

УДК 614.8.084

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОРАЖАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЛНЫ ВЫТЕСНЕНИЯ НА ИСКУССТВЕННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

Пастухов С.М., Жук Д.В., Махмудов Э.М.о.

В статье приведена методика экспериментальных исследований параметров волн вытеснения на искусственных водных объектах, учитывающая обрушения цельного объема грунта и смеси камня с грунтом при различных сценариях развития аварийных ситуаций. На основании разработанной методики определены длина, высота волны, высота над гребнем плотины при переливе воды в зависимости от различных характеристик погружаемых образцов.

Ключевые слова: волна вытеснения, авария на гидротехническом сооружении, плотина, обвал, чрезвычайная ситуация.

(Поступила в редакцию 6 апреля 2017 г.)

Введение. Функционирование имеющихся и строящихся объектов энергетики без чрезвычайных ситуаций является важной задачей каждой страны. Как Азербайджанская Республика, так и Республика Беларусь богаты водными ресурсами. Около 0,2 % энергии, потребляемой в стране, вырабатывается гидроэлектростанциями, которые обеспечивают объекты регионального уровня. Территория Беларуси является водоразделом бассейнов Балтийского и Черного морей. Примерно 55 % речного стока приходится на реки бассейна Черного моря и 45 % – Балтийского. По территории республики протекает семь больших рек (Западная Двина, Западный Буг, Неман, Днепр, Припять, Виляя, Березина) и 41 средняя. Водотоки рек и их притоки питают водой искусственно созданные водохранилища, пруды, озёра. В настоящее время в Республике Беларусь создано и эксплуатируется 153 водохранилища. В северной части (Витебская область) широко используются водохранилища, созданные в результате подпора уровня воды в озерах (Освейское, Лепельское и т. д.) [1, 15].

Вместе с устойчивым и бесперебойным режимом работы гидротехнических сооружений (ГТС) в течение многих лет нельзя недооценивать риск аварий, тяжелые экономические и людские потери, вывод из строя оборудования и всего объекта в целом [2]. Такого рода аварии в мировой практике случаются с периодичностью 1,5-3 случаев за год [14]. Данные об авариях на искусственных водных объектах указывают на образование волны вытеснения, как на один из опасных сценариев развития чрезвычайной ситуации. Это связано как с поражающим действием самой волны, так и с вторичными факторами после ее образования [3, 6, 7]. Примерами катастрофического действия рассматриваемого явления служат аварии на таких плотинах как Вайонт (Италия), погибло около 2500 человек, уничтожено 2 населенных пункта; Лития Бей (США), нанесен крупный ущерб; Хок Крик (США), нанесен крупный ущерб. Еще большее количество аварий такого рода имеет место в мировой гидроэнергетике, но с меньшим ущербом [5].

Проанализировав процесс образования причин вышеупомянутых катастроф можно сделать вывод о схожести механизма образования волны вытеснения в каждом из случаев. Основная причина возникновения волны вытеснения состоит в передаче потенциальной энергии погружаемого тела в энергию образования волны. Погружаемым телом может послужить каменная осыпь, обвал грунта (берега), сход селя, сход лавины. Для образования волн вытеснения на водных объектах Республики Беларусь наиболее характерны обвалы слоев грунта, обвалы камня и грунта в смеси. Причем обвалы характерны не только для рек Неман (г. Гродно, Коложская церковь, 1853 г., 1884 г., 1889 г.; д. Дубно, Мостовский р-н), Западная Двина и Днепр, но и для равнинной Припяти, озера Нарочь и более крупных водохранилищ. Обрушения берегов на реке Неман были зафиксированы в 1853, 1884, 1889 годах в Гродненском районе, ежегодно в д. Дубно, Мостовского р-на главная причина ко-

торых является эрозии берегов и фильтрации в слоях грунта. Периодически происходят обрушения на реке Западная Двина. В 2006 году под угрозу обрушения попал жилой дом, построенный на берегу. Берега реки Припять имеют в большинстве своем пологие берега, не представляющие опасности обвала. Русло реки имеет большое количество изгибов, затонов, стариц. На изгибах, в местах с интенсивным движением, как правило происходит эрозия и обвал берега. За последние годы на реке Припять и ее притоках подобные обрушения произошли в 2010 и 2016 годах. Обвал 2010 года в Петриковском районе лишил жизни двух человек. Обвалы 2016 года произошли в г.Мозыре. Высота обвала составила около 20 м. Зарегистрированы обрушения откоса на водном объекте «Хмелевские пруды» города Заславля в 2015. Под водой оказались 4 единицы техники вместе с водителями. Зафиксированы трещины и сползание грунта на берегах озера Нарочь в Мядельском районе [10, 11, 12, 15].

