

Д.А. Максимов

О НЕДОСТАТОЧНОСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НАСЫПНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГОРНОГО ПРОФИЛЯ

Аннотация. Рассмотрены методы повышения фильтрационной устойчивости насыпных гидротехнических сооружений (ГТС): связанные с использованием специальных конструктивных элементов ГТС, обеспечением повышения фильтрационных свойств материала ГТС, а так же с использованием специальных изолирующих материалов. Выявлены характерные особенности представленных методов. Отдельное внимание уделено тем особенностям, которые связаны с масштабом рассмотренных методов. Установлено, что применение существующих методов нецелесообразно по техническим и экономическим причинам, так как на многих насыпных ГТС нарушения фильтрационной устойчивости носят локальный характер. В качестве примера рассмотрен участок дамбы хвостохранилища обогатительной фабрики горнорудного предприятия Мурманской области. Сделан вывод о нецелесообразности использования существующих методов повышения фильтрационной устойчивости для устранения локальных нарушений. В связи с этим целесообразной является разработка нового метода, который был бы направлен на устранение таких локальных нарушений фильтрационной устойчивости, как фильтрационные ходы.

Ключевые слова: насыпные гидротехнические сооружения, хвостохранилища, плотины, дамбы, фильтрационная устойчивость, методы повышения фильтрационных свойств, протечки, деформации.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-33-39

Насыпные гидротехнические сооружения играют важную роль в современной промышленности. Например, даже при относительно небольшой аварии на ГТС хвостохранилища, его эксплуатация временно прекращается. Так как отсутствует возможность складировать хвосты, получаемые в процессе обогащения, то и обогатительная фабрика вынуждена прекратить свою работу. В связи с прекращением процесса обогащения руды, то есть процесса получения конечного продукта, дальнейшая работа всего горнорудного предприятия становится невозможной. В связи с этим вопросам

надёжности ГТС уделяется значительное внимание, особенно вопросам, связанным с фильтрационной устойчивостью данных сооружений [10, 14]. Кроме того, аварии на дамбах могут привести к значительному экологическому, экономическому и социальному ущербу [9, 11–13].

В настоящее время существует значительное количество разнообразных методов повышения фильтрационной устойчивости, которые условно можно разделить на три большие группы [2, 7]:

1. Методы, связанные с сооружением в теле дамбы или плотины конструк-

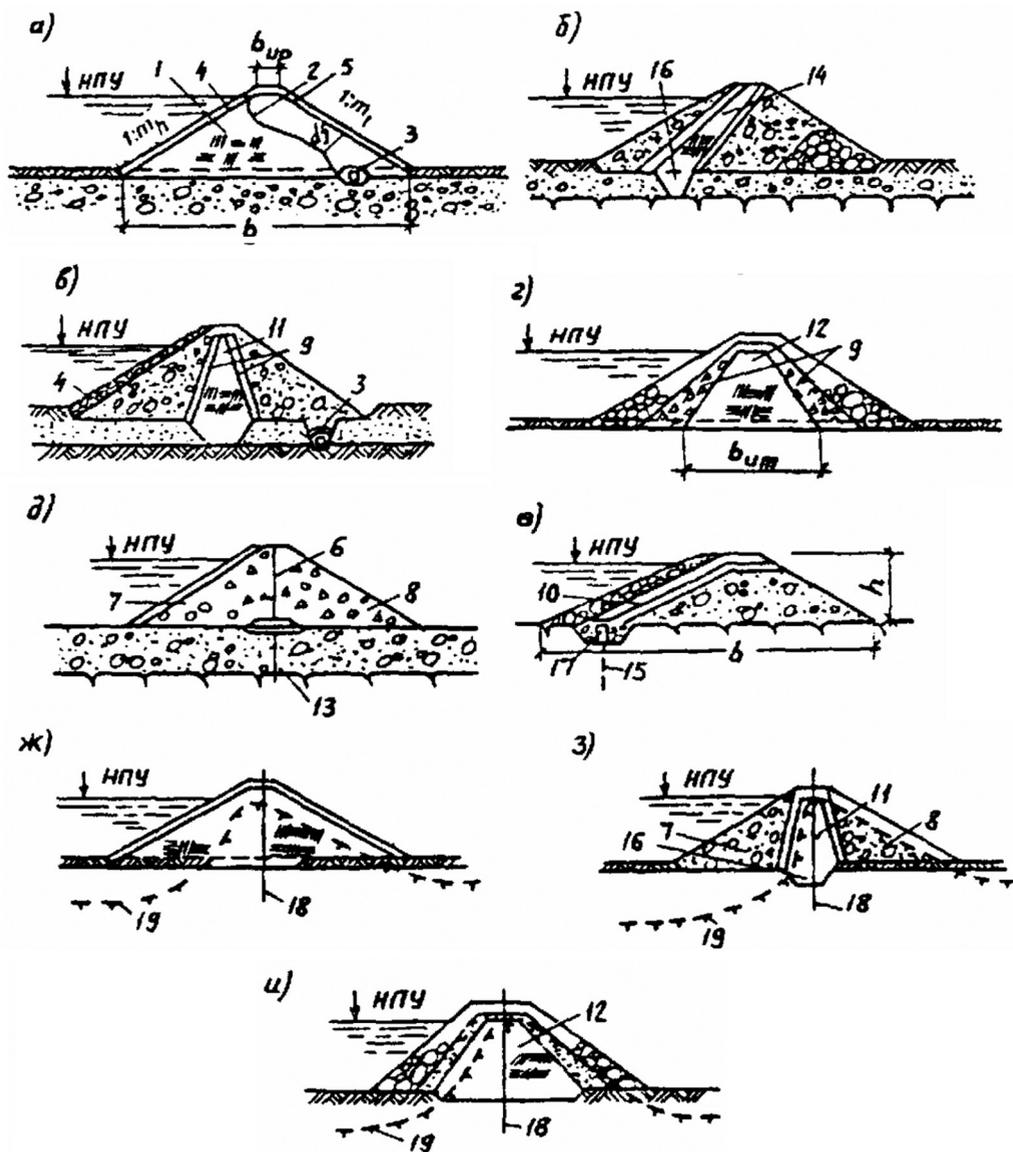


Рис. 1. Типы и виды земляных насыпных плотин, возводимых в северной климатической зоне [8]: 1 — тело плотины; 2 — поверхность депрессии; 3 — дренаж; 4 — крепление откосов; 5 — теплоизоляционный слой; 6 — диафрагма; 7 — верховая призма; 8 — низовая призма; 9 — переходный слой; 10 — экран из негрунтовых материалов; 11 — грунтовое ядро; 12 — центральная грунтовая фильтрационная призма; 13 — шлунт или стенка; 14 — грунтовый экран; 15 — инъекционная (цементационная) завеса; 16 — зуб; 17 — цементационная галерея; 18 — замораживающая система; 19 — линия раздела талого и мерзлого грунтов; h — высота плотины; b — ширина плотины понизу

Fig. 1. Types of earth-fill dams constructed in the northern climatic zone: 1—dam body; 2—surface of depression; 3—drainage; 4—slope reinforcement; 5—heat-insulating layer; 6—diaphragm; 7—upper wedge; 8—lower wedge; 9—transition layer; 10—non-ground screen; 11—ground core; 12—central ground filtration wedge; 13—barrel drainage or wall; 14—ground screen; 15—injection (cementation) screen; 16—tooth; 17—cementation gallery; 18—freezable system 19—thawed and frozen ground separation line; h—dam height; b—dam bottom width

тивных фильтрационных элементов, таких как ядро, диафрагма, завеса, экран и другие. В качестве примера использования различных конструктивных элементов для повышения фильтрационной устойчивости можно привести различные типы и виды плотин, изображенные на рис. 1.

