

18. Kolosov, M. A., N. V. Selezneva, and A. A. Jejrus. RU 2 552 361 C1, IPC E 02 B 3/00, E 02 B 3/02, E 02 B 3/10. Protivopavodkovaja filtrujushhaja plotina. Russian Federation, assignee. Patent 2552361. 5 March 2014.

19. Kolosov, M. A., and N. V. Selezneva. "Vyjavlenie potencialno opasnyh zon, podverzhennyh dozhdevym pavodkam i principy inzhenernoj zashhity." *Vodnye puti i ruslovyje processy: sb. nauch. tr. Vyp. 2.* SPb.: Izd-vo GUMRF im. adm. S.O. Makarova, 2015: 152–161.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Колосов Михаил Александрович —
 доктор технических наук, профессор.
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
 адмирала С. О. Макарова»
kolosov-34@mail.ru, kaf_gsk@gumrf.ru
Селезнёва Наталия Валерьевна — аспирант.
 Научный руководитель:
Колосов Михаил Александрович.
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
 адмирала С. О. Макарова»
natalyselezneva@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kolosov Mihail Aleksandrovich —
 Dr. of Technical Sciences, professor.
 Admiral Makarov State University of Maritime
 and Inland Shipping
kolosov-34@mail.ru, kaf_gsk@gumrf.ru
Selezneva Natalija Valerevna — postgraduate.
 Supervisor:
Kolosov Mihail Aleksandrovich.
natalyselezneva@mail.ru

Статья поступила 21 июня 2016 года

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-94-104
УДК 627.83

А. А. Коношенков

РАЗРАБОТКА РАСЧЁТНОЙ МОДЕЛИ РАЗРУШЕНИЯ ГРУНТОВОЙ ПЕРЕМЫЧКИ В АВАРИЙНОМ ВОДОСБРОСЕ

В статье представлена конструкция аварийного трубчатого водосброса с грунтовой перемычкой, обеспечивающей быстрое включение системы при достижении в водохранилище критического уровня воды из-за паводков малой обеспеченности. Объясняется проблематичность расчёта разрушения грунтовой перемычки в рассмотренной конструкции водосброса. Проведён обзор конструкций аварийных и резервных водопропускных сооружений, содержащих вставки из грунтовых материалов, а также математические модели расчёта их разрушения. Также рассмотрены существующие математические модели разрушения грунтовых плотин, модели формирования прорана. Проанализирована возможность применения существующих моделей для расчёта разрушения грунтовой перемычки представленной конструкции. Составлена модель расчёта разрушения грунта с помощью метода электрогидродинамических аналогий. Выполнены графики определения критического разрушающего напора для грунтовых перемычек. Предложен алгоритм разрушения грунтовой перемычки в течение времени.

Ключевые слова: паводок малой обеспеченности, водосброс, грунтовая перемычка, метод ЭГДА.

Введение

Аккумуляция и пропуск паводкового расхода — одна из наиважнейших проблем в современной гидротехнике. Интересы гидроэнергетики требуют как можно более быстрого наполнения водохранилища до проектной отметки после периода сработки водохранилища, что приводит к неготовности его принять паводок обеспеченности меньше 1 % (рис. 1) из-за уже заполненного объёма. В данной ситуации очень важно пропустить паводок, чтобы избежать перелива воды через гребень гидроузла.

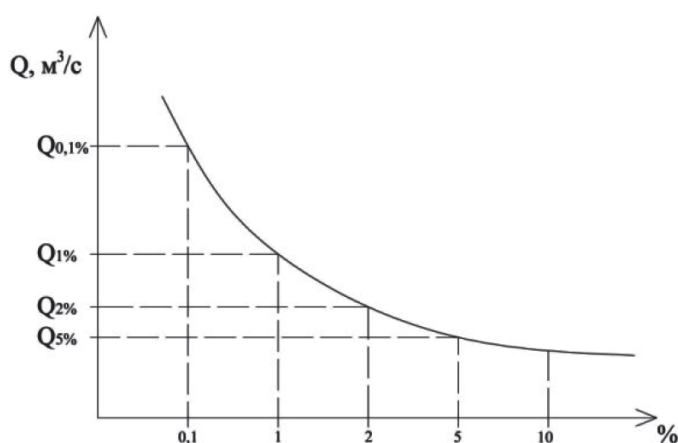


Рис. 1. Кривая обеспеченности расхода воды в реке

Одним из путей решения такой проблемы как пропуск паводка через створ гидроузла является строительство аварийного берегового водосброса, способного пропускать значительные расходы и исключить перелив через гребень плотины судоходного гидроузла. Конструкция, которую можно использовать для решения данной проблемы, представляет собой трубчатый водосброс с грунтовой перемычкой (рис. 2) [1].

