

УДК 626.8

ЭКСПРЕСС-МЕТОДИКА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРНЫХ ОБОСНОВАНИЙ ПРОТИВОПАВОДКОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Степанов К.А.

ГНУ «ВНИИГиМ Россельхозакадемии»

Приводится описание методики предотвращения возможного ущерба, вызванного затоплением, подтоплением и размывом земель в результате обрушения плотины. Она показывает хорошие результаты на масштабных моделях, но при этом не требует несоизмеримых вычислительных затрат. С ее помощью возможно без использования сложных и дорогих программных средств рассчитывать зоны затопления, вызванные волной паводка или волной прорыва, что позволит специалистам оптимизировать работы по организации противопаводковых мероприятий. Для прогнозирования распространения волны прорыва на основе методики создана компьютерная программа, использование которой позволяет при минимальном наборе исходных данных проводить подробное моделирование распространения волны прорыва по руслу реки. Проведенные тестовые испытания и результаты показали, что созданная программа способна рассчитывать параметры волны прорыва и вычислять зоны затопления, ранжированные по глубине. Существенное отличие разработанной программы заключается в минимальном требуемом наборе начальных параметров и в простых и наглядных результатах. Так, в созданной программе выводится итоговая 2D-карта с изображением затопленных участков, ранжированных по глубине затопления, и другие параметры распространения волны прорыва.

Ключевые слова: моделирование распространения волны прорыва, защита земель от затопления, методика моделирования волны прорыва, влияние шероховатости поверхности на процесс распространения волны прорыва.

RAPID METHOD FOR THE PREPARATION OF ENGINEERING JUSTIFICATION OF FLOOD PROTECTION

Stepanov K.A.

BSE «ARSRIHR»

The description of the methods to prevent possible damage caused by the flooding, flooding and erosion of land due to the collapse of the dam. It shows good results in scale models but this requires separate computational cost. With its help it is possible without the use of complicated and expensive software to calculate the flood zone, or flood wave caused by a wave of breakthrough that will allow specialists to optimize the organization of anti-flood measures. To predict the propagation of a wave breaking on the basis of methodology developed a computer program, which allows the use of the minimum set of input data to conduct detailed modeling of wave propagation through on the riverbed. Conducting tests and the results showed that the created program can compute the break wave and calculate the flood zone, ranged in depth. The essential difference between the developed program is a required minimum set of initial parameters in simple and intuitive results. So to set up the program displays the final 2D map of the flooded areas, ranging in depth of flooding and other parameters of the wave break.

Keywords: wave breaking modeling, protection land from flooding, wave breaking simulation method, effect of surface roughness on the modelling of waves breaking.

В настоящее время одной из проблем мелиорации является затопление земель - как сельскохозяйственных, так и земель населенных пунктов. В последнее время увеличилось количество чрезвычайных ситуаций, которые привели к значительному ухудшению качества земель, также был причинён значительный ущерб населенным пунктам. Летом 2013 года в Амурской области из-за наводнения было эвакуировано 1727 человек, стихийное бедствие привело к гибели посевов сельскохозяйственных культур на площади в 627,4 тысячи гектаров. Летом 2012 года из-за наводнения в Крымске погибло 168 человек, пострадало

53 107 человек, было разрушено 1200 домов, наводнение уничтожило около 150 гектаров посевов, ущерб оценивается в 70 миллионов рублей.

Проведён анализ существующих программных комплексов, способных проводить моделирование распространения паводковых и прорывных волн. Для одномерного и двумерного моделирования волн существуют такие программные комплексы, как MIKE 11, MIKE 21, для трехмерного моделирования вязкой несжимаемой жидкости с сильно изменяющейся свободной поверхностью подходят такие программы, как Flow3D и ANSYS CFX (FLUENT). Из разработанных в России программных продуктов применён FlowVision, позволяющий решать трехмерные уравнения динамики жидкости и газа.

