РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЗИГЗАГООБРАЗНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ДИАФРАГМЫ ВЫСОКОЙ ГРУНТОВОЙ ПЕРЕМЫЧКИ

А.О. Зверев, М.П. Саинов*

ПАО «Федеральная гидрогенерирующая компания РусГидро»,
117393, г. Москва, ул. Архитектора Власова, д. 51;

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

АННОТАЦИЯ. Рассматриваются результаты расчетов напряженно-деформированного состояния полимерной диафрагмы в теле грунтовой перемычки высотой 50 м плотины Gibe III. Диафрагма выполнена из поливинилхлоридовой (ПВХ) геомембраны и расположена зигзагообразно. Расчеты проводились методом конечных элементов. Тонкая геомембрана моделировалась стержневыми конечными элементами.

Расчеты показали, что диафрагма из геомембраны является достаточно надежным противофильтрационным элементом, растягивающие напряжения, возникающие на ее отдельных участках, малы. Повреждение геомембраны может произойти только на горизонтальных участках, которые анкеруют ее в верхнюю упорную призму. В анкерах возникают значительные растягивающие усилия. В случае, если мембрана будет выполнена из полиэтилена, растягивающие напряжения будут сопоставимы с прочностью на растяжение. Если выполнять геомембрану из ПВХ, будет иметься запас прочности. Рекомендуется не анкеровать диафрагму в верхнюю упорную призму.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: грунтовая перемычка, геомембрана, ПВХ, напряженно-деформированное состояние, прочность

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Зверев А.О., Саинов М.П. Работоспособность зигзагообразной полимерной диафрагмы высокой грунтовой перемычки // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 5 (104). С. 490–495. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.5.490-495

WORKABILITY OF THE ZIGZAG POLYMER DIAPHRAGM OF HIGH EARTHFILL COFFERDAM

A.O. Zverev, M.P. Sainov*

PAO "Federal Hydro-Generating Company RusHydro", 51 Arkhitekta Vlasova str., Moscow, 117393, Russian Federation;

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation

ABSTRACT. There are considered the results of stress-strain state analysis of polymer diaphragm in the body of the 50 m high earthfill cofferdam of Gibe III dam. The diaphragm is made of polyvinylchloride (PVC) geomembrane and has a zigzag location. Computations were conducted with the finite element method. A thin geomembrane was modeled by rod-shaped finite elements. Computations showed that the diaphragm made of geomembrane is a sufficiently safe seepage-control element: there are small tensile stresses on its individual sections. The geomembrane damage may occur in it only in the part anchored to the upstream shell. Considerable tensile stresses appear in anchors which are comparable with the geomembrane tensile strength. If the geomembrane is made of PVC, there will be a margin of safety. It is not recommended to anchor the diaphragm into the upstream shell but make it only into the downstream shell.

KEY WORDS: earthfill cofferdam, geomembrane, PVC, stress-strain state, strength

FOR CITATION: Zverev A.O., Sainov M.P. Rabotosposobnost' zigzagobraznoy polimernoy diafragmy vysokoy gruntovoy peremychki [Workability of the Zigzag Polymer Diaphragm of High Earthfill Cofferdam]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 5 (104), pp. 490–495. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.5.490-495

Противофильтрационные элементы из полимерных материалов применяются в грунтовых плотинах уже более 50 лет. Первая плотина с экраном из полиизобутилена Contrada Sabetta была построена в Италии в 1959 г. [1–3]. В СССР полимерные пленки применялись для устройства противофильтрационных экранов перемычек: Усть-Хантайской, Токтогульской [4–6]. В 1970 г. была возведена Атбашинская плотина с многослойной диафрагмой из

полиэтиленовой пленки [7]. Однако широкого распространения противофильтрационные элементы из полимерных пленок не получили. Для высоких плотин опасались применять тонкие пленки из-за опасности их прокола [8], а также из-за старения полимеров [3]. Старение полимеров выражается в потере ими эластичности и прочности, оно происходит под воздействием температур и солнечной радиации.