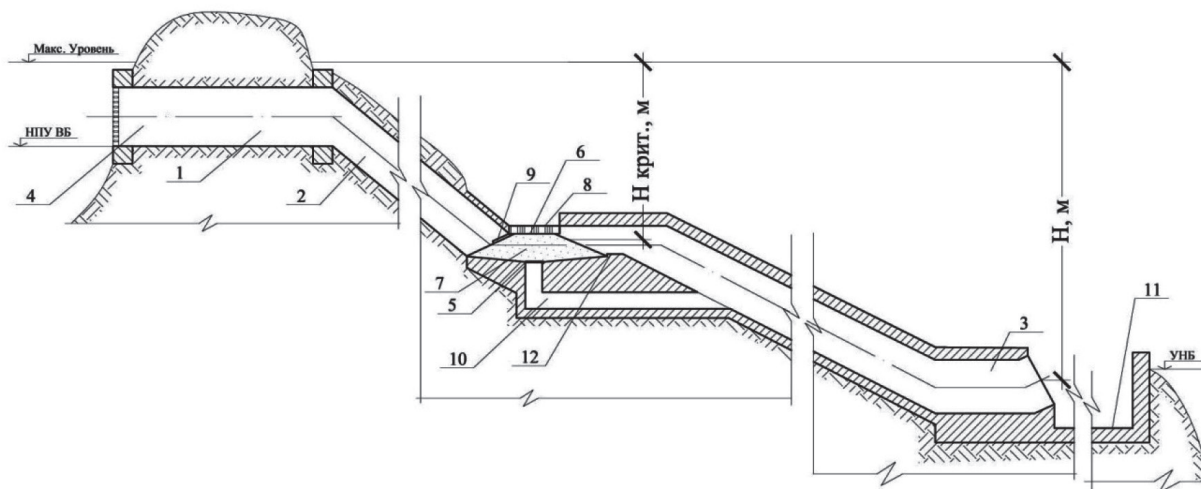


Рис. 2. Конструкция предлагаемого водосброса для судоходных гидроузлов

Устройство включает трубопровод 1 с наклонным 2 и водовыпускным 3 отрезками. В оголовке водоприемного отрезка установлена сороудерживающая решётка 4 или щелевой водозабор. Между наклонным 2 и водовыпускным 3 отрезками трубопровода смонтирована площадка 5. Над площадкой 5 выполнено отверстие 6 для загрузки песчаной вставки 7, закрываемое после окончания операции крышкой 8. Нижняя поверхность крышки 8 вплотную прилегает к песчаной вставке 7, что создает надежную пробку для некритических напоров воды. На краю загрузочного отверстия 6 со стороны наклонного отрезка трубопровода установлена поворотная заслонка 9. На дне площадки 5 установлена решетка с геотекстилем, через которую трубопровод сообщается с дренажным колодцем 10, отводящим воду в водобойный колодец 11.

Наиболее сложным элементом для расчёта данной конструкции является грунтовая перемычка, так как грунт является анизотропной системой, физико-механические характеристики которой могут изменяться с течением времени. В связи с этим отсутствует единая математическая модель разрушения грунта.

Обзор

Существуют идеи создания водопропускных сооружений с перемычкой из песка. Одной из таких идей является конструкция П. М. Богославчика [2], [3]. Водосбросное сооружение является резервным, входит в состав напорного фронта в виде секции грунтовой стороны напорного фронта, выполнена полая упорная бетонная призма, прикрепленная к флютбету, а грунтовая вставка выполнена из материала с плотностью меньше, чем у материала тела самой плотины. Пустотелая упорная бетонная призма выполнена шириной, равной ширине грунтовой вставки, закрепленной на бетонном флютбете, что позволяет гасить кинетическую энергию пропускаемого через сооружение сбросного потока за счет формирования системы двух соударяющихся потоков в пределах флютбета (рис. 3).

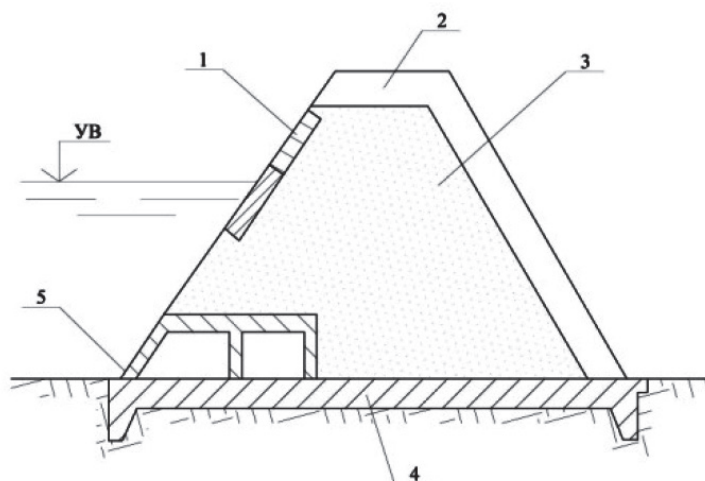


Рис. 3. Конструкция размываемой перемычки:

1 — крепление откоса; 2 — тело плотины; 3 — грунтовая размываемая вставка;
4 — бетонный флютбет; 5 — пустотелая упорная призма

Выполнение тела грунтовой вставки из материала, имеющего плотность меньше, чем у материала тела самой плотины, позволяет получить сокращение времени размыва вставки в период пропуска расхода. Это позволяет повысить эффективность работы самого сооружения напорного фронта грунтовой плотины. При помощи плит производится защита верхнего откоса от воздействия волн и льда. При этом грунтовая вставка, расположенная между бетонными устоями, до достижения критического уровня работает как грунтовая плотина.