Для прогнозирования поражающего воздействия волны на ГТС производится моделирование процессов возникновения, развития и воздействия на ГТС. Исходя из анализа экспериментальных данных, с учетом критериев геометрического и динамического подобия, можно будет прогнозировать распространение волны на реальных (действующих) объектах.

Методика проведения экспериментальных исследований. Для изучения параметров волны вытеснения на искусственных водных объектах были проведены лабораторные исследования по предварительно разработанной методике. Методика регламентирует порядок проведения регистрации параметров волны вытеснения при авариях гидроузлов на основании сценарного подхода. В результате исследований определены следующие параметры волны вытеснения [4]:

- высота волны в разные промежутки времени (h_i) (рисунок 1);
- длина волны в разные промежутки времени (l_i) (рисунок 1);
- объем опытного образца (V), угол заложения откоса, при котором высота волны вытеснения превысит высоту плотины ($m_1:m_2$) (рисунок 1).

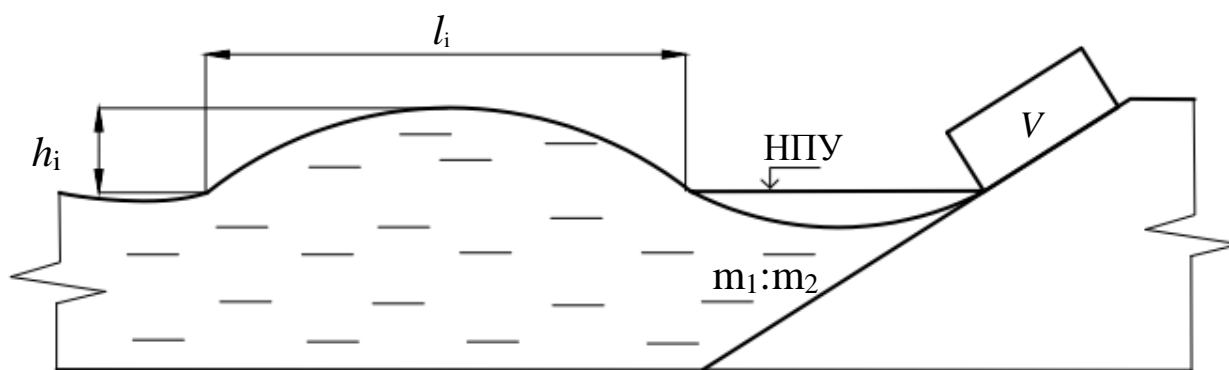


Рисунок 1. – Основные параметры волны вытеснения

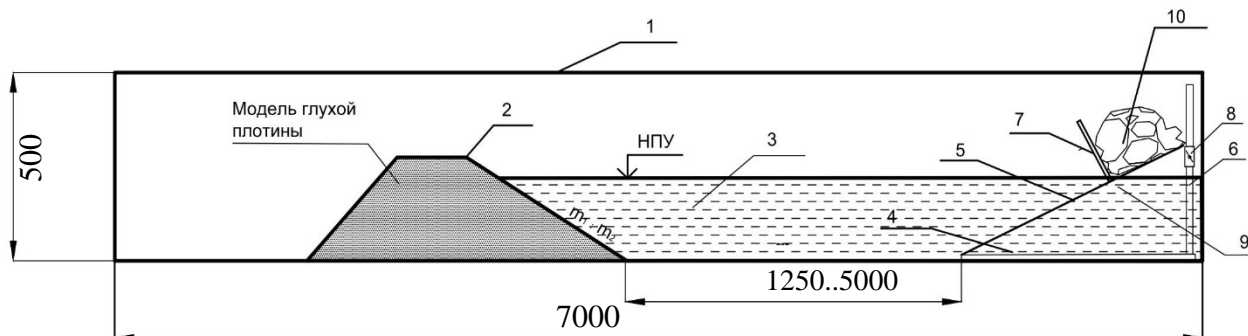
Моделирование возникновения волны вытеснения проводится по двум исходным сценариям:

1. Обрушение части берега, имеющего преимущественно однородный грунт, либо связанные слои грунта вследствие воздействия факторов овражной эрозии, увеличения нагрузки на склон, изменения внутреннего трения между слоями грунта и т. д. Механика воздействия такого рода обрушения характеризуется максимальным переходом потенциальной энергии оползня в кинетическую энергию движения волны [9]. Данный сценарий характерен для водохранилищ, расположенных в условиях рельефа Азербайджанской Республики.