Интенсивное внедрение полимерных изделий в гидротехническое строительство началось относительно недавно, оно связано с появлением геомембран и повышением качества полимерных изделий [9–13]. Геомембраны — это толстые (2...4 мм) полимерные пленки. Наибольшее распространение получили геомембраны из поливинилхлорида или полиэтилена. Благодаря новым технологиям, они более долговечны, срок их службы составляет не менее 50 лет. Современные геомембраны обладают такими преимуществами, как полная водонепроницаемость, высокая эластичность и технологичность укладки.

Благодаря этому геомембраны часто стали применять для ремонта бетонных плотин, а также грунтовых плотин с железобетонными и асфальтобетонными экранами [1, 14–16].

Есть примеры и применения полимерных геомембран для создания основных противофильтрационных элементов грунтовых плотин [16]. Примерами могут служить плотина Bovilla в Албании [1], плотина Камбаратинской ГЭС-2 в Киргизии [17] и перемычка плотины Gibe III в Эфиопии [18]. В плотине Камбаратинской ГЭС-2 из геомембраны выполнен экран, который воспринимает напор 20 м. В перемычке плотины Gibe III из геомембраны выполнена диафрагма, рассчитанная на восприятие напора 44 м.

Можно ожидать, что у полимерных материалов большое будущее в гидротехническом строительстве. Они обладают высокой прочностью при низкой эластичности. Полиэтилен обладает прочностью на растяжение примерно 25 МПа и модулем деформации в районе 500 МПа. Прочность геомембран из пластифицированного ПВХ достигает 10 МПа при модуле деформации в районе 50 МПа.

Однако способность полимерных геомембран выдерживать значительные деформации без потери прочности вовсе не означает, что надежность их работы в грунтовых плотинах полностью гарантирована. Наши расчетные исследования экрана плотины Камбаратинской ГЭС-2 показали, что не всегда геомембрана находится в благоприятном напряженном состоянии [19]. На участке, где пленка

уложена горизонтально, за счет трения от грунта ей могут передаваться существенные растягивающие усилия.

В данной работе мы решили исследовать работоспособность другого типа полимерного противофильтрационного элемента грунтовой плотины — зигзагообразной диафрагмы.

Исследования проводились для реального сооружения, перемычки плотины Gibe III. Эта перемычка имеет высоту 46 м. Она выполнена из горной массы. Пленочная диафрагма имеет зигзагообразную форму. Это связано с особенностями возведения перемычки. Верховая и низовая призмы возводятся поочередно, «елочкой». Шаг «елочки» по высоте составляет 6 м. По окончании возведения очередного слоя рулон полимерной пленки вкатывается на него. При этом выполняется горизонтальный участок диафрагмы шириной около 2 м, играющий роль анкера.

Толщина геомембраны составляет 3,5 мм. Она выполнена из пластифицированного поливинилхлорида. С обеих сторон от нее укладывается слой геотекстиля и отсыпается слой песчаного грунта толщиной 50 см для ее защиты от проколов. Нижняя часть диафрагмы заанкерована в зуб из глинистого грунта.

Расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) перемычки проводились методом конечных элементов по вычислительной программе, составленной М.П. Саиновым [20]. Это позволило учесть нелинейность деформирования грунтов, а также поведения контактов материалов (например, сдвиговые нарушения). Для описания нелинейности деформирования грунтов в программе использована модель грунта, предложенная Л.Н. Рассказовым [21]. Параметры деформирования грунтов принимались на основе обработки данных экспериментов [22], выполненных другими авторами. В контактах принималось условие прочности Кулона. Угол внутреннего трения на контакте пленки с песком принимался равным 28° [23].

Конечно-элементная модель перемычки (рис. 1) включала 488 конечных элементов сплошной среды, 113 контактных элементов и 36 стерж-

Рис. 1. Сетка МКЭ для сечения перемычки плотины Gibe III

невых. Стержневые элементы использовались для моделирования геомембраны. Контактные элементы моделировали возможность нелинейного взаимодействия грунтов перемычки с геомембраной и скальным основанием. Все конечные элементы имели кубическую аппроксимацию перемещений для того, чтобы обеспечить приемлемую точность расчетов. Общее количество степеней свободы составило 5208.