При необходимости пропуска расходов малой обеспеченности, когда пропускная способность основного водосброса становится недостаточной, уровень воды в верхнем бьефе повышается до отметки форсированного уровня, и происходит перелив воды через грунтовую вставку, сопровождающийся ее полным размывом в пределах ограниченных флютбетом и устоями (рис. 4). Таким образом открывается более широкий водосливной фронт, обеспечивающий пропуск необходимого расхода. При этом размыв грунтовой вставки исключает перелив воды через гребень плотины. Значительное гашение кинетической энергии всего сбрасываемого потока предотвращает размыв грунта в нижнем бьефе. По окончании паводка грунтовая вставка восстанавливается до первоначальных размеров.

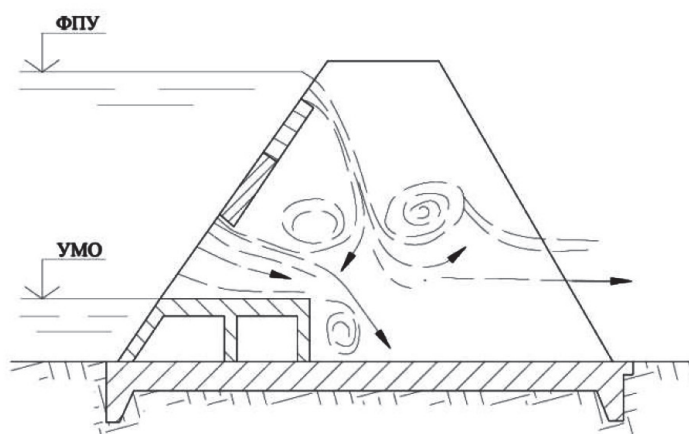


Рис. 4. Размыв грунтовой перемычки

Перелив воды через гребень происходит в режиме, близком к режиму водослива с практическим профилем. Опыты П. М. Богославчика были повторены И. Ф. Пикаловой и Т. В. Наумовой [4], результаты опытов имеют высокую корреляцию (рис. 5 и 6).

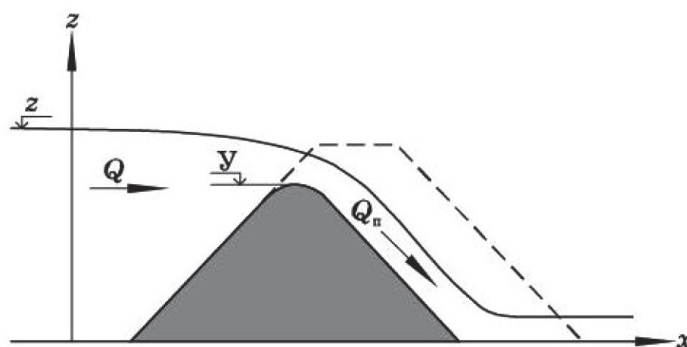


Рис. 5. Схема размыва перемычки из грунта

Коэффициент расхода водослива определяется по формуле

$$m = \frac{Q_n}{b\sqrt{2g \cdot H^{3/2}}}, \quad (3)$$

где Q_n — расход поверхностного потока воды; b — ширина размываемой вставки; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения; $H, \text{ м}$ — напор воды над вставкой из грунта.

По результатам опытов была получена графическая зависимость H/P , где $P, \text{ м}$ — высота размываемой перемычки из грунта.

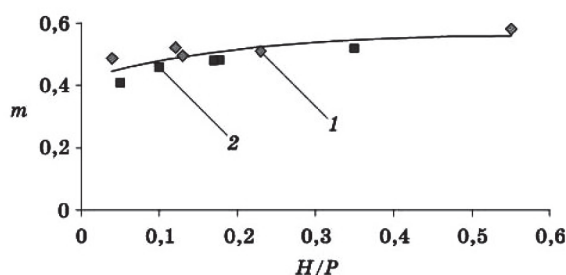


Рис. 6. График зависимости $m = f(H, P)$:

1 — опыты П. М. Богославчика; 2 — опыты И. Ф. Пикаловой и Т. В. Наумовой

Ещё одной конструкцией аварийного паводкового водосброса с размываемой вставкой является система, предложенная Ю. М. Косиченко и Е. Д. Михайловым [5] – [7]. Водосброс представляет собой искусственный проран трапецевидального сечения в теле грунтовой плотины, в основании которого уложено покрытие из геомембраны, предотвращающее размыв плотины. Отметка порога искусственного прорана устанавливается выше нормального подпорного уровня в водохранилище, но ниже форсированного подпорного уровня. Размеры искусственного прорана назначаются, исходя из условий пропуска максимального расчётного паводкового расхода. Ширина искусственного прорана b для аварийного водосброса определяется по формуле

$$b = \frac{\Delta Q}{\varepsilon \cdot \varphi \cdot k \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}} - m_0 \cdot H, \quad (4)$$

где ΔQ — расчётный паводковый расход через искусственный проран, $\text{м}^3/\text{с}$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения; H — напор воды на входе, м ; ε , φ , k — коэффициенты бокового сжатия, скорости и пространственного истечения; m_0 — коэффициент заложения откоса (рис. 7).