Показано, что все рассмотренные программные продукты не позволяют оперативно получать исходные данные для противопаводковых мероприятий, так как проведение моделирования требует значительных ресурсов: наличия дорогостоящего оборудования, временных затрат, привлечения высококвалифицированных специалистов. Таким образом, аргументирована необходимость создания упрощённой технологии инженерных обоснований противопаводковых мероприятий, сопоставимой по качеству с существующими и при этом обладающей преимуществом в скорости проведения моделирования и простотой в использовании. Технология должна при минимальном наборе исходных данных проводить моделирование распространения волны паводка или волны прорыва, выводить 2D-карту исследуемой местности с зонами затопления, ранжированную по глубине, и другие параметры распространения волн.

В случае если требуется оценить скорость распространения волны прорыва в зависимости от уровня воды в нижнем бьефе, можно рассчитывать ее по упрощенным формулам: (1) – для случая распространения волны по сухому (не заполненному водой) руслу, (2) – для случая распространения волны по водной поверхности, вместо того чтобы прибегать к сложным компьютерным моделям.

$$C_s = 2\sqrt{gd_0} \quad (1)$$

$$\frac{C_s}{\sqrt{gd_1}} = \frac{0.63545 + 0.3286 \cdot \frac{d_1^{0.65167}}{d_0}}{0.00251 + \frac{d_1^{0.65167}}{d_0}} \quad (2)$$

C_s (м/с) - скорость волны прорыва или паводка;

d_0 (м) - начальная глубина в верхнем бьефе;

d_1 (м) - глубина в нижнем бьефе.

При имеющихся расчетах времени добега фронта волны прорыва или паводка до рассматриваемого сечения можно оценить его при других значениях уровня воды в нижнем бьефе.

Распространение волны рассчитывается последовательно для каждого момента времени. Алгоритм реализует нисходящую и восходящую схему. При моделировании волны с понижением рельефа будет использоваться нисходящая схема, а в случаях образования волны подпора или обратного течения будет применяться восходящая схема. Окончание работы программы расчета будет в следующих случаях: исследована вся область либо «закончился» объем воды водохранилища или объём паводка за расчётный период. В таком случае будет определена территория, которая окажется затопленной при прохождении волны по исследуемому участку реки.