При расчетах учитывалась последовательность возведения перемычки и заполнения верхнего бьефа. Было рассмотрено 54 расчетных этапа, на каждом из которых моделировались либо отсыпка плотины, либо укладка пленки, либо заполнение верхнего бьефа.

Рассматривалось два варианта полимерной диафрагмы. В первом было принято, что она выполнена из полиэтилена с модулем линейной деформации 1000 МПа, во втором — из ПВХ с модулем деформации 100 МПа.

Результаты расчетов НДС показаны на рис. 2 для момента времени, когда верхний бьеф заполнен до отметки 718 м.

Максимальные осадки пленочной диафрагмы составили 12,8 см (см. рис. 2, б). Горизонтальные смещения диафрагмы направлены в сторону нижнего бьефа, они вызваны гидростатическим давлением воды. Максимальное по величине смещение диафрагмы составило 5,8 см (см. рис. 2, а).

В основном геомембрана не испытывает растяжения. Зоны растягивающих напряжений были получены лишь в анкерах, а также в примыкающих к ним участках диафрагмы (см. рис. 2, в). В основных полотнищах геомембраны растягивающие напряжения не превысили 1 МПа. Таким образом, полимерная диафрагма — вполне надежный элемент конструкции.

Опасность представляет напряженное состояние анкеров, заложенных в верховую призму

плотины. При смещениях перемычки в сторону нижнего бьефа верхние анкера испытывают растягивающие усилия. Самое неблагоприятное напряженное состояние получил средний верховой анкер. В нем растягивающее напряжение достигло 31,5 МПа в варианте 1 и 6,8 МПа в варианте 2. Таким образом, снижение модуля деформации полимера в десять раз привело к уменьшению напряжений примерно в пять раз. Уменьшение напряжений происходит не пропорционально уменьшению модуля деформации.

Оценивая прочностное состояние данного анкера можно отметить, что при его выполнении из полиэтилена (вариант 1) прочность на растяжение (25 МПа) не обеспечивается, а при выполнении из ПВХ (вариант 2) — напряжения близки к прочности. Есть опасность разрыва данного анкера.

Разрыв анкера опасен тем, что он может вызвать повреждение и основного полотнища диафрагмы. Целесообразно отказаться от применения верховых анкеров. В этом случае профиль диафрагмы не изменится, но она должна будет возводиться из более длинных полотнищ (длиной 17 м).

Расчет НДС перемычки с полимерной диафрагмой без анкеров показал, что их отсутствие приведет к некоторому увеличению горизонтальных смещений диафрагмы (примерно на 1 см), но практически не скажется на напряженном состоянии основных полотнищ диафрагмы.

Из вышеописанного можно сделать следующие выводы:

1. Диафрагма из геомембраны, уложенная зигзагообразно в теле грунтовой перемычки высотой 46 м, является надежным противодиффузионным элементом. Так как окружающий ее грунт садится под собственным весом, то в большей части геомембраны не наблюдается растягивающих напряжений. Зигзагообразный профиль диафрагмы позволяет добиться отсутствия растягивающих на-

Рис. 2. НДС диафрагмы из геомембраны: а — смещения, см; б — осадки, см, в — схема напряженного состояния (толстыми линиями выделены участки, на которых геомембрана испытывает растяжение)

пряжений при их горизонтальных смещениях перемычки в сторону нижнего бьефа. Но в некоторых случаях растягивающие напряжения в геомембране все же могут возникать. Однако эти напряжения значительно меньше прочности полимера на растяжение.

2. Опасность для зигзагообразной диафрагмы представляет ее анкеровка горизонтальными полотнищами в тело верховой упорной призмы. При смещениях перемычки под действием гидростатиче-

ского давления в анкерных полотнищах возникают значительные растягивающие усилия, по величине сопоставимые или превышающие прочность полимера на растяжение. Необходимо отказаться от использования верховых анкеров.

