

Оригинальная статья

УДК 502/504: 627.5

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-134-141

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ НАМЫВА УЗКОПРОФИЛЬНЫХ ДАМБ

ЖОГИН ИВАН МИХАЙЛОВИЧ, заведующий лабораторией

zhogin.ivan@yandex.ru

СМЕТАНИН ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ, д-р техн. наук, профессор

smetanin2000@yandex.ru

СТЕПАНОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ, канд. техн. наук, доцент

alex15120@yandex.ru

ПЕНКИН ДМИТРИЙ АНДРЕЕВИЧ, магистрант

pda.1997@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Москва, Тимирязевская, 49. Россия

Возведение защитных дамб является наиболее эффективным средством борьбы с затоплениями. Существуют различные способы возведения защитных дамб. Намывной способ возведения защитных дамб позволяет значительно снизить затраты на их строительство. В статье рассмотрены способ и устройство для намыва узкопрофильных дамб позволяющее использовать в качестве строительного материала донные отложения. Способ включает в себя расчистку русла от донных отложений с проведением дноуглубительных работ улучшая пропускную способность в период паводков. Работы выполняются землесосным снарядом и разработанный грунт в виде пульпы поступает к устройству для намыва. Устройство для намыва обеспечивает отделение из общего потока пульпы крупные фракции грунта и позволяет сформировать узкопрофильную дамбу с устойчивыми откосами и противофильтрационным ядром. В статье предложены гидравлические расчёты, позволяющие обосновать конструктивные и технологические параметры способа и устройства для намыва узкопрофильных дамб: определены величины расхода и средней скорости движения пульпы в распределительном узле устройства; обоснованы размеры входного отверстия раструба; определено время намыва одной карты; обоснованно количество выпускных отверстий в распределительных пульпопроводах и уточнено место их расположения. Построены номограммы, позволяющие определять оптимальные режимы намыва дамб: длину пульпопровода, высоту подъема пульпы, время заполнения карты намыва.

Ключевые слова: затопление территорий, паводковые наводнения, намывные узкопрофильные дамбы, карта намыва, землесосный снаряд, устройство для намыва, раструб, защитная решетка, элемент серповидной формы, пульпа, донные отложения и наносы, пульпопровод, гидравлические расчеты, номограммы, влекомые наносы, взвешенные наносы, расчет пульпопровода, расход пульпы, средняя скорость течения, потери напора

Формат цитирования: Жогин И.М., Сметанин В.И., Степанов А.А., Пенкин Д.А. Гидравлическое обоснование работы устройства для намыва узкопрофильных дамб // Природообустройство. – 2021. – № 1. – С. 134-141. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-134-141.

© Жогин И.М., Сметанин В.И., Степанов А.А., Пенкин Д.А., 2021

Original article

HYDRAULIC JUSTIFICATION FOR THE OPERATION OF THE DEVICE FOR ALLUVIATION OF NARROW-PROFILED DAMS

ZHOGHOGIN IVAN MIKHAILOVICH✉, head of the laboratory

zhogin.ivan@yandex.ru

SMETANIN VLADIMIR IVANOVICH, doctor of technical sciences, professor

smetanin2000@yandex.ru

STEPANOV ALEXANDR ALEXANDROVICH, candidate of technical sciences

alex15120@yandex.ru

PENKIN DMITRIJ ANDREEVICH, magister

pda.1997@mail.ru

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49. Russia

The construction of protective dams is the most effective means of combating flooding. There are various ways to build protective dams. The alluvial method of constructing protective dams can significantly reduce the cost of their construction. The article describes a method and device for alluvial narrow-profile dams that allows the use of bottom sediments as a building material. The method includes clearing the riverbed from bottom sediments with dredging operations, improving the flow capacity during floods. The work is carried out by a dredger and the developed soil in the form of pulp is delivered to the alluvial device. The alluvial device ensures the separation of large fractions of soil from the general flow of pulp and allows the formation of a narrow-profile dam with stable slopes and an anti-filtration core. The article offers hydraulic calculations that allow us to justify the design and technological parameters of the method and device for alluvial narrow-profile dams: the values of the flow rate and the average speed of the pulp movement in the distribution unit of the device are determined; the dimensions of the inlet opening of the bell are justified; the time of alluvium of one map is determined; the number of outlet openings in the distribution slurry pipelines is justified and their location is specified. Nomograms are constructed that allow us to determine the optimal modes of alluvial dams – the length of the pulp pipeline, the height of the pulp rise, and the time of filling the alluvial map.