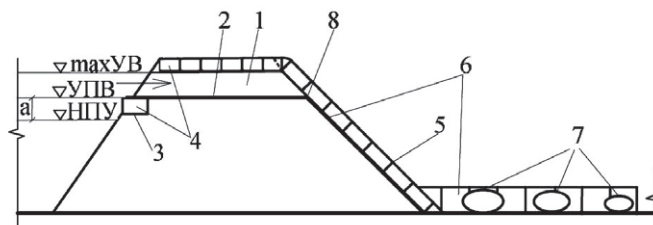


Рис. 7. Продольный разрез конструкции с искусственным прораном:
1 — искусственный проран в теле грунтовой плотины; 2 — защитное покрытие из геомембраны;
3 — прямки; 4 — балласт; 5 — полотно из геомембраны;
6 — гибкие оболочки, заполненные песком; 7 — гасители энергии потока; 8 — сварной шов

Механизм разрушения грунтовой перемычки в искусственном проране заключается в воздействии на частицы грунта переливающегося потока, скорость которого будет больше размывающей скорости, причём наиболее активный размыв происходит в низовой грани откоса. Одновременно с поверхностным размывом происходит активный фильтрационный размыв, проходящий по основанию вставки, выполненному из геоматериала с коэффициентом фильтрации, достигающим 60 – 100 м/сут в горизонтальном направлении (рис. 8).

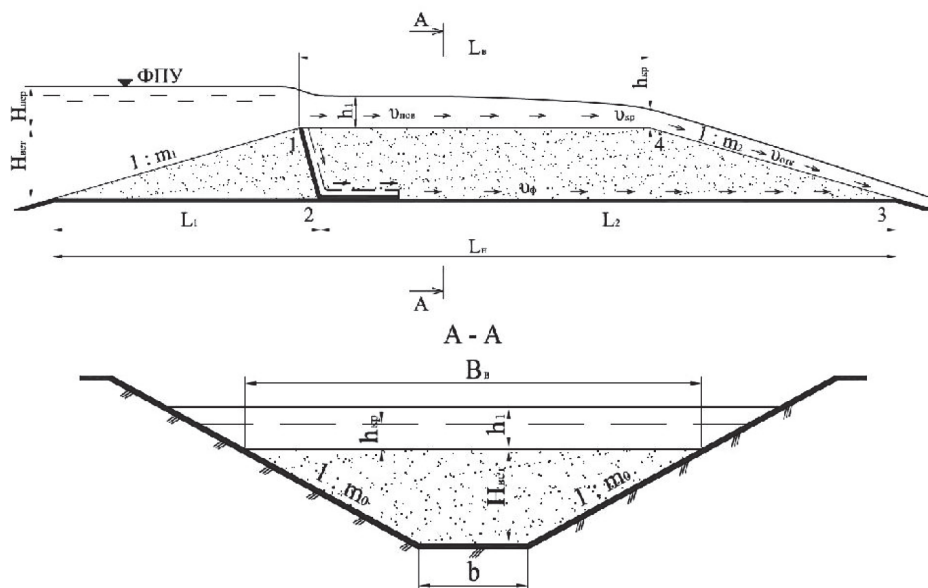


Рис. 8. Расчётная схема размыва грунтовой вставки в искусственном проране.
Продольное и поперечное сечения грунтовой вставки

Расход поверхностного потока Q определяется по формуле

$$Q = m(b + 2m_0 H_{\text{вст}} + m_0 h_1) h_1 \sqrt{2gH_{\text{пер}}}, \quad (5)$$

где b — ширина грунтовой вставки по основанию, м; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения; $H_{\text{вст}}$ — высота грунтовой вставки, м; h_1 — глубина на водосливе до начала размыва вставки, м; $H_{\text{пер}}$ — напор переливающегося потока перед грунтовой вставкой, м; m — коэффициент расхода для широкого водослива, определяемый по формуле

$$m = 0,301 + 0,0603\sigma, \quad (6)$$

где σ — относительная высота порога водослива.

Существуют также математические и гидравлические модели формирования прорана в теле грунтовой плотины. Исследования этого вопроса описаны в работах А. М. Прудовского и К. Р. Пономарчук [8] – [12]. По результатам гидравлического моделирования получен порядок развития прорана в однородной грунтовой плотине (вставке).

На участке начального перелива через гребень сооружения начинается снос грунта на низовой грани. После чего размыв начинает распространяться в сторону гребня, на низовом же откосе образуется ложбина. Наполнение этой ложбины приводит к расширению прорана и увеличению расхода воды через него. Боковые откосы начинают терять устойчивость, что приводит к развитию прорана не только из-за смыва грунта с обтекаемых поверхностей, но и из-за обрушения откосов прорана. По достижении дном прорана основания плотины поперёк её подошвы начинается вторая стадия развития: боковое расширение прорана. Масса грунта во взвешенном состоянии обрушается в проран, причём часть сносится потоком в нижний бьеф, а другая оседает у основания откоса. Развитие прорана приводит к опорожнению водохранилища, уровень воды которого начинает падать. Вследствие напора, уменьшается расход воды сквозь прорыв, уменьшается интенсивность развития прорана. Расширение прорана прекращается либо при опорожнении водохранилища, либо при достижении значений скоростей потока меньше размывающей скорости для материала, складывающего откосы плотины. По итогам гидравлического моделирования были построены графики изменения во времени ширины прорана $B_t = B(t)$. На основании этих графиков была выведена эмпирическая формула развития ширины прорана B от времени t :

$$\frac{dB}{dt} = 0,035 \cdot \frac{g^{1/2} \cdot h_t^{9/2}}{W_{\text{уд}}^2}, \quad (7)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения; $W_{\text{уд}}$ — площадь поперечного сечения плотины между её гребнем и дном прорана; h_t — разность уровней воды между верхним бьефом и дном прорана (действующий напор на проране).