3. Для определения надежности полимерной диафрагмы необходимо проводить численные расчеты НДС, так как только они позволяют определить растягивающие усилия в диафрагме и правильно выбрать вид и толщину полимерной геомембраны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Geomembrane sealing systems for dams. Design principles and review of experience : international Commission on Large Dams Bulletin. 135. Paris, 2010. 464 p.
2. Cazzuffi D. The use of geomembranes in Italian dams // Water Power and Dam Construction. 1987. Vol. 26. No. 2. Pp. 44–52.
3. Рельтов Б.Ф., Кричевский И.Е. Перспективы применения рулонных пластмасс в качестве экранов плотин из местных материалов // Гидротехническое строительство. 1964. № 1. С. 29–32.
4. Бруссе А.Г., Глебов В.Д., Детков Б.В. Полиэтиленовый экран перемычки Усть-Хантайской ГЭС // Гидротехническое строительство. 1971. № 11. С. 4–5.
5. Абрамсон Ю.Л., Толкачев Л.А., Фишман Ю.А. Строительство на горных реках высоких земляных перемычек в две очереди с переливом паводка на промежуточной отметке // Гидротехническое строительство. 1968. № 1. С. 8–12.
6. Попченко С.Н., Глебов В.Д., Игонин Х.А. Опыт применения полимерных материалов в гидротехническом строительстве // Гидротехническое строительство. 1973. № 12. С. 9–13.
7. Зиневич Н.И., Лысенко В.П., Никитенков А.Ф. Центральная пленочная диафрагма плотины Атбашинской ГЭС // Энергетическое строительство. 1974. № 3. С. 59–62.
8. Глебов В.Д., Лысенко В.П. Конструирование пленочных противофильтрационных элементов в плотинах и перемычках // Гидротехническое строительство. 1973. № 5. С. 33–35.
9. Радченко В.П., Семенов В.М. Геомембраны в плотинах из грунтовых материалов // Гидротехническое строительство. 1993. № 10. С. 46–52.
10. Лупачев О.Ю., Телешев В.И. Применение геосинтетических материалов в гидротехническом строительстве // Гидротехника. 2009. № 1 (14). С. 71–75.
11. Лупачев О.Ю., Телешев В.И. Противофильтрационные элементы из геомембран. Опыт применения в гидротехническом строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 6. С. 35–43.
12. Сольский С.В., Орлова Н.Л. Перспективы и проблемы применения в грунтовых гидротехнических сооружениях современных геосинтетических материалов // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2010. Т. 260. С. 61–68.
13. Глазовский В.Б., Сольский С.В., Лоатина М.Г. и др. Геосинтетические материалы в гидротехническом строительстве // Гидротехническое строительство. 2014. № 9. С. 23–27.
14. Koerner R.M. Designing with geosynthetics; 6th edition. 2012. Vol. 1. 524 p.
15. Scuero A.M., Vascetti G.L. Underwater repair of a 113 m high CFRD with a PVC geomembrane: Turimiquire // Managing dams. Challenges in a time of change : Proceedings of the 16th Conference of the British Dam Society. 2010. Pp. 474–486.
16. Sembenelli P., Rodriguez E.A. Geomembranes for earth and earth-rock dams: state-of-the-art report // Proceedings of the 1st European Conference «Geosynthetics Applications, Design and Construction». 1996. Pp. 877–888.
17. Корчевский В.Ф., Оболюев А.Ю. О проектировании и строительстве Камбаратинских гидроэлектростанций на р. Нарыне в Киргизской Республике // Гидротехническое строительство. 2012. № 2. С. 2–12.
18. Pietrageli G., Pietrageli A., Scuero A. et al. Gibe III: A zigzag geomembrane core for a 50 m high rockfill cofferdam in Ethiopia // The 1st International Symposium on rockfill dams. 18–21 October 2009, Chengdu, China.
19. Саинов М.П., Хохлов С.В. Анализ работы полимерного экрана высокой грунтовой перемычки на основе расчетов напряженно-деформированного состояния // Вестник МГСУ. 2013. № 8. С. 78–88.
20. Саинов М.П. Вычислительная программа по расчету напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин: опыт создания, методики и алгоритмы // International journal for computational civil and structural engineering. 2013. 9 (4). Pp. 208–225.
21. Рассказов Л.Н., Джэха Дж. Деформируемость и прочность грунта при расчете высоких грунтовых плотин // Гидротехническое строительство. 1987. № 7. С. 31–36.
22. Саинов М.П. Параметры деформируемости крупнообломочных грунтов в теле грунтовых плотин // Строительство: наука и образование. 2014. Вып. 2. Ст. 2. Режим доступа: <http://www.nso-journal.ru>.
23. Tao T., Yan J., Tao X. et al. Application of geotextile/geomembrane composite liner for infiltration prevention in Xiaolingtou rockfill dam // Geosynthetics international. 1996. Vol. 3. No. 1. Pp. 125–136.