2. Методы, связанные с повышением фильтрационных свойств материалов, слагающих тело плотины. К таким методам относятся [3, 4]:

- Метод уплотнения пород;
- Термическая обработка;
- Методы физико-химического закрепления пород:
 - цементация;
 - двухрастворная силикатизация;
 - однорастворная силикатизация;
 - глинисто-силикатные растворы;
 - газовая силикатизация;
 - смолизация;
- Электрохимическое закрепление пород:
 - электроосмотическое обезвоживание;
 - электрохимическое закрепление;
- Использование гео-криогелевых конструкций [1].

3. Методы, связанные с созданием изолирующих покрытий. К подобным

методам относятся изолирующие покрытия из бетонов, полимерных материалов, битумов и геотекстиля, содержащего в своих волокнах бентонит натрия, который, абсорбируя воду, увеличивается в размерах в 20–30 раз и закрывает поры геотекстиля [6].

Если проанализировать существующие методы повышения фильтрационной устойчивости, то можно выделить ряд присущих им характерных черт:

- предполагаются работы в масштабах всего ГТС или отдельных его частей;
- требуется прекращение или изменение графика текущей эксплуатации ГТС;
- требуется значительное время на их реализацию;
- требуются значительные капитальные вложения;
- и другие.

Таким образом, вышеперечисленные методы будут эффективны при применении в масштабах целого ГТС или значительных его частей. Однако, нарушения фильтрационной устойчивости зачастую носят локальный характер [5]. Это делает применение данных методов устранения нарушений фильтрационной устойчивости экономически нецелесообразным в большинстве случаев. В связи с этим компании, эксплуатирующие



Рис. 2. Деформации полки дамбы (2013 г.)
Fig. 2. Dam cap deformations (2013)

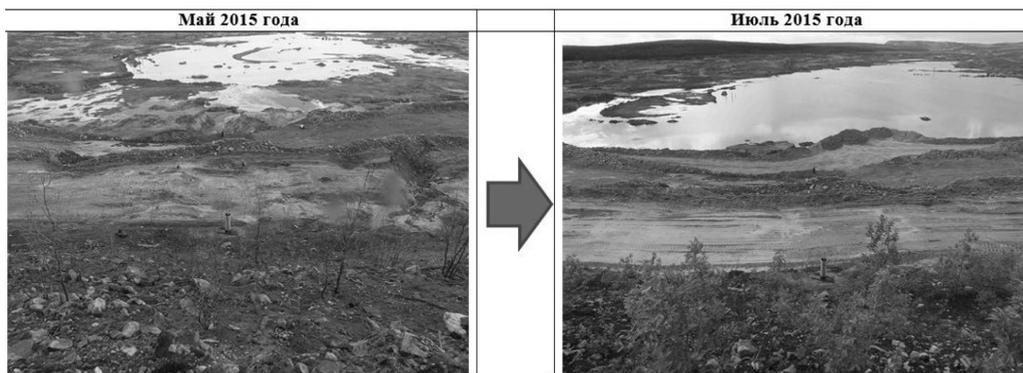


Рис. 3. Вид на деформированную полку дамбы в мае и июле 2015 г.
 Fig. 3. View of the deformed dam cap in May and July 2015

ГТС, вынуждены не устранять причины, а решать проблемы, возникающие в результате нарушений фильтрационной устойчивости.

В качестве примера можно привести локальные деформации дамбы хвостохранилища одного из горнорудных предприятий Мурманской области, возникшие в ноябре 2012 г. На рис. 2 представлен фотоснимок локальной деформации одной из полок дамбы, сделанный летом 2013 г.

В период ноября 2012 г. по май 2015 г. дальнейшего развития локальных деформационных процессов на данном

участке дамбы не наблюдалось, поэтому было принято решение восстановить полку методом отсыпки, как это показано на рис. 3. Методы повышения фильтрационной устойчивости не применялись.