В исследованиях разрушения грунта в проране С. Г. Косарева [13], [14] вводятся допущения: расход потока воды через проран определяется по формуле водослива без порога, а сечение прорана принимается прямоугольным на участке развития от гребня до основания плотины. Размыв плотины осуществляется только до его основания. Первоначальная ширина размыва в проране при переливе через гребень принимается $B_1 = 1,0 \text{ м}$. Площадь зеркала водохранилища $\Omega_{\text{вз}}$ является постоянной и равной отношению начального объёма водохранилища V_1 к начальному напору H_1 . Ширина прорана в любой момент времени определяется по формуле

$$B_{i+1} = B_i + \frac{\Delta W_i}{\Omega_{\text{пл}}}, \quad (8)$$

где ΔW_i — объём грунта, вынесенного из тела плотины за период времени t_i .

Результаты исследования

Существующие модели формирования прорана в теле грунтовой плотины (вставки), а также модели разрушения грунта в резервных водосбросах с грунтовой вставкой исходят из принципа поверхностного перелива. Этот перелив через гребень плотины вызывает размыв в нижней части

перемычки, но так как в предложенной конструкции грунтовая вставка находится в состоянии пробки, т. е. отсутствует поток над гребнем перемычки, использовать напрямую эти модели невозможно.

Для того чтобы получить условия разрушения грунтовой перемычки в конструкции трубчатого водосброса, было выполнено исследование фильтрационного режима на аппарате ЭГДА. Была построена гидродинамическая сетка для перемычек (грунтовых вставок) с различными характеристиками: $b_{гр}$ — ширина вставки по гребню, м; $h_{вст}$ — высота грунтовой вставки; угол заложения откоса от 20 до 35° (рис. 9).



Рис. 9. Расчётная схема размыва грунтовой вставки в трубчатом водосбросе

Для грунтовых перемычек определяется положение линий равных напоров: $0,8h$, $0,7h$, $0,6h$, $0,5h$, $0,4h$, $0,3h$, $0,2h$. После построения линий равных напоров, по принципу ортогональности строятся линии тока. Поворотная заслонка (см. рис. 9) позволяет «обрубить» линии тока в верхней части грунтовой вставки. По линиям тока можно получить эпюру градиентов фильтрации. Благодаря отсутствию линий тока в верхней части перемычки, эпюра градиентов фильтрации располагается не на всём протяжении откоса, а только в средней его части. Ниже линий тока находится «мёртвый объём» — часть грунта, не участвующая в фильтрационном режиме (рис. 10).

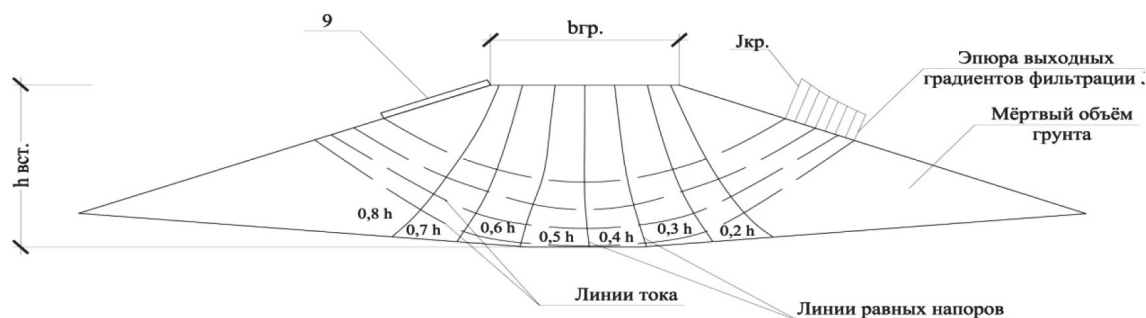


Рис. 10. Положение эпюры выходных градиентов фильтрации

Выходные градиенты определяются по формуле

$$J = \frac{0,2h}{l}, \quad (9)$$

где l — длина участка линии тока между линией равного напора $0,2h$ и линией откоса; J — выходной градиент фильтрации.

Так как необходимо найти разрушающий перемычку максимальный напор $H_{\text{крит}}$, зависящий от критического градиента фильтрации $J_{\text{кр}}$, можно заменить h на $H_{\text{крит}}$, а J на $J_{\text{кр}}$.

$$H_{\text{крит}} = 5 \cdot J_{\text{кр}} \cdot l. \quad (10)$$

Согласно СП 39.13330.2012 «Плотины из грунтовых материалов», значение критических средних градиентов напора для мелкого песка соответствуют 0,75, а для среднего песка — 1,0 [15]. Как видно, более выгодными, с точки зрения наиболее высокого критического напора, являются грунтовые перемычки с углом заложения откоса 20° , выполненные из среднего песка с критическим градиентом фильтрации 1,0 (рис. 11).