Поступила в редакцию в октябре 2016 г.

Принята в доработанном виде в марте 2017 г.

Одобрена для публикации в апреле 2017 г.

Об авторах: Зверев Андрей Олегович — главный специалист управления гидротехнического строительства, ПАО «Федеральная гидрогенерирующая компания РусГидро», 117393, г. Москва, ул. Архитектора Власова, д. 51, zverev_0591@mail.ru;

Саинов Михаил Петрович — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, mp_sainov@mail.ru.

REFERENCES

1. *Geomembrane Sealing Systems for Dams. Design Principles and Review of Experience : international Commission on Large Dams Bulletin*. 135, 2010. 464 p.
2. Cazzuffi D. The Use of Geomembranes in Italian Dams. *Water Power and Dam Construction*. 1987, vol. 26, no. 2, pp. 44–52.
3. Rel'tov B.F., Krichevskiy I.E. Perspektivy primeneniya rulonnykh plastmass v kachestve ekranov plotin iz mestnykh materialov [Prospects for the Use of Roll Plastics as Dam Wallings of Local Materials]. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo* [Hydro-engineering Construction]. 1964, no. 1, pp. 29–32. (In Russian)
4. Brusse A.G., Glebov V.D., Detkov B.V. Polietilenovyy ekran peremychki Ust'-Khintayskoy GES [Plastic Walling Cofferdam at the Ust'-khantaisk HPP]. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo* [Hydro-engineering Construction]. 1971, no. 11, pp. 4–5. (In Russian)
5. Abramson Ju.L., Tolkachev L.A., Fishman Yu.A. Stroitel'stvo na gornykh rekakh vysokikh zemlyanykh peremychek v dve ocheredi s perelivom pavodka na promezhutochnoy otmelte [Building High Embankment Cofferdams on the Mountain Rivers in Two Stages with an intermediate Overflow Flood Mark]. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo* [Hydro-engineering Construction]. 1968, no. 1, pp. 8–12. (In Russian)
6. Popchenko S.N., Glebov V.D., Igonin Kh.A. Opyt primeneniya polimernykh materialov v gidrotekhnicheskome stroitel'stve [Experience of Polymeric Materials Application in the Hydraulic Construction]. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo* [Hydro-engineering Construction]. 1973, no. 12, pp. 9–13. (In Russian)
7. Zinevich N.I., Lysenko V.P., Nikitenkov A.F. Tsentral'naya plenoch'naya diafragma plotiny Atbashinskoy GES [Central Film Diaphragm of the Atbashi HPP dam]. *Energeticheskoe stroitel'stvo* [Energy Construction]. 1974, no. 3, pp. 59–62. (In Russian)
8. Glebov V.D., Lysenko V.P. Konstruirovaniye plenochnykh protivofil'tratsionnykh elementov v plotinakh i peremychkakh [Designing Film Antifiltration Elements in Dams and Cofferdams]. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo* [Hydro-engineering Construction]. 1973, no. 5, pp. 33–35. (In Russian)
9. Radchenko V.P., Semenov V.M. Geomembrany v plotinakh iz gruntovykh materialov [Geomembranes in the dams of Soil materials]. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo* [Hydro-engineering Construction]. 1993, no. 10, pp. 46–52. (In Russian)
10. Lupachev O.Yu., Teleshev V.I. Primenenie geosinteticheskikh materialov v gidrotekhnicheskome stroitel'stve [Use of Geosynthetics in Hydraulic Engineering]. *Gidrotehnik* [Hydraulic Engineering]. 2009, no. 1 (14), pp. 71–75. (In Russian)
11. Lupachev O.Yu., Teleshev V.I. Protivofil'tratsionnye elementy iz geomembran. Opyt primeneniya v gidrotekhnicheskome stroitel'stve [Antiseepage Elements of Geomembranes. Experience of their Application in the Hydraulic Engineering]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2009, no. 6, pp. 35–43. (In Russian)
12. Sol'skiy S.V., Orlova N.L. Perspektivy i problemy primeneniya v gruntovykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh sovremennykh geosinteticheskikh materialov [Prospects and Problems of Modern Geosynthetics Application in Groundwater Waterworks]. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva* [Proceeding of the VNIIG]. 2010, vol. 260, pp. 61–68. (In Russian)
13. Glagovskiy V.B., Sol'skiy S.V., Loatina M.G. et al. Geosinteticheskie materialy v gidrotekhnicheskome stroitel'stve [Geosynthetics in Hydraulic Engineering]. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo* [Hydro-engineering Construction]. 2014, no. 9, pp. 23–27. (In Russian)
14. Koerner R.M. Designing with Geosynthetics; 6th edition. 2012, vol. 1, 524 p.
15. Scuero A.M., Vaschetti G.L. Underwater repair of a 113 m High CFRD with a PVC Geomembrane: Turimiquire. *Managing Dams: Challenges in a Time of Change : Proceedings of the 16th Conference of the British Dam Society*. 2010, pp. 474–486.
16. Sembenelli P., Rodriquez E.A. Geomembranes for Earth and Earth-Rock Dams: State-of-the-Art Report. *Proceedings of the 1st European Conference «Geosynthetics Applications, Design and Construction»*. 1996, pp. 877–888.
17. Korchevskiy V.F., Obopol' A.Yu. O proektirovani i stroitel'stve Kambaratinskikh gidroelektrostantsiy na r. Naryne v Kirgizskoy Respublike [On Design and Construction of the Kambarata Hydropower Plants on the R. Narin in the Kyrgyz Republic]. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo* [Hydro-engineering Construction]. 2012, no. 2, pp. 2–12. (In Russian)
18. Pietrageli G., Pietrageli A., Scuero A. et al. Gibe III: A Zigzag Geomembrane Core for a 50 m High Rockfill Cofferdam in Ethiopia. *The 1st International Symposium on Rockfill Dams. 18–21 October 2009, Chengdu, China*.
19. Sainov M.P., Khokhlov S.V. Analiz raboty polimernogo ekrana vysokoy gruntovoy peremychki na osnove raschetov napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya [Analysis of Behavior of Polymer Wallings of High Earth-fill Cofferdams on the Basis of the Stress-Strain State Calculations]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2013, no. 8, pp. 78–88. (In Russian)