В период с июля 2015 г. по июль 2016 г. регулярные наблюдения не выявили признаков деформационных процессов. Однако в августе 2016 г. произошел новый кратковременный цикл деформирования полки. Была проведена фотофиксация, анализ, классификация и систематизация новых деформаций с выделением локальных областей



Рис. 4. Деформация полки дамбы. Сентябрь 2016 г.
 Fig. 4. Dam cap deformation. September 2016

деформирования. На рис. 4 представлен фотоснимок деформации полки, расположенный в области деформаций 2012 г., изображенной на рис. 2, 3.

Сходство деформаций 2012 и 2016 гг. по расположению, характеру деформирования и отсутствию следов воздействия талых или дождевых вод, позволяет предположить общую природу деформаций, связанную с нарушениями фильтрационной устойчивости сооружения. Вероятно, фильтрующаяся через дамбу вода со временем на некоторых небольших участках вымыла мелкую фракцию материала дамбы, которая обеспечивала фильтрационные свойства сооружения. В результате в теле дамбы сформировался фильтрационный ход с низкими фильтрационными свойствами.

Сформировавшийся ход стал концентратором для фильтрующихся вод смежных участков дамбы. Возросшее количество фильтрующихся вод в таком ходе привело к вымыванию более крупных фракций материала дамбы.

Вымывание материала дамбы создавало в ее теле полости и привело к деформированию поверхности полки, начиная с полок, расположенных ближе всего к выходу фильтрующихся вод на поверхность.

Скачкообразное развитие деформаций полки, сменяющееся длительными периодами стабилизации ситуации, можно объяснить наличием у консолидированных грунтов дамбы определенной несущей способности, которая позволяет

ей сохранять устойчивость при небольших потерях материала.

Таким образом, видно, что деформации рассмотренной дамбы можно остановить, лишь восстановив фильтрационные свойства сооружения. Однако, использование для этой цели существующих методов повышения фильтрационной защиты нецелесообразно по ряду причин. Так, применение существующих методов в рамках всего ГТС, экономически неэффективно для устранения локальных фильтрационных ходов в силу особенностей этих методов, описанных выше. Так же применение описанных методов не устраняет основной причины деформирования тела дамбы — сформировавшихся фильтрационных ходов.

Подводя итог, можно сказать, что нарушениям фильтрационной устойчивости насыпных ГТС стоит уделять значительное внимание не только из-за их влияния на технологические процессы, связанного с ГТС производства, но и потому, что подобные нарушения могут привести к развитию деформационных процессов в теле дамбы, что может в дальнейшем привести к аварии. Однако, применение существующих масштабных методов повышения фильтрационной устойчивости в силу ряда их особенностей нецелесообразно. В связи с этим возникает необходимость в разработке нового метода, который бы позволял эффективно и с небольшими затратами бороться с локальными нарушениями фильтрационной устойчивости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев Н. К., Глаговский В. Б., Иванов А. А., Шаталина И. Н. Водоупорные элементы грунтовых плотин в северной строительной-климатической зоне с использованием грунтово-криогелевых композитов // Гидротехническое строительство. — 2013. — № 11. — С. 19–23.
2. Волков Ю. И., Изотов А. А., Пономаренко Ю. В. Противофильтрационные завесы в промышленности / Под общ. ред. Ю. И. Волкова. — М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2014. — 304 с.
3. Гальперин А. М. Геомеханика открытых горных работ. — М.: Изд-во МГГУ, 2003. — 473 с.
4. Гальперин А. М., Ферстер Ф., Шеф Х.-Ю. Техногенные массивы и охрана окружающей среды. — М.: Изд-во МГГУ, 2001. — 534 с.

5. Данилкин А. А., Калашник А. И., Запорожец Д. В., Максимов Д. А. Мониторинг состояния ограждающей дамбы в зоне отработки техногенного месторождения Ковдорского ГОКа // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 7. — С. 344–351.