2. Обрушение части берега, имеющего различный состав твердых пород грунта не связанного между собой. Такой сценарий моделирования применяется для оценки обрушения каменно-грунтовой смеси, не имеющей связи между составляющими. При таком об-

рушении передача энергии будет неравномерной по площади воздействия обвала на жидкость вследствие несвязности частей обвала. Однако, площадь воздействия увеличивается [8, 9]. Данный сценарий наиболее характерен для водохранилищ Республики Беларусь.

Лабораторные исследования выполняются в волновом лотке (1) шириной 0,32 м, высотой 0,5 и длиной 5 м, боковые стенки которого выполнены прозрачными для наблюдения и регистрации параметров волны в течение эксперимента. Непосредственно в лотке устанавливается глухая неразрываемая плотина (2) и модель склона (9) (рисунок 2).

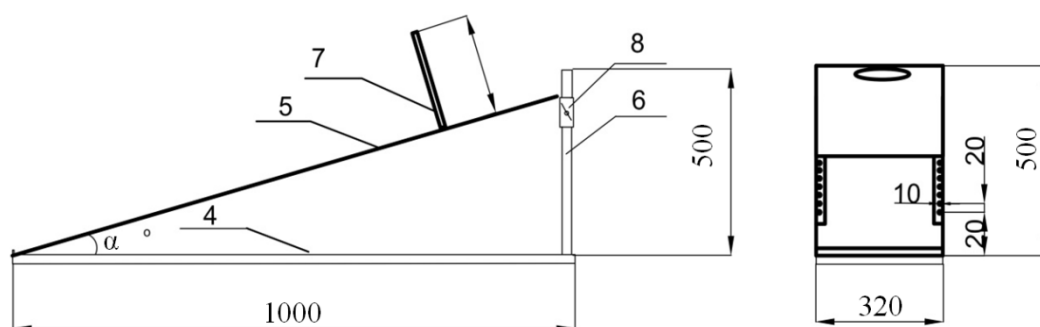


1 – лоток; 2 – модель глухой плотины; 3 – водоем; 4 – основание модели склона;
5 – поверхность скольжения; 6 – устройство изменения угла наклона; 7 – вставка;
8 – фиксирующий винт; 9 – модель склона; 10 – опытный образец

Рисунок 2. – Схема лабораторной установки

Перед проведением лабораторных исследований выполняются следующие работы: конструирование и изготовление модели гидроузла в зависимости от выбранного масштаба исследований, с учетом критериев геометрического и динамического подобия; определение массы опытных образцов грунта и их состава. При моделировании принимается условие динамического подобия исходя из критерия Фруда, так как при моделировании безнапорных потоков жидкости движение обуславливается, главным образом, силами тяжести, а силами трения пренебрегают [16].

