

УДК 001.891.55:627.8

Г. И. Касперов, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
В. Е. Левкевич, кандидат технических наук, доцент (КИИ МЧС Республики Беларусь);
С. М. Пастухов, кандидат технических наук, доцент (КИИ МЧС Республики Беларусь);
А. В. Бузук, адъюнкт (КИИ МЧС Республики Беларусь);
А. А. Новиков, кандидат технических наук, доцент (БНТУ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА СТОКОВЫХ ТЕЧЕНИЙ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Представлены результаты измерения стоковых течений в природных и лабораторных условиях каскада водохранилищ Вилейско-Минской водной системы. По результатам исследований подготовлен программный продукт для расчета скоростного напора на водохранилищах. При решении задач моделирования на водных объектах были определены соответствующие расчетные схемы (алгоритмы), которые позволили выполнять расчет режима распределения скоростей и оценку устойчивости берегоукрепительных сооружений.

The results of laboratory and field surveys of Vileysko-Minskaya hydrologic system discharge currents were presented. Software for reservoirs currents dynamical pressure counting was developed basing on the results. Modeling in water bodies let invent calculation algorithms for currents speed spread mode counting and banks fixing constructions stability evaluation.

Введение. В Республике Беларусь насчитывается более 150 искусственных водных объектов (водохранилищ) различного типа с полным объемом более 1 млн. м³ и суммарной площадью водного зеркала свыше 800 км², в том числе более 20, созданных на базе озер [1]. В стране с развитием промышленности, сельского хозяйства, транспорта и других отраслей происходит увеличение объема энергопотребления. Для стабильной работы экономики государства необходимо увеличение количества энергопроизводящих объектов и наращивания их мощностей. В настоящее время ведется строительство крупнейшей в Беларуси гидроэлектростанции на реке Неман (Гродненской ГЭС) и планируется строительство каскадов водохранилищ гидроэнергетического назначения на реках Западная Двина, Днепр, Сож. Наряду с этим возникает проблема защиты населения и территорий, окружающей среды от гидродинамических опасных факторов, приводящих к возникновению чрезвычайных ситуаций гидрологического характера. Одним из основных вопросов при решении вышеуказанной проблемы является прогнозирование эксплуатации естественных защищенных и незащищенных береговых склонов, поскольку консервация первоначального на момент создания водохранилищ состояния берегов не обеспечивает эффективных технико-экономических решений.

Основная часть. В настоящее время полномасштабные исследования устойчивости сооружений и элементов берегоукрепительных сооружений водохранилищ проводят ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, Институт географии РАН,

ЗАО «ДАРВОДГЕО» (Российская Федерация) и др. Наиболее известными исследованиями являются работы Б. А. Пышкина, Ю. А. Соболевского, Н. Е. Кондратьева, Э. И. Михневича и др. [2, 3]. Характерным повреждением берегоукрепительных сооружений является разрушение швов, что сопряжено в дальнейшем с выносом грунта, просадкой плит, появлением трещин и разломов и, как следствие, разрушением этих сооружений. Зачастую мероприятия по ремонту и восстановлению протекают очень медленно, что повышает вероятность повторных аварий на данных объектах.

Поэтому для того чтобы спрогнозировать негативные процессы в береговой зоне водохранилищ, авторами были проведены натурные измерения скоростей течения на каскаде водохранилищ Вилейско-Минской водной системы. Затем в лабораторных условиях был смоделирован аналогичный каскад водохранилищ, на котором проводились измерения скоростей течения в различных створах, совпадающих со створами на реальных объектах.

При решении задач моделирования в водных объектах, к которым относятся водотоки и водоемы, важную роль играет определение соответствующих расчетных схем (алгоритмов), по которым в последующем будет выполняться расчет режима распределения скоростей и оценка устойчивости сооружений.

Исходя из данных натурных и лабораторных исследований, был разработан программный продукт на языке Паскаль, позволяющий производить расчеты значения скоростей и напоров потока жидкости.

Поскольку при игнорировании роторной составляющей скоростного потока $\bar{V}(x, y)$, которая важна только при оценке процесса конвективной диффузии различных примесей, исходная модель (формулы (1) и (2))

$$h\rho U U_x + h\rho V U_y + P_x + \alpha F(h)U - \gamma(hU)_{xx} - \gamma(hU)_{yy} = 0; \quad (1)$$

$$h\rho U V_x + h\rho V V_y + P_y + \alpha F(h)V - \gamma(hV)_{xx} - \gamma(hV)_{yy} = 0; \\ (hU)_x + (hV)_y = 0 \quad (2)$$

будет описывать потенциальную составляющую скоростей $\bar{V}^*(x, y) = \text{grad}P(x, y)$.

Введенный потенциал $P(x, y)$ позволяет свести систему из трех уравнений (1)–(2) к одному уравнению типа Лапласа:

$$\nabla(F(x, y)\nabla P) = 0. \quad (3)$$

Граничными условиями для уравнения (3) являются требования непротекания на береговых линиях и задаваемый перепад отметок уровня на входном и выходном створах.

Реальные условия «прилипания» воды к береговой кромке реализуются за счет искусственного повышения шероховатости при малых глубинах, что вполне соответствует реальности.

Численное решение задач на базе уравнения (3) эффективно реализуется расщеплением по пространственным факторам, то есть путем сведения к малокритичному решению взаимозависимых одномерных задач.

Тестовым водоемом было выбрано водохранилище Криницы. В качестве исходной информации по координатной сетке задавались координаты контура береговой линии и глубины водоема, расчетные створы и острова.

Параллельно проводились лабораторные измерения скоростей течений на неразмываемых моделях водохранилищ путем использования маркера (красителя) для изучения характеристик распределения скоростей движения пятна (расстояние в единицу времени) с измерениями

осредненной скорости потока жидкости микрокомпьютерным расходомером-скоростемером.

Анализ данных компьютерного моделирования и данных лабораторных исследований показывает их идентичность, что подтверждают данные натуральных наблюдений за деформацией береговых склонов. На участках нахождения наибольших концентраций маркера (максимальных скоростей) прослеживается разрушение плит и берегов (абразии), что требует их дополнительного укрепления. Размыв склонов вызван при постоянной отметке уровня верхнего бьефа как ветроволновыми течениями (поперечное распределение скоростей), так и вдольбереговыми, что подтверждают результаты лабораторного моделирования.

Заключение. Анализ и проверка сходимости лабораторных и натуральных данных с результатами расчетов, полученных по настоящей методике с применением экспериментального программного обеспечения по уравнениям Сен-Венана (Буссинеска – Лапласа), показал, что они могут применяться на малых водохранилищах.

Апробация программного продукта показала возможным осуществление расчета распределения скоростей с погрешностью до 15% на примере водохранилищ Вилейско-Минской водной системы, что является достаточным для инженерных расчетов, при суммарной погрешности баланса расходов (по любым створам) менее 1%.

Литература

1. Водохранилища Беларуси: справочник / М. Ю. Калинин [и др.]; под общ. ред. М. Ю. Калинина. – Минск: ОАО «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа», 2005. – 182 с.
2. Пышкин, Б. А. Динамика берегов водохранилищ / Б. А. Пышкин. – Киев: Наукова думка, 1973. – 416 с.
3. Кондратьев, Н. Е. Расчет ветрового волнения и переформирование берегов водохранилищ / Н. Е. Кондратьев. – Л.: Гидрометеиздат, 1951. – 107 с.

Поступила 14.03.2012