6. Косиченко Ю. М., Баев О. А. Высоконадежные конструкции противofiltrационных покрытий каналов и водоемов, критерии их эффективности и надежности // Гидротехническое строительство. — 2014. — № 8. — С. 18–25.

7. Максимов Д. А., Калашник Н. А. Анализ методов повышения фильтрационной устойчивости ограждающих насыпных линейных протяженных объектов / Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли — формирование нового мировоззрения в освоении природных ресурсов. Сборник статей по итогам Всероссийской научно-технической конференции с участием иностранных специалистов. — Апатиты: ГИ КНЦ РАН. 2015. — С. 102–109.

8. СНиП 2.06.05-84* Плотины из грунтовых материалов. — М.: Госстрой СССР. — 1991.

9. Henan Xiangjiang Wanji Aluminium Refinery Shut Down Due to Danger of Red Mud Landslide. Available at <http://aluminiuminsider.com/henan-xiangjiang-wanji-aluminium-refinery-shut-down-due-to-danger-of-red-mud-landslide/>

10. Internal erosion of existing dams, levees and dikes, and their foundations. Volume 2: Case histories, investigations, testing, remediation and surveillance. International commission on large dams. Bulletin no 164. p. 199

11. Mount Polley tailings pond situation update. Available at <https://news.gov.bc.ca/stories/friday-aug-8---mount-polley-tailings-pond-situation-update>

12. Recalculating 'Normal' in Hungarian Disaster Zone. Available at <https://pulitzercenter.org/reporting/recalculating-normal-hungarian-disaster-zone>

13. Samarco, Brazil move closer on \$4.8B dam-disaster settlement. Available at <https://www.cnbc.com/2016/01/21/samarco-brazil-move-closer-on-48b-dam-disaster-settlement.html>.

14. Tailings dams risk of dangerous occurrences. International commission on large dams. Bulletin no 121. p. 145. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Максимов Дмитрий Анатольевич — научный сотрудник,
e-mail: maximoffda@gmail.com,
Горный институт Кольского научного центра РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 7, pp. 33–39.

Deficiency of current methods for improvement of filtration stability of rock-fill waterworks in mining

Maksimov D.A., Researcher, e-mail: maximoffda@gmail.com,
Mining Institute of Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences,
184209, Apatity, Russia.

Abstract. The article reviews the methods of filtration stability improvement at rock-fill waterworks connected with the use of special structural elements of the latter, improvement of filtration characteristics of the water works material and the use of special anti-leakage materials. The characteristic features of the described methods are revealed. An emphasis is laid on the features connected with the scale of the discussed methods. It is found that, given the loss of filtration stability is of local nature in the majority of waterworks, the current methods are technologically and economically unpractical. By way of illustration of local filtration stability loss, a tailings dam at a processing plant in the Murmansk Region is studied. The long-term in situ observations discover spasmodic behavior of deformation in the form of long stable-state periods and short-duration distortions. The identified deformation mechanism is connected with the loss of filtration stability. Water seepage in the dam body gradually washed fine particles out of local areas in the dam, and the resultant zone with low filtration characteristics became a concentration of water flow through the dam. Heavier flow kept washing out the dam material, which ended with the formation of a filtration channel. As a consequence of the dam material washing-out, voids were formed in the filtration channel, which grew and reached a critical size. After that local slip took place, and upper-lying layers fell

into the formed voids. It is inferred that the existing methods of filtration stability improvement are unpractical for elimination of local failures. In connection with this, it is advisable to develop a new method aimed to preclude such local losses of filtration stability as filtration channels.