Keywords: flooding of territories, flood floods, alluvial narrow-profile dams, alluvial map, dredger, alluvial device, bell, protective grid, sickle-shaped element, pulp, bottom sediments and sediments, pulp pipeline, hydraulic calculations, nomograms, entrained sediments, suspended sediments, calculation of the pulp pipeline, pulp flow rate, average flow rate, head loss

Format of citation: Zhogin I.M., Smetanin V.I., Stepanov A.A., Penkin D.A. Hydraulic justification for the operation of the device for alluviation of narrow-profile dams // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 1. – С. 134-141. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-134-141.

Введение. Защитные дамбы являются наиболее эффективным средством борьбы с затоплениями. Существуют различные способы возведения защитных дамб. Намывной способ возведения защитных дамб позволяет значительно снизить затраты на их строительство. Для намыва узкопрофильных дамб используется специально разработанное устройство, позволяющее отделять из общего потока пульпы крупные фракции грунта, движущиеся в нижней части основного пульпопровода, и направлять их в распределительные пульпопроводы для формирования устойчивых откосов намываемой дамбы. При этом одновременно формируется ядро дамбы из оставшегося объема пульпы, состоящего преимущественно из мелких фракций грунта и отсева [1-4].

Материалы и методы исследований. Устройство для намыва (рис. 1) включает в себя раструб, расположенный в нижней части основного пульпопровода, имеющий защитную решетку, выполненную в виде продольных стальных стержней, жестко закрепленных с напорной стороны основного пульпопровода [1, 2]. Защитная решетка

позволяет отделять фракции грунта из общего потока пульпы, размер которых меньше, чем расстояние между ее стержнями. В нижней части основного пульпопровода перед входным отверстием в раструб установлен элемент серповидной формы, обеспечивающий надежную работу устройства для намыва за счет изменения траектории движения влекаемых частиц. Тем самым предотвращается возможность засорения начального участка защитной решетки. В процессе работы устройство для намыва при движении крупных включений вдоль стержней защитной решетки раструба вызывает их колебания, что обеспечивает самоочистку защитной решетки. Выходное отверстие основного пульпопровода имеет гаситель, выполненный в виде параллельно расположенных стальных стержней, перекрывающих поперечное сечение выходного отверстия основного пульпопровода. Поток пульпы, выходящий из торца основного пульпопровода, при прохождении через гаситель рассеивается, что позволяет уменьшить вынос грунта за пределы зоны намыва боковых призм [1, 2].