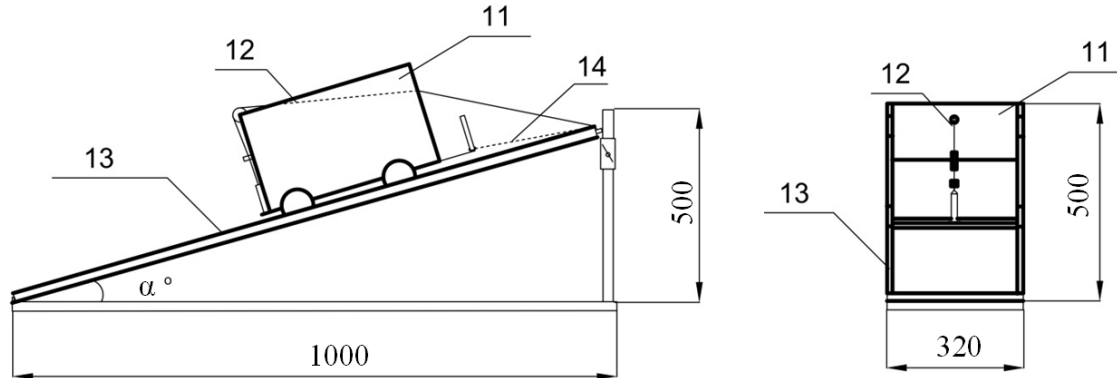
Модель склона (9) представляет собой устройство для моделирования возникновения обвала и осыпи грунтовых пород в водоем (рисунок 3). Устройство состоит из основания (4), поверхности скольжения (5), устройства изменения угла наклона поверхности скольжения (6), вставки для удержания опытных образцов (7). На поверхности скольжения установлена металлическая сетка для укладки глины в качестве скользящего материала. Вставка (7) представляет собой металлический лист размерами 0,3×0,25 м с приваренными в торцах с обеих сторон держателями диаметром 0,01 м, которые вставляются в отверстия на поверхности скольжения. Отверстия сделаны парами, расстояние между центрами отверстий в паре – 0,027 м, шаг между парами – 0,01 м. Моделирование погружения опытного образца осуществляется путем ручного отпирания устройства (7). Угол наклона поверхности скольжения при подготовке эксперимента регулируется вручную, путем изменения высоты ползунка с фиксирующим винтом (8) (рисунок 3).



4 – основание модели склона; 5 – поверхность скольжения;
6 – устройство изменения угла наклона; 7 – вставка; 8 – фиксирующий винт

Рисунок 3. – Принципиальная схема устройства моделирования обрушения склона

Для моделирования погружения каменно-грунтовой смеси на модель склона (9) устанавливается рама, изготовленная из металлического уголка с смонтированным крюком в торце рамы (13). На раму устанавливается вагонетка (11), свободный ход которой регулируется длиной цепи (14). Для автоматического открывания фронтального борта используется устройство отпирания на тросово-блочной системе (12) (рисунок 4).



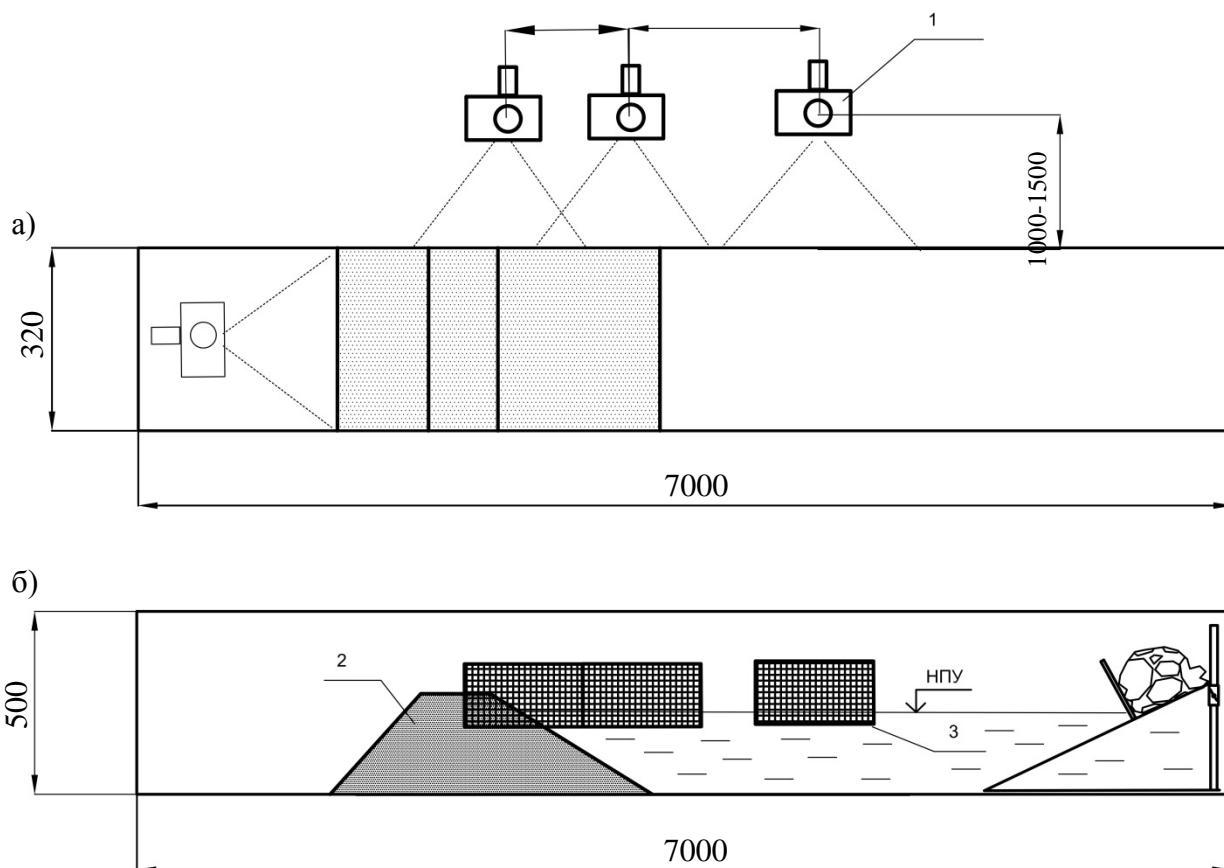
11 – вагонетка; 12 – устройство отпирания; 13 – металлическая рама; 14 – цепь
Рисунок 4. – Устройство для моделирования погружения каменной смеси