Key words: rock-fill waterworks, tailings ponds, dams, embankments, filtration stability, methods of improvement of filtration characteristics, leakages, deformation.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-33-39

REFERENCES

1. Vasil'ev N. K., Glagovskiy V. B., Ivanov A. A., SHatalina I. N. Vodoupornnye elementy gruntovykh plotin v severnoy stroitel'no-klimaticheskoy zone s ispol'zovaniem gruntovo-kriogelevykh kompozitov [Impermeable elements of soil dams in the northern climatic zone of construction using ground-and-cryogel composites]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2013, no 11, pp. 19–23. [In Russ].
2. Volkov Yu. I., Izotov A. A., Ponomarenko Yu. V. Protivofil'tratsionnye zavesy v promyshlennosti. Pod red. Yu. I. Volkova [Anti-seepage screens in industry. Volkov Yu. I. (Ed.)], Moscow, Izdatel'skiy dom «Ruda i Metally», 2014, 304 p.
3. Gal'perin A. M. *Geomekhanika otkrytykh gornykh rabot* [Geomechanics of open pit mining], Moscow, Izd-vo MGGU, 2003, 473 p.
4. Gal'perin A. M., Ferster F., Shef H.-Yu. *Tekhnogennye massivy i ohrana okruzhayushchey sredy* [Mining waste bodies and environmental protection], Moscow, Izd-vo MGGU, 2001, 534 p.
5. Danilkin A. A., Kalashnik A. I., Zaporozhets D. V., Maksimov D. A. Monitoring sostoyaniya ogradzhayushchey damby v zone otrabotki tekhnogennogo mestorozhdeniya Kovdorskogo GOKa [Levee monitoring in the zone of mining waste management at Kovdor Mining and Processing Plant]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 7, pp. 344–351. [In Russ].
6. Kosichenko YU. M., Baev O. A. Vysokonadezhnye konstruksii protivofil'tratsionnykh pokrytiy kanalov i vodoemov, kriterii ih effektivnosti i nadezhnosti [Highly reliable structures of anti-seepage coating for channels and water bodies, criteria of their efficiency and reliability]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2014, no 8, pp. 18–25. [In Russ].
7. Maksimov D. A., Kalashnik N. A. Analiz metodov povysheniya fil'tratsionnoy ustoychivosti ogradzhayushchih nasypanykh lineynykh protyazhennykh ob'ektov [Analysis of methods for filtration stability improvement at extended linear embanking fill objects]. *Ekologicheskaya strategiya razvitiya gornodobyvayushchey otrasli formirovanie novogo mirovozzreniya v osvoenii prirodnykh resursov. Sbornik statey po itogam Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s uchastiem inostrannykh spetsialistov*. Apatity: GI KNTS RAN. 2015, pp. 102–109. [In Russ].
8. Plotiny iz gruntovykh materialov. SNiP 2.06.05-84* [Ground dams. SNiP 2.06.05-84*], Moscow, Gosstroy SSSR. 1991.
9. Henan Xiangjiang Wanji Aluminium Refinery Shut Down Due to Danger of Red Mud Landslide. Available at <http://aluminiuminsider.com/henan-xiangjiang-wanji-aluminium-refinery-shut-down-due-to-danger-of-red-mud-landslide/>
10. *Internal erosion of existing dams, levees and dikes, and their foundations*. Volume 2: Case histories, investigations, testing, remediation and surveillance. International commission on large dams. Bulletin no 164. p. 199
11. Mount Polley Tailings pond situation update. Available at <https://news.gov.bc.ca/stories/friday-aug-8-mount-polley-tailings-pond-situation-update>
12. *Recalculating 'Normal' in Hungarian Disaster Zone*. Available at <https://pulitzercenter.org/reporting/recalculating-normal-hungarian-disaster-zone>
13. *Samarco, Brazil move closer on \$4.8B dam-disaster settlement*. Available at <https://www.cnbc.com/2016/01/21/samarco-brazil-move-closer-on-48b-dam-disaster-settlement.html>.
14. *Tailings dams risk of dangerous occurrences*. International commission on large dams. Bulletin no 121. p. 145.