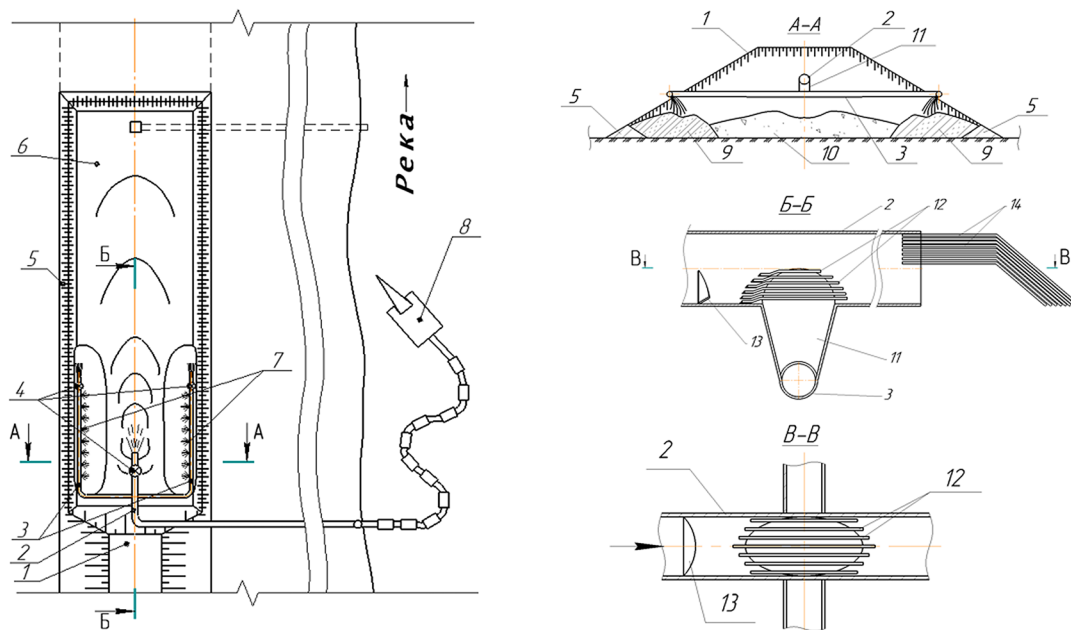


Рис. 1. Способ и устройство для намыва узкопрофильных дамб:

- 1 – узкопрофильная дамба; 2 – основной пульпопровод; 3 – распределительные пульпопроводы; 4 – задвижки; 5 – дамба обвалования; 6 – прудок-отстойник; 7 – выпускные отверстия распределительных пульпопроводов; 8 – землесосный снаряд; 9 – боковые призмы; 10 – средняя часть дамбы (ядро); 11 – раструб; 12 – защитная решетка; 13 – элемент серповидной формы; 14 – гаситель

Fig. 1. The method and device for alluviation of narrow-profile dams:

- 1 – a narrow-profile dam; 2 – the main pulp pipeline; 3 – distribution; 4 – valves; 5 – flood wall; 6 – a settling pond; 7 – outlet holes of distribution pulp pipelines; 8 – dredge; 9 – side prisms; 10 – the middle part of the dam (core); 11 – a socket; 12 – a protective grill; 13 – a sickle-shaped element; 14 – a dampener

Выполнено обоснование параметров устройства для намыва на основе гидравлических расчетов. Для гидравлического моделирования процесса отделения из общего потока пульпы фракций грунта требуемой крупности в распределительном устройстве для намыва необходимо рассчитать расход пульпы на входе в него (рис. 2). Начальными условиями для гидравлических

расчетов являются производительность землесосного снаряда, составляющая $160 \text{ м}^3/\text{ч}$ при средней консистенции пульпы 10% с напором 25 м, и параметры пульпопровода: внутренний диаметр 300 мм, толщина стенки 7-10 мм, дальность подачи пульпы от 300 до 2500 м, высота подъема пульпы от 2 до 15 м, высота выступа шероховатости $\Delta = 1,5 \text{ мм}$ [4, 6, 8, 10].

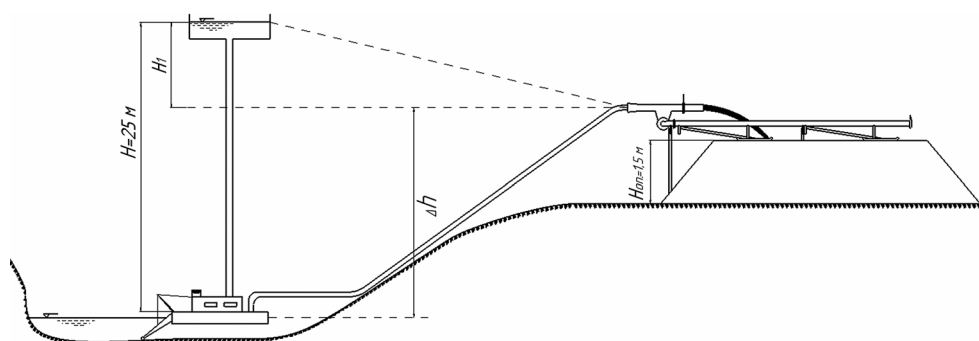


Рис. 2. Гидравлическая схема работы устройства для намыва:

- $H = 25 \text{ м}$ – рабочий напор землесосного снаряда; Δh – высота подъема пульпы; $H_{\text{оп.}} = 1,5 \text{ м}$ – высота яруса намыва; $H_1 = H - \Delta h$ – свободный напор

Fig.2. Hydraulic scheme of the alluviation device operation:

- $H = 25 \text{ м}$ – the working pressure of the dredge; Δh – the height of the pulp lifting; $H_{\text{оп.}} = 1.5 \text{ м}$ – the height of the alluvial tier; $H_1 = H - \Delta h$ – free pressure

При расчетах для определения расхода пульпы (Q) перед распределительным устройством и потерь напора в пульпопроводе (H) использовались формулы для «гидравлически длинных трубопроводов» (рис. 3) согласно формулам 1-3 [5-8].

$$Q = \theta_1 K_{\text{кв}} \sqrt{\frac{H}{l}}, \quad (1)$$

$$H = \theta_2 Q^2 \frac{l}{K_{\text{кв}}^2}, \quad (2)$$

$$\theta_2 = \frac{1}{\theta_1^2}. \quad (3)$$

где Q – расход пульпы на входе в намывное устройство; H – потери напора по длине пульпопровода, м; l – длина пульпопровода, м; $K_{\text{кв}}$ – расходный коэффициент, м³/с; θ_1 – поправочный коэффициент; $\theta_1 = 1$ для квадратичной области сопротивлений; $\theta_1 < 1$ для переходной области сопротивлений.

Средняя скорость потока пульпы в пульпопроводе (V) определялась по формуле:

$$V = \frac{Q}{\omega}, \text{ м/с}, \quad (4)$$

где ω – площадь поперечного сечения пульпопровода, м².

На рисунке 4 представлены зависимости изменения расхода пульпы от длины пульпопровода и высоты подъема пульпы.

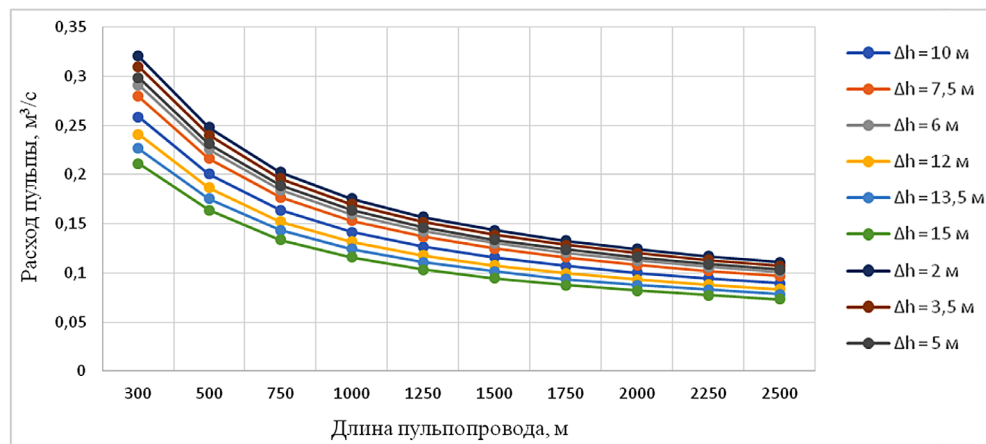


Рис. 4. Графики изменения расхода пульпы в зависимости от длины пульпопровода при различной высоте подъема пульпы (Δh)