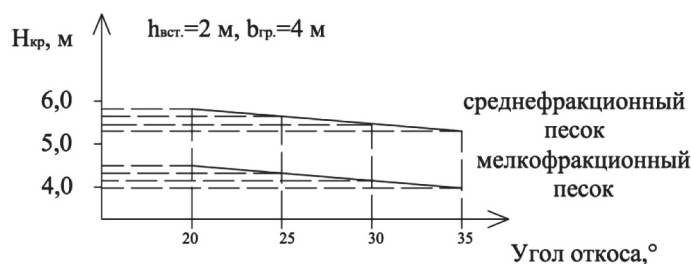


Рис. 11. Зависимость критического напора от угла заложения откоса и значения критического градиента фильтрации

На основании метода ЭГДА получены графики $H_{\text{крит}}$ — критического разрушающего напора для перемычек с углом заложения откоса 20° , сложенных из среднефракционного песка с шириной гребня $b_{\text{гр}}$ от 1,0 м до 4,0 м, — высотой вставки $h_{\text{вст}}$ от 1,0 до 4,0 м (рис. 12).

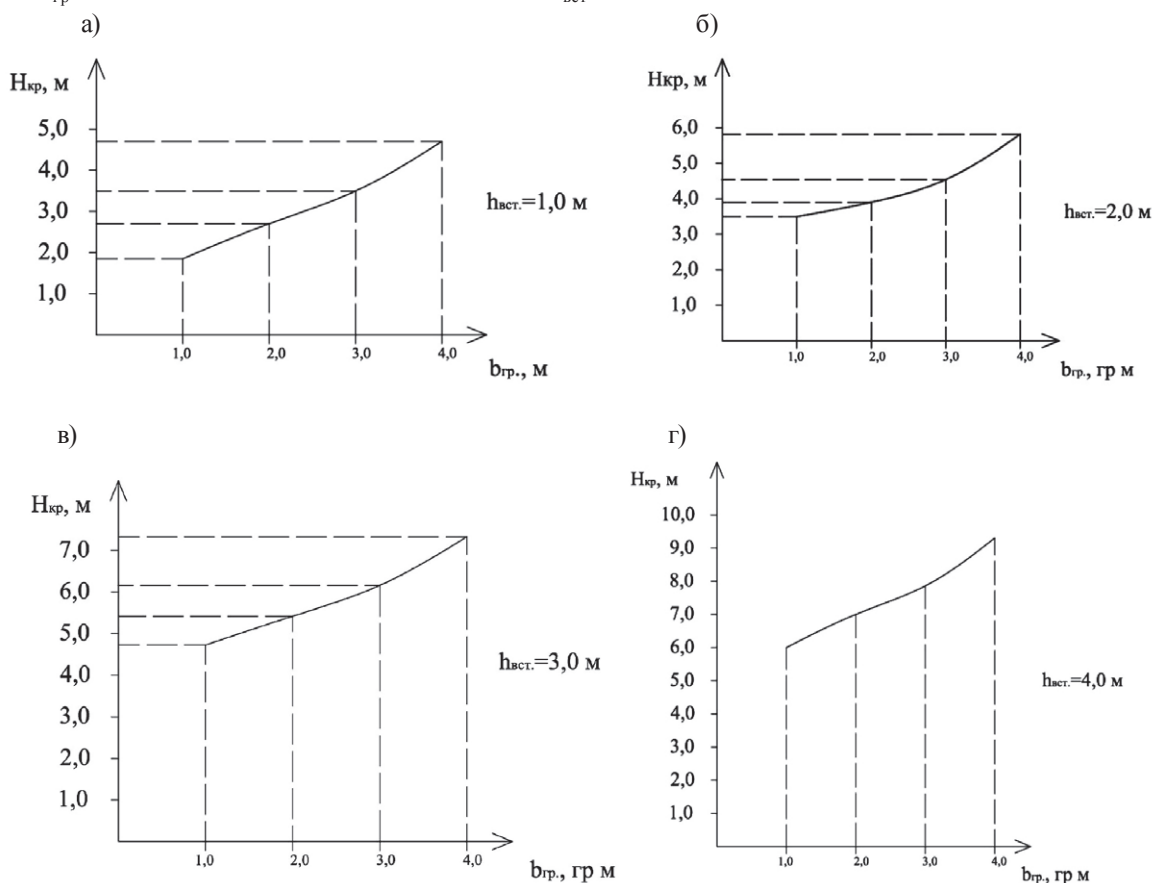


Рис. 12. Зависимость критического напора для перемычки:
а — высотой 1,0 м; б — высотой 2,0 м; в — высотой 3,0 м; г — высотой 4,0 м

Разрушение грунтовой перемычки проходит по следующему предполагаемому сценарию (рис. 13). На первой стадии в зоне выпора грунта вдоль линии тока по критическому градиенту фильтрации происходит активный вынос частиц грунта. Этот процесс приводит к оползанию грунта в зоне обрушения откоса. Активный вынос грунта происходит до полного оползания откосов из зоны выше линии максимального градиента. Освобождение зоны обрушения от грунта приводит к повороту заслонки и началу второй стадии разрушения. Во время второй стадии разрушения грунтовой перемычки начинается перелив через оставшуюся часть грунта, что приводит к быстрому размыву. Быстрый размыв перемычки обусловлен большим напором и скоростями воды много выше размывающей. На этапе поверхностного размыва грунтовой вставки возможно использование схем размыва из конструкций П. М. Богославчика, а также Ю. М. Косиченко и Е. Д. Михайлова. Формулы развития прорана (7), (8) также возможно применить на стадии поверхностного размыва.

