеличить тягу судна приблизительно на 60-70 %. Знак «-» говорит о том, что реактивная сила направлена в сторону движения судна, т.е. действует противонаправлено по отношению к струе, вытекающей из насадки конфузора.

Эксперимент, проведенный в гидравлическом лотке кафедры ГЭСВТГ, показал, что при использовании сопла с углом конусности $\alpha = 40-41^\circ$ тяга водометного двигателя примерно увеличивается на 10-20 % из-за механических, гидравлических и тепловых потерь при работе водометного двигателя.

Литература

1. Качанов, И. В. Расчет оптимального угла конусности, используемого для реверсивно-струйной очистки металлических поверхностей от коррозии / И. В. Качанов, И. М. Шаталов, А. Н. Жук, В. В. Верременюк, А. В. Филлипчик // Наука и техника. – 2019. – Т.18, №3. – С. 216 – 222.

УДК [574+504] (576)

Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга берегов и верховых откосов сооружений водохранилищ

Левкевич В. Е.¹, Бузук А. В.², Касперов Г. И.³,
Мильман В. А.⁴, Решетник С. В.⁴

¹Белорусский национальный технический университет

²Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь

³Белорусский государственный технологический университет

⁴Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

В настоящей статье приведены результаты исследований по оценке деформаций естественных берегов и состояния эксплуатируемых сооружений берегозащиты и креплений откосов подпорных сооружений на водохранилищах Беларуси с помощью средств дистанционной диагностики. На

основе анализа и опыта использования современных технологий обработки спутниковой информации, методов и средств дистанционной диагностики – беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – получены выводы и даны некоторые концептуальные предложения по ведению мониторинга береговой зоны водных объектов.

Водохранилища представляют собой сложные природно-технические комплексы. Создаваемые на базе рек и озер водные объекты наряду с положительным эффектом оказывают отрицательное воздействие на окружающую природную среду. Наиболее опасные проявления этого – абразия естественных берегов и деформации незакрепленных верховых грунтовых откосов дамб и плотин и креплений различного типа. В результате развития указанных отрицательных процессов происходит изъятие сельскохозяйственных земель и лесных угодий из оборота, разрушение селитебных территорий, нарушение условий жизнедеятельности населения, что приносит значительный ущерб народному хозяйству государства. В настоящей работе приведены некоторые результаты исследований, целью которых явились

- разработка предложений по мониторингу деформаций берегов, состоянию ограждающих сооружений водных объектов, водозаборов и очистных сооружений на основе данных дистанционного зондирования;
- оценка возможности комплексного использования технологии и применения систем обработки космических и авиационных снимков, а также сведений беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и наземных съемок для решения задач мониторинга природных процессов и прикладных задач, связанных с эксплуатацией сооружений.

Комплексное совместное натурное обследование ряда водохранилищ Беларуси и сооружений на них с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), проводимых Белорусским национальным техническим университетом, Объединенным институтом проблем информатики НАН Беларуси и другими организациями позволило установить нарушения в состоянии и дефекты инженерной защиты берегов водохранилищ [1, 2].

Практика показала, что использование дистанционных методов обеспечивает одновременную (в расчете на масштаб процесса) съемку большого района береговой зоны и контроль ее состояния (размер поля съемки в несколько квадратных километров) при небольшом временном смещении. Эти методы на основе высокого информационного содержания материалов космической съемки позволяют получать как топографические, так и тематические карты прибрежных территорий. Например, снимки с МКС с высоты около 250 км (масштаб оригинала М 1:2000000) в четырех спектральных диапазонах видимого излучения (от 460 до 680 нм) дают разрешение на поверхности Земли, равное около 10 м для линейных объектов. Вследствие высокой

метрической точности многозональные снимки можно относительно просто совмещать с существующими картами. Таким образом, имеется возможность постоянного обновления различных серий карт и баз данных (например, базы данных кадастра берегов).