Fig. 4. The dependence of pulp consumption on the length of the pulp pipeline at different heights of its lifting (Δh)

Было установлено, что элемент серповидной формы (рис. 5) отклоняет поток пульпы в вертикальном направлении и создает над входным отверстием обтекающий поток, поверх которого легкие органические и другие включения вместе со взвешенными

частицами уходят через выходное отверстие основного пульпопровода в центральную часть намываемой дамбы [1, 2]. Более крупные частицы пульпы, движущиеся во влекомом состоянии, при взаимодействии с элементом серповидной формы, поднимаются

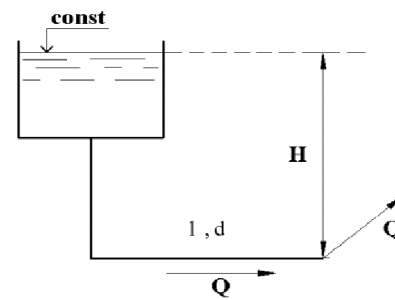


Рис. 3. Расчетная схема гидравлически длинного трубопровода
Fig. 3. Calculation scheme of hydraulic long pipeline

Номограммы построены на основе расчетных зависимостей расхода пульпы от длины пульпопровода при различной высоте ее подъема ($\Delta h = 2; 3,5; 5; 6; 7,5; 10; 12; 13,5; 15$ м). При этом расход пульпы составил не более 0,35 м³/с для длины пульпопровода от 300 до 2500 м.

Эффективная работоспособность устройства для намыва была подтверждена при проведении лабораторных и полевых исследований. При проведении полевых исследований выяснилось, что большое влияние на бесперебойную работу устройства оказывают различного рода включения разрабатываемого грунта: органические включения в виде корней и растительности, бытовой мусор и др.

вдоль обтекающего потока, но под действием сил гравитации оседают вниз в зависимости от гидравлической крупности в среднем в 3 раза быстрее, чем поток пульпы со взвешенными частицами, и далее попадают в раструб сквозь решетку, если их размеры менее 50 мм. Включения более 50 мм также поступают с основным потоком в центральную часть намываемой дамбы. Частицы не правильной формы с размером более 50 мм, поступающие в раструб через защитную решетку будут выходить из распределительных пульпопроводов с транзитным расходом.

Важное значение имеет продольный размер входного отверстия раструба. Так, при малом продольном размере часть влекаемых частиц может перемещаться в обтекающем потоке и не будет попадать во входное отверстие раструба. При слишком большом размере входного отверстия раструба органические и техногенные включения будут его засорять.

Для определения величины продольного размера входного отверстия раструба использована формула движения отклоненного потока пульпы плоским элементом, наклоненным к горизонту под углом α [5, 6, 9]:

$$L = V_x \sin 2 \frac{\alpha}{g}, \quad (6)$$

где V_x – продольная составляющая скорости движения пульпы на уровне кромки элемента серповидной формы; α – угол наклона элемента серповидной формы ($\alpha = 25 \dots 30^\circ$); g – ускорение свободного падения.

Для определения скорости V_x (V_x – скорость в точке на расстоянии x от центра трубы) использована формула Кармана для гладких труб [5, 6]:

$$V_x = V_{max} \left(1 - \frac{x}{r} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (7)$$

где V_{max} – максимальная скорость по оси трубы, м/с; r – радиус трубы пульпопровода ($r = 150$ мм); x – расстояние от оси трубы до точки определения скорости (кромки элемента серповидной формы), $x = 115$ мм; $\frac{1}{m}$ определялся по предложенному Карманом графику: $m = f(Re_d)$.

Известный ученый-гидравлик и гидротехник А.Д. Альтшуль показал, что зависимость (7) работает в области шероховатых труб, то есть для всей области турбулентного движения в шероховатых трубах (квадратичной области сопротивлений) [5].

$$\frac{1}{m} = 0,9 \sqrt{\lambda}, \quad (8)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения (Дарси).