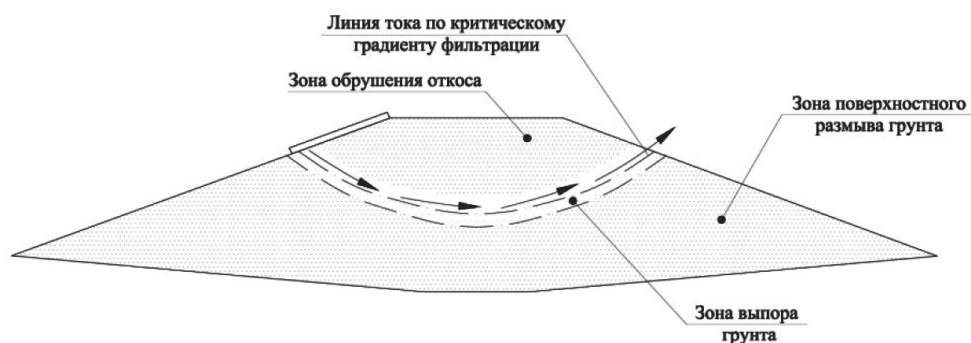


Рис. 13. Зоны разрушения грунтовой перемычки

Выводы

Наиболее сложным в расчёте представленного аварийного трубчатого водосброса является грунтовая перемычка. Анизотропия грунта как системы приводит к отсутствию единой математической модели разрушения. По этой причине был проведён анализ существующих водопропускных сооружений с грунтовыми перемычками (вставками). Анализ показал, что в существующих конструкциях используется схема поверхностного размыва. В предложенной конструкции поверхностный размыв изначально отсутствует, так как грунтовая вставка работает на выпор, поэтому полностью применить опыт гидравлического и математического моделирования описанных конструкций не представляется возможным. Проведённый анализ моделей развития прорана в теле плотины показал, что и математические модели прорана исходят из принципа поверхностного разрушения, как следствие — отсутствие возможности полного применения моделей к предложенной конструкции.

Представлены результаты моделирования методом ЭГДА. На основе полученных моделированием линий тока для множества профилей грунтовых вставок получены графики зависимости критического напора от высоты перемычки и ширины гребня. На основе линий тока сделан вывод о сценарии разрушения грунтовой перемычки: активного выноса грунта на первой стадии и поверхностного размыва на второй стадии. Сделан вывод о возможности использования существующих математических моделей разрушения на второй стадии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колосов М. А. Разработка конструкции водосброса для судоходных гидроузлов / М. А. Колосов, А. А. Коношенков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 3 (37). — С. 71–78.
2. Богославчик П. М. Резервные водосбросы с размываемыми грунтовыми вставками на малых водохранилищах и прудах гидромелиоративных систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук (06.01.02) / П. М. Богославчик. — Минск: Белорус. НИИ мелиорации и вод. хоз-ва, 1986. — 22 с.

3. Богославчик П. М. Динамика размыва плотины из местных материалов при переливе воды / П. М. Богославчик, И. В. Филипович // Известия ВУЗов СССР: Серия Энергетика. — 1982. — № 3. — С. 88–93.
4. Пикалова И. Ф. Гидравлические исследования размываемых грунтовых вставок резервных водосбросов / И. Ф. Пикалова, Т. В. Наумова // Природообустройство. — 2015. — № 1. — С. 47–50.
5. Косиченко Ю. М. Применение резервных водосбросов в грунтовых плотинах для пропуска паводковых расходов / Ю. М. Косиченко, Е. Д. Михайлов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. — 2014. — № 2 (14). — С. 124–137.
6. Косиченко Ю. М. Методика расчёта параметров резервного водосброса с размываемой вставкой / Ю. М. Косиченко, Е. Д. Михайлов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. — 2014. — № 4 (16). — С. 176–189.
7. Михайлов Е. Д. Гидравлическая оценка эффективности сработки грунтовой вставки резервного водосброса / Е. Д. Михайлов // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура — 2016. — № 1 (22). — С. 27–33.
8. Прудовский А. М. Образование прорана при прорыве земляной плотины / А. М. Прудовский, К. Р. Пономарчук // Экологические проблемы водного хозяйства и мелиорации: материалы науч.-практ. конф. — М.: МГУП, 2000. — С. 99–100.
9. Прудовский А. М. Образование прорана при прорыве земляной плотины / А. М. Прудовский // Безопасность энергетических сооружений. — 1998. — № 2. — С. 67–69.
10. Пономарчук К. Р. Оценка параметров развития прорана при разрушении грунтовой плотины // Природообустройство. — 2011. — № 3. — С. 77–82.
11. Пономарчук К. Р. Экспериментальные исследования процесса разрушения грунтовых плотин / К. Р. Пономарчук, А. М. Прудовский // Гидротехническое строительство. — 1997. — № 4. — С. 5.
12. Пономарчук К. Р. Оценка влияния раскрытия прорана в грунтовой плотине на гидравлический режим нижнего бьефа / К. Р. Пономарчук // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Роль природообустройства сельских территорий в обеспечении устойчивого развития АПК». Ч I. — М.: МГУП, 2007. — С. 273.
13. Косарев С. Г. Обоснование выбора расчетной зависимости для определения транспорта наносов в процессе развития прорана в теле однородных земляных намывных плотин / С. Г. Косарев // Гидротехническое строительство. — 2012. — № 4. — С. 13–16.
14. Косарев С. Г. Методика расчета развития прорана в теле однородных земляных намывных плотин вследствие возникновения аварийных ситуаций / С. Г. Косарев // Гидротехническое строительство. — 2012. — № 4. — С. 17–20.
15. СП 39.13330.2012 Плотины из грунтовых материалов. — М., 2012. — 87 с.