20. Sainov M.P. Vychislitel'naya programma po raschetu napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gruntovykh plotin: opyt sozdaniya, metodiki i algoritmy [Computer Program for the Calculation of the Stress-Strain State of Soil Dams: Experience of Creation, Techniques and Algorithms]. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2013, vol. 9, no. 4, pp. 208–225. (In Russian)

21. Rasskazov L.N., Jha J. Deformiruemost' i prochnost' grunta pri raschete vysokikh gruntovykh plotin [Deformability and Strength of Soils in High Soil Dam Calculation]. *Gi-*

drotekhnicheskoe stroitel'stvo [Hydraulic Engineering] 1987, no. 7, pp. 31–36. (In Russian)

22. Sainov M.P. Parametry deformiruемости krupnooblomochnykh gruntov v tele gruntovykh plotin [Deformation Parameters of Macrofragment Soils in Soil Dams]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2014, no. 2, paper 2. Available at: <http://www.nso-journal.ru>. (In Russian)

Tao T., Yan J., Tao X. et al. Application of Geotextile/Geomembrane Composite Liner for infiltration Prevention in Xiaolingtou Rockfill Dam. *Geosynthetics International*. 1996, vol. 3, no. 1, pp. 125–136.

Received in October 2016.

Adopted in revised form in March 2017.

Approved for publication in April 2017.

About the authors: **Zverev Andrey Olegovich** — Chief Specialist, Department of Hydraulic Engineering, **PAO "Federal Hydro-Generating Company RusHydro"**, 51 Arkhitekтора Vlasova str., Moscow, 117393, Russian Federation; zverev_0591@mail.ru;

Sainov Mikhail Petrovich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Hydraulics and Hydraulic Engineering Department, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; mp_sainov@mail.ru.