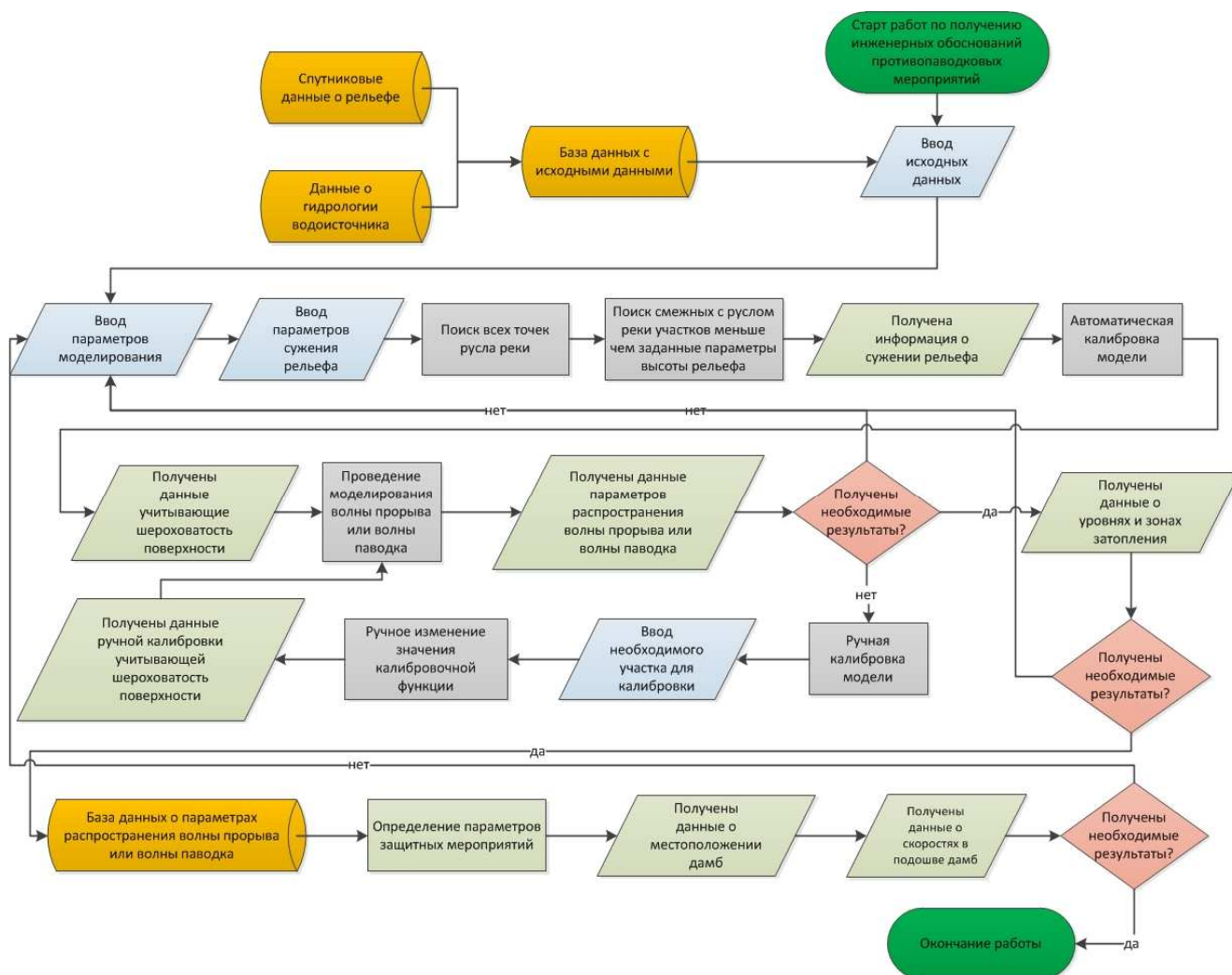


Рис. 1. Блок-схема алгоритма получения инженерных обоснований противопаводковых мероприятий

При распространении волны на исследуемой местности объем волны будет постепенно уменьшаться по мере затопления все больших участков. Объем оставшейся части волны F_i :

$$F_i = F_0 - \sum_{i=1}^N S_i \cdot h_i, \quad (3)$$

считая, что h – безопасный уровень, при котором волна не будет представлять ущерба для окружающей среды, S_i площадь ячейки, $i = 1 \dots N$ – количество затопленных ячеек.

Для определения глубины текущей ячейки будем использовать следующую формулу:

$$h_{n+1} = \sum_{k=1}^N \frac{h_k}{S_k}, \quad (4)$$

где h_{n+1} – глубина текущей ячейки, h_k – глубина предыдущей ячейки, S_k – количество ячеек, на которые разделилась h_k ячейка.

Таким образом, при выходе потока на открытый участок, например на пойму реки, глубина на смежных участках по направлению течения будет уменьшаться. При сужении потока произойдет подъем уровня воды.

Распространение волны будет происходить при выполнении условия:

$$Z_{n+1} \leq Z_n + h_k, \quad (5)$$

где Z_n, Z_{n+1} – высота рельефа в текущей и следующей ячейках.

Для улучшения качества получаемых результатов был разработан метод калибровки модели.

Проведенные исследования подтвердили возможность проведения автоматической калибровки модели следующим способом (блок-схема алгоритма, рис. 2).