Определено, что для мониторинга берегов водохранилищ и ограждающих сооружений (дамб) должны выделяться репрезентативные участки прибрежной и береговой территории. При выборе характерных репрезентативных участков учитываются геологические, морфологические и гидрологические особенности береговых склонов, причем при выборе участков наблюдений применялся предложенный нами комплексный критерий однородности выборки контрольных створов [1], структура которого

$$P_r = \left\{ \text{Тип} \left[\text{Подтип} (\text{Форма склона}) \right] \right\}$$

где P_r – комплексный безразмерный критерий, позволяющий учитывать пространственную однородность фрагментов участков береговой линии, необходимую при проведении сравнительного анализа объектов мониторинга. Протяженность участков может быть различной. Опытным путем установлено, что наилучшим периодом проведения наблюдений является весна или же период предледоставный (октябрь–ноябрь). Информация, полученная в результате съемок по каждому объекту, после обработки заносится в базы данных, что позволяет в дальнейшем производить корректировку ретроспективных прогнозов.

Дистанционная диагностика с использованием современных БПЛА облегчает и ускоряет процесс мониторинга прибрежной зоны водохранилищ, а крупномасштабная съемка наиболее удобна для оценки и инвентаризации состояния откосов подпорных сооружений и их креплений (рис. 1).



Рис. 1. Деформации верхних откосов ограждающей дамбы



Рис. 2. БПЛА – квадрокоптер модели DJI Phantom 3 Professional

В осенний период 2019 г. была экспериментально апробирована методика регистрации деформации береговых склонов и оценки состояния дамб обвалования, а также их крепления с помощью легкого беспилотного летательного аппарата (БПЛА) – квадрокоптера. Используемый квадрокоптер модели DJI Phantom 3 Professional оснащен системой позиционирования GPS и позволяет получать видео и фото HD качества в он-лайн режиме (рис. 2).

Один из снимков участка разрушаемого берега, полученный с использованием видеокамеры высокого разрешения БПЛА, приведен на рис.3. В процессе натурного эксперимента были проведены съемки береговой линии Заславского водохранилища протяженностью около 2000 м, ограждающих дамб польдеров и их откосов.



Рис. 3. Заславское водохранилище. Юго-западный берег. Участок № 4.
Поперечники № 1-3.

На переднем плане – сформированный поток наносов. Высота съемки 50 м

Полученные данные и материалы съемок позволили заключить, что:

- регистрация и наблюдение за развитием процесса разрушения естественных берегов водохранилищ и креплений откосов дамб и плотин с помощью БПЛА возможны и рекомендуются для использования в Беларуси;
- возможно получение необходимых и достаточных точных измерений линейных деформаций склонов и откосов дамб и плотин, а также их креплений с помощью БПЛА;
- для оценки влияния водных объектов на прилегающие территории может использоваться комбинированная съемка с интеграцией на основе ГИС-систем: спутниковая высокого разрешения, беспилотными летательными аппаратами и наземная.

Литература

1. Левкевич, В. Е. Гидро-морфодинамика прибрежной зоны водохранилищ ГЭС Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск: Право и экономика, 2018. – 143 с.
2. Левкевич, В. Е. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск: БНТУ, 2019. – 172 с.

УДК 627.824

Условия разрушения крепления низового откоса грунтовой плотины при переливе воды через гребень

Богославчик П. М., Евдокимов В. А., Немеровец О. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

На основе совместного рассмотрения формулы критических скоростей с гидравлическими параметрами потока разработана расчетная схема определения времени начала разрушения крепления низового откоса грунтовой плотины при переливе воды через гребень. Схема привязана к напору на гребне размываемой плотины, что очень удобно при расчете размыва.

В предложенной ранее методике расчета размыва грунтовой плотины при переливе воды через гребень [1] предполагается, что размыв начинается сразу же с началом перелива. На практике же на низовом откосе всегда имеется крепление, которое разрушается не сразу, а некоторое время сопротивляется размыву. Схема перелива представлена на рис.