FORMULATION OF CALCULATION MODEL OF GROUND COFFERDAMS DESTRUCTION IN THE EMERGENCY SPILLWAY

The article presents the tubular spillway with the ground cofferdam that provides quick start when the water storage reservoir reaches the critical water level in the case of floods with small outflow probability. Difficulty of calculation of destruction of reviewed ground cofferdam is explained. Overview of the constructions of reserve spillways, that contain ground cofferdams, and the mathematical models of calculations their destructions is made. The existing mathematical models of ground cofferdams destructions are also considered. The opportunity of possible using the existing calculation models for presented ground cofferdams destruction is analyzed. The calculation model for ground cofferdams destructions is made by the electric analogy method. The article presents the schedules of critical destroying pressure for ground cofferdams definition. The algorithm of ground cofferdams destruction during time is suggested.

Keywords: floods with small outflow probability, spillway, ground cofferdams, electric analogy method.

REFERENCES

1. Kolosov, Mihail Aleksandrovich, and Aleksandr Alekseevich Konoshenkov. "Engineering spillway construction for navigable hydrosystem." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 3(37) (2016): 71–78.

2. Bogoslavchik, P. M. Rezervnye vodosbrosy s razmyvaemymi gruntovymi vstavkami na malyh vodohranilishhah i prudah gidromeliorativnyh system. Abstarct of PhD diss. Minsk: Belarus. NII melioracii i vod. hoz-va, 1986.
3. Bogoslavchik, P. M., and I. V. Filipovich. "Dinamika razmyva plotiny iz mestnyh materialov pri perelive vody." *Izvestija VUZov SSSR: Serija Jenergetika* 3 (1982): 88–93.
4. Pikalova, I. F., and T. V. Naumova. "Hydraulic tests of scoured soil isertions of reserve spillways." *Prirodoobustrojstvo* 1 (2015): 47–50.
5. Kosichenko, Yuriy Mikhaylovich, and Yevgeniy Dmitriyevich Mikhaylov. "Reserve spillway in earth dams for passing flood discharges." *Scientific Journal of Russian Research Institute of Land Improvement Problems* 2(14) (2014): 124–137.
6. Kosichenko, Yuriy Mikhaylovich, and Yevgeniy Dmitriyevich Mikhaylov. "Method for calculating the parameters of reserve spillway with scoured insert." *Scientific Journal of Russian Research Institute of Land Improvement Problems* 4(16) (2014): 176–189.
7. Mikhaylov, Evgeny. "Hydraulic performance evaluation of drawdown dirt insert of a reserve water outlet." *Vestnik SGASU. Town Planning and Architecture* 1(22) (2016): 27–33.
8. Prudovskij, A. M. and K. R. Ponomarchuk. "Obrazovanie prorana pri proryve zemljanoj plotiny." *Jekologicheskie problemy vodnogo hozjajstva i melioracii: materialy nauchno-prakticheskoy konferencii*. M.: MGUP, 2000: 99–100.
9. Prudovskij, A. M. "Obrazovanie prorana pri proryve zemljanoj plotiny." *Bezopasnost jenergeticheskikh sooruzhenij* 2 (1998): 67–69.
10. Ponomarchuk, K. R. "Assessment of parameters of closure channel development at destruction of earth dams." *Prirodoobustrojstvo* 3 (2011): 77–82.
11. Ponomarchuk, K. R. and A. M. Prudovskij. "Jeksperimentalnye issledovanija processa razrushenija gruntovyh plotin." *Power Technology and Engineering* 4 (1997): 5.
12. Ponomarchuk, K. R. "Ocenka vlijanija raskrytija prorana v gruntovoj plotine na gidravlicheskij rezhim nizhnego befa." *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Rol prirodoobustrojstva selskih territorij v obespechenii ustojchivogo razvitija APK»*. Part I. M.: MGUP, 2007: 273.
13. Kosarev, S. G. "Obosnovanie vybora raschetnoj zavisimosti dlja opredelenija transporta nanosov v processe razvitija prorana v tele odnorodnyh zemljanyh namyvnyh plotin." *Gidrotehnicheskoe stroitelstvo* 4 (2012): 13–16.
14. Kosarev, S. G. "Metodika rascheta razvitija prorana v tele odnorodnyh zemljanyh namyvnyh plotin vsledstvie vznikovenija avarijnyh situacij." *Gidrotehnicheskoe stroitelstvo* 4 (2012): 17–20.
15. Russian Federation. Set of rules SP 39.13330.2012 Plotiny iz gruntovyh materialov. M., 2012.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Коношенков Александр Алексеевич — аспирант.
Научный руководитель:
Колосов Михаил Александрович —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
a.konoshenkov@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Konoshenkov Aleksandr Alekseevich — postgraduate.
Supervisor:
Kolosov Mihail Aleksandrovich — Dr. of Technical
Sciences, professor.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
a.konoshenkov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20 июня 2016 г.