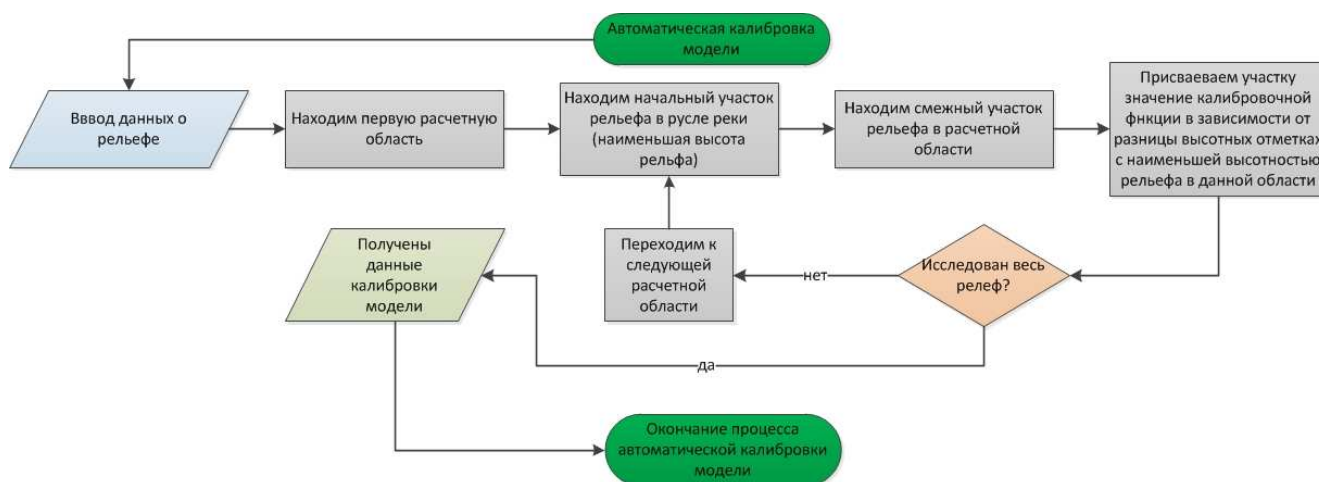


Рис. 2. Блок-схема алгоритма автоматической калибровки модели

1. Для каждого из сечений реки получаем значение коэффициента шероховатости $n_{\text{сеч}}$, которое равно:

$$n_{\text{сеч}} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{i}, \quad (6)$$

k - количество клеток (минимальных площадей) в рассматриваемом сечении;

n_i – коэффициент шероховатости для элементарного участка местности, который зависит от высотной координаты Z . Чем больше Z , тем больше коэффициент шероховатости. Чем выше от меженного уровня реки находится затопливаемый участок, тем выше его коэффициент шероховатости. Так, при увеличении расстояния и высоты рельефа от уреза воды коэффициент шероховатости будет увеличиваться.

2. По найденному значению коэффициента шероховатости $n_{\text{сеч}}$ находится значение калибровочной функции (7), которое подставляется в формулу для расчета скорости в рассматриваемом сечении. График зависимости калибровочной функции от коэффициента шероховатости, принимаемый в зависимости от типа подстилающей поверхности в формуле Н.Н. Павловского, приведен на рис. 3.

$$F(n) = (1,017 - 0,1719n + 165,09n^2)^{-1}, \quad (7)$$

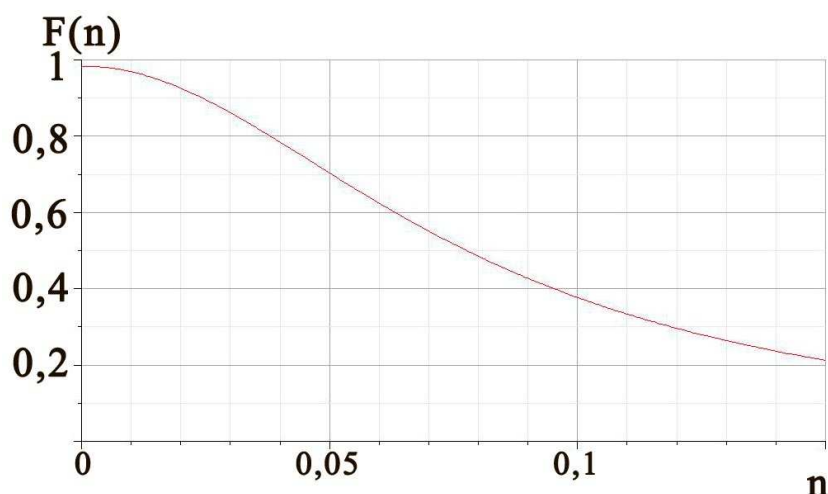


Рис. 3. График зависимости функции от коэффициента n в формуле Павловского

В результате примененного алгоритма производится автоматическая калибровка модели, используя данные из цифровой модели рельефа. В разработанном программном комплексе возможна последующая ручная корректировка коэффициентов шероховатостей.