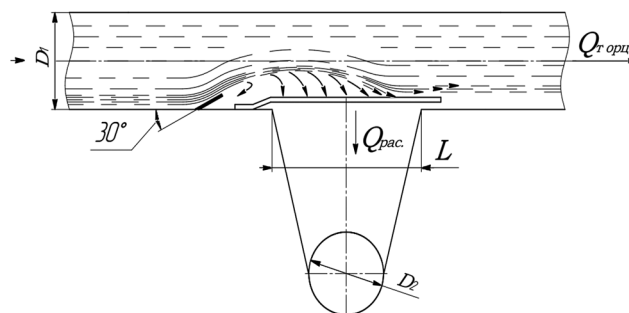


Рис. 5. Продольный разрез устройства с элементом серповидной формы
Fig. 5. Longitudinal cut of the device with a sickle-shaped element

Величину λ определим из формулы Дарси-Вейсбаха [6]:

$$\lambda = \frac{Hd2g}{LV^2}. \quad (9)$$

Вычисления показали, что для труб, бывших в употреблении, по формуле (9) величина $\lambda = 0,0294$, а по формуле (8) величина $\frac{1}{m} = 0,1544$.

Тогда из формулы (7)

$$\frac{V_x}{V_{max}} = \left(1 - \frac{115}{150} \right)^{0,1544} = 0,8. \quad (10)$$

На рисунке 6 показано распределение скоростей по сечению трубы при ламинарном (а) и турбулентном (б) режимах течения жидкости [7, 9].

При турбулентном движении жидкости соотношение между средней и максимальной скоростью в шероховатых трубах в зависимости от числа Рейнольдса [5-7] соотносится как

$$V_{cp} = (0,75 - 0,9) V_{max}. \quad (11)$$

Сопоставление величин из соотношения (11) и полученного по формуле (10) показывает, что горизонтальная составляющая скорости течения пульпы надкромкой элемента серповидной формы соответствует средней для данного сечения.

На основании выполненных расчетов были построены номограммы зависимостей дальности отлета пульпы при ее взаимодействии с элементом серповидной формы от длины пульпопровода для различной высоты подъема пульпы (рис. 7).

Проведенный анализ зависимостей, представленных на рисунке 7, показал, что при длине пульпопровода от 300 до 750 м и высоте подъема пульпы от 2 до 15 м над поверхностью

воды дальность отлета пульпы при взаимодействии с элементом серповидной формы составляет не менее 0,6 м. Если длина пульпопровода больше 750 м, то дальность отлета пульпы

составит менее 0,6 м, при этом некоторое количество влекаемых органических включений будет попадать на защитную решетку, что может приводить к ее засорению.

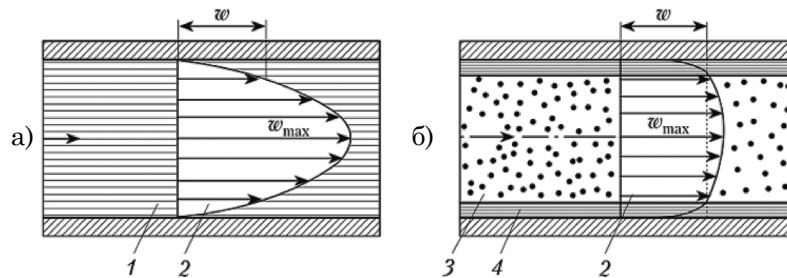


Рис. 6. Распределение скоростей по сечению при ламинарном (а) и турбулентном (б) режимах течения жидкости в трубе: 1 – ламинарный поток; 2 – эшоры (профили скоростей); 3 – турбулентное ядро; 4 – пристенный слой

Fig. 6. Distribution of speeds on the cut at laminar (a) and turbulent (b) fluid flow modes in the tube: 1 – laminar flow; 2 – diagrams (speed profiles); 3 – turbulent core; 4 – wall layer