Центр модели склона располагается на расстоянии 50-200 м от плотины, что с учетом критериев геометрического подобия соответствует 1250-5000 м. Минимальное расстояние принято на основании детального анализа исходных данных катастрофы на плотине Вайонт (Италия, 1963 г.) [17]. Заполнение водоема (3) производится до нормально подпорного уровня (НПУ). Для обеспечения удобной и более точной обработки фиксируемого видеоматериала вода в лотке подкрашивается перманганатом натрия и устанавливается дополнительное освещение места фиксации параметров.

Опытный образец изготавливается из глины либо каменно-грунтовой смеси. Поверхность скольжения модели склона (9) укладывается из глины, предварительно насыщенной водой. Опытные образцы из глины изготавливаются в форме параллелепипеда для упрощения изготовления формы глыбы и увеличения объема глины в образце при меньших размерах. Опытные образцы для моделирования схода каменно-грунтовой смеси изготавливаются в виде щебеночной смеси диаметром от 0,002 до 0,015 м. Для погружения смеси в водоем используется вагонетка (11) с автоматически открывающимся бортом при достижении поверхности воды. Для исправного срабатывания устройства закладка щебеночной смеси производится равномерно, распределяя в горизонтальной плоскости по вагонетке.

При первой серии опытов подготавливаются 5 калибровочных образцов массой от 5 кг, с последующим увеличением на 5 кг. При достижении перелива воды через гребень плотины образец берут за отправную точку и изготавливаются образцы с уменьшением по массе на 3 кг. Аналогичным алгоритмом подготавливаются образцы каменно-грунтовой смеси. Количество однотипных опытов с образцом каждой массы принято не менее 6.

На прозрачную стенку рабочей области волнового лотка наносится миллиметровая сетка, затем устанавливается видео регистрирующее оборудование на уровне НПУ и на фокусном расстоянии от стенки лотка (рисунок 5). Для контроля перелива воды через гребень плотины устанавливается видео регистрирующее оборудование над моделью неразмываемой плотины. Процесс моделирования распространения волны обрабатывается путем раскадровки видеозаписи. Одновременно осуществляется контрольная (дублирующая) видеозапись моделируемого процесса (рисунок 5).



1 – видео регистрирующее оборудование; 2 – модель неразмываемой плотины;
3 – миллиметровая сетка; а – вид сверху, б – вид сбоку

Рисунок 5. – Схема установки видео регистрирующего оборудования

Выводы. В результате проведенных работ разработана методика лабораторных исследований, учитывающая сценарное развитие аварийных ситуаций на искусственных водных объектах: 1 – обрушение части берега, имеющего преимущественно однородный грунт; 2 – обрушение части берега, имеющего различный состав твердых пород несвязного грунта.