Использование полученного метода позволяет при минимальном наборе исходных данных проводить моделирование распространения волны паводка или волны прорыва по руслу реки. Созданная оперативная методика позволяет за короткое время, в течение одного дня, провести моделирование распространения волны прорыва или волны паводка и получить необходимые инженерные обоснования требуемых противопаводковых мероприятий. В результате разработанной методики специалисты смогут получать инженерные обоснования необходимых работ по защите земель от затоплений. Созданный алгоритм и компьютерная реализация с использованием современных геоинформационных технологий позволяют проводить оперативное моделирование распространения волны прорыва или волны паводка и выводить 2D-карту исследуемой местности с отображением затопленных участков, ранжированных по глубине. Существенным отличием разработанной технологии от существующих аналогов является то, что для проведения моделирования требуется только спутниковая информация о рельефе и гидрологические данные о водоемосточнике.

Разработанный метод моделирования речного потока и определение зон затопления опробован на участке реки Малый Узень. Приведены тестовые результаты на примере участка реки Малый Узень, где были определены зоны затопления, посчитано время добегания волны, найдены параметры прохождения волны прорыва. На основе полученных данных было определено местоположение защитных дамб и отметка гребня.

Малый Узень – река в Саратовской области России и в Западно-Казахстанской области. Рассмотрен участок реки протяженностью 221 километр, и определены необходимые параметры противопаводковых мероприятий для защиты от прорыва плотины на Верхнеперекопновском водохранилище (рис. 4).



Рис. 4. Исследуемый участок реки Малый Узень (спутниковый снимок с указанными зонами затопления)

Выполненное сравнение результатов моделирования волны прорыва с использованием разработанной методики и программного комплекса MIKE 11 показало, что максимальное отклонение полученных значений площадей зон затопления составило 2,1% в большую сторону.

Для всех параметров распространения волны прорыва получили результаты, отличающиеся не более чем на 7% для любого рассматриваемого сечения. Следует отметить, что при более точном задании коэффициентов шероховатостей с учётом данных дешифрирования космоснимков возможно получение более качественных результатов. Полученные результаты подтверждают возможность использования разработанной методики для решения практических задач. В частности, при решении задач по определению параметров волны прорыва, возникающей вследствие обрушения плотины.

Список литературы

1. Алешкевич В.А. Механика сплошных сред : учебное пособие / В.А. Алешкевич, Л.Г. Деденко, В.А. Караваев. – М. : Издательство физического факультета МГУ, 1998. – 92 с.
2. Бритвин С.О., Беликов В.В., Милитеев А.Н., Прудовский А.М., Родионов В.Б. Компьютерное моделирование — современный инструмент решения задач речной гидравлики. Прогнозирование паводков в проекте «Волга-Рейн» // Безопасность энергетических сооружений : сб. Вып. II / ОАО НИИЭС. - М., 2003. - С. 126-132.
3. Пряжинская В.Г., Ярошевский Д.М., Левит-Гуревич Л.К. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами / Рос. акад. наук. Ин-т вод. пробл. - М. : Физматлит, 2002. - 494 с.
4. Henderson F.M. Open Channel Flow. – New-York, USA : MacMilan Company, 1966. – 522 p.
5. Montes J.S. Hydraulics of Open Channel Flow. – New-York, USA : ASCE Press, 1998. – 697 p.

Рецензенты:

Кирейчева Л.В., д.т.н., профессор, заместитель директора по науке, Государственное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова», г. Москва.

Сухарев Ю.И., д.т.н., профессор кафедры мелиорации и рекультивации МГУП, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства», г. Москва.