Методика позволяет моделировать обрушение связных и несвязных грунтов, прогнозировать опасные факторы действия волны и предупредить крупный материальный ущерб и человеческую гибель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водохранилища Беларуси: справочник / М.Ю. Калинин [и др.]; под общ. ред. М.Ю. Калинина. – Минск : Полиграфкомбинат им. Я. Коласа, 2005. – 183 с.
2. Малик, Л.К. Повреждения гидроузлов и их последствия / Л.К. Малик, Н.И. Коронкевич // Водн. ресурсы. – 2001. – Т. 28, № 3. – С. 148-152.
3. Risley, J. Usoi Dam Wave Overtopping and Flood Routing in the Bartang and Panj Rivers, Tajikistan // J. Risley, J. Walder, R. Denlinger. – Reston, Virginia : U.S. Geological Survey, 2006. – 29 p.
4. Расчет устойчивости откосов методом Монте-Карло / Н.С. Розанов, Л.В. Горелик, Т.В. Матрошилина, Г.А. Чугаева, Б.А. Шойхет // Материалы конференций и совещаний по гидротехнике; Оценка и обеспечение надежности гидротехнических сооружений / ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. М. : – 1981. – С. 55-59.
5. ICOLD (International commission of Large Dams), Bulletin 99, Dam Failures, Statistical Analysis, Commission Internationale des Grands Barrages. – 1995. Paris. – 73 p.
6. Tailings Dams – Risk of Dangerous Occurrences, Lessons learnt from practical experiences, Bulletin 121, Published by United Nations Environmental Programme (UNEP) Division of Technology, Industry and Economics (DTIE) and International Commission on Large Dams external link (ICOLD). – 2001. Paris – 144 p.

7. Environmental and Safety Incidents concerning Tailings Dams at Mines: Results of a Survey for the years 1980-1996 by Mining Journal Research Services; a report prepared for United Nations Environment Programme, Industry and Environment external link. Paris, 1996. – 129 p.
8. Михайлов, В.О. Математическое моделирование селей, обвалов и оползней / В.О. Михайлов, С.С. Черноморец; под ред. В.О. Михайлов. – Москва : Lambert academic publishing, 2011. – 131 с.
9. Карпенчук, И.В., Стриганова, М.Ю., Махмудов, Э.М. Оценка безопасности сооружений и территорий от поражающего воздействия волны вытеснения // Интернет-журнал «Технологии техноферной безопасности» Выпуск № 3 (49). – 2013 г.
10. Обрушение грунта в Минском районе [Электронный ресурс] / МЧС Республики Беларусь. – Режим доступа: http://mchs.gov.by/rus/main/events/news/~year__m22=2015~news__m22=46445. – Дата доступа: 15.10.2016.
11. Природу оползней изучают специалисты в Мозыре [Электронный ресурс] / Телев. Респ. Беларусь. – Минск, 2016. – Режим доступа: http://ont.by/news/our_news/opolzen-soshyol-v-mozire. – Дата доступа: 20.10.2016.
12. Клебанович, Н.В. География почв Беларуси: учебное пособие / Н.В. Клебанович, В.С. Аношко, Н.К. Чертко, Н.В. Ковальчик, А.Ф. Черныш. – Минск: БГУ, 2009. – 198 с.
13. Розанов, Н.С. Аварии и повреждения плотин / Н.С. Розанов [и др.] ; под общей редакцией А.А. Борового. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 126 с.
14. Мурашко, М.Г. Водноэнергетический кадастр Белорусской ССР: потенциальные гидроэнерго-ресурсы / М.Г. Мурашко [и др.] ; ред. Т.Л. Золотарев ; Академия наук Белорусской ССР, Институт энергетики. – Минск : Издательство Академии наук БССР, 1960. – Т. 1 – 282 с.
15. Леви, И.И. Динамика русловых потоков. Л.-М., Госэнергоиздат, 1948. – 222 с.
16. Waltham, A. C. Катастрофы: неистовая земля / А.С. Waltham. – Москва : Недра, 1982. – 113 с.

METHOD FOR ASSESSING THE DAMAGING EFFECT OF THE DISPLACEMENT WAVE ON ARTIFICIAL WATER BODIES

Searhei Pastukhou, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Dzmitry Zhuk

The state educational establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus»

Eltin Makhmudov

The state educational establishment «Academy of the Ministry for Emergency Situations of the Azerbaijan Republic»

Purpose. Forecasting of parameters of the displacement wave on artificial water bodies.

Methods. Modeling of emergency situation in hydraulic laboratory.

Findings. The developed methodology will increase the level of safety of facilities on the territory adjacent to the reservoirs.

Application field of research. The research results can be used in calculations of risk assesment of hydraulic structures.

Conclusions. As a result of the carried out work the methodology for laboratory research has been developed that takes into account the scenario of development of emergency situations on artificial water bodies: 1 – collapse of a part of the coast having a predominantly homogeneous soil; 2 – collapse of a part of the coast which has a various composition of solid ground rocks unrelated to each other.

The technique allows to simulate the collapse of cohesive and incoherent soils, to forecast dangerous factors of wave action and to prevent major material damage and human death.

Keywords: the displacement wave, incident on hydraulic structures, dan, landslide, emergency situation.

(The date of submitting: April 6, 2017)

REFERENCES

1. Kalinin M.Yu. [et.] *Vodokhranilishcha Belarusi: spravochnik*. Minsk : Poligrafkombinat im. Ya. Kolasa, 2005. 183 p. (rus)
2. Malik L.K., Koronkevich N.I. Povrezhdeniya gidrouzlov i ikh posledstviya. *Vodn. Resursy*, 2001. Vol. 28, No. 3. Pp. 148-152. (rus)
3. Risley J., Walder J., Denlinger R. *Usoi Dam Wave Overtopping and Flood Routing in the Bartang and Panj Rivers, Tajikistan*. Reston, Virginia : U.S. Geological Survey, 2006. 29 p.
4. Rozanov N.S., Gorelik L.V., Matroshilina T.V., Chugaeva G.A., Shoykhet B.A. Raschet ustoychivosti otkosov metodom Monte-Karlo. *Materialy konferentsiy i soveshchaniy po gidrotekhnike; Otsenka i obespechenie nadezhnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy*, VNIIG im. B.E. Vedeneeva. Moscow, 1981. Pp. 55-59. (rus)
5. *ICOLD (International commission of Large Dams)*, Bulletin 99, Dam Failures, Statistical Analysis, Commission Internationale des Grands Barrages. Paris, 1995. 73 p.
6. *Tailings Dams – Risk of Dangerous Occurrences, Lessons learnt from practical experiences*, Bulletin 121, Published by United Nations Environmental Programme (UNEP) Division of Technology, Industry and Economics (DTIE) and International Commission on Large Dams external link (ICOLD). Paris, 2001. 144 p.
7. *Environmental and Safety Incidents concerning Tailings Dams at Mines: Results of a Survey for the years 1980-1996 by Mining Journal Research Services*; a report prepared for United Nations Environment Programme, Industry and Environment external link. Paris, 1996. 129 p.
8. Mikhaylov V.O., Chernomorets S.S. *Matematicheskoe modelirovanie seley, obvalov i opolzney*. Moscow: Lambert academic publishing, 2011. 131 p. (rus)
9. Karpenchuk I.V., Striganova M.U., Makhmudov E.M. Otsenka bezopasnosti sooruzheniy i ter-ritoriy ot porazhayushchego vozdeystviya volny vytesneniya. *Internet-zhurnal «Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti»*, 2013. No. 3 (49). (rus)
10. *Prirody opolzney izychaut specialist v Mozyre*. TV of the Republic of Belarus, Minsk, 2016, available at: http://ont.by/news/our_news/opolzen-soshyol-v-mozyre (accessed: October 20, 2016). (rus)

11. *Obrushenie grunta v Minskom rayone*. MES Republic of Belarus. Minsk, 2016, available at: http://mchs.gov.by/rus/main/events/news/~year__m22 (accessed: October 15, 2016). (rus)
12. Klebanovich N.V., Anoshko V.S., Chertko N.K., Koval'chik N.V., Chernysh A.F. *Geografiya pochv Belarusi: uchebnoe posobie*. Minsk: BSU, 2009. 198 p. (rus)
13. Rozanov N.S. [etc.] *Avarii i povrezhdeniya plotin*; edited by A.A. Borovoy. Moscow : Energoatomizdat, 1986. 126 p. (rus)
14. Murashko M.G. [etc.] *Vodnoenergeticheskiy kadastr Belorusskoy SSR: potentsial'nye gidroenergoresursy*; edited by T.L. Zolotarev; Academy of Sciences of the Byelorussian SSR, Institute of Energy. Minsk : Izdatelsvo Akademii nauk BSSR, 1960. Vol. 1. 282 p. (rus)
15. Levi I.I. *Dinamika ruslovykh potokov*. L.-M., Gosenergoizdat, 1948. 222 p. (rus)
16. Waltham A. C. *Katastrofy: neistovaya zemlya*. Moscow : Nedra, 1982. 113 p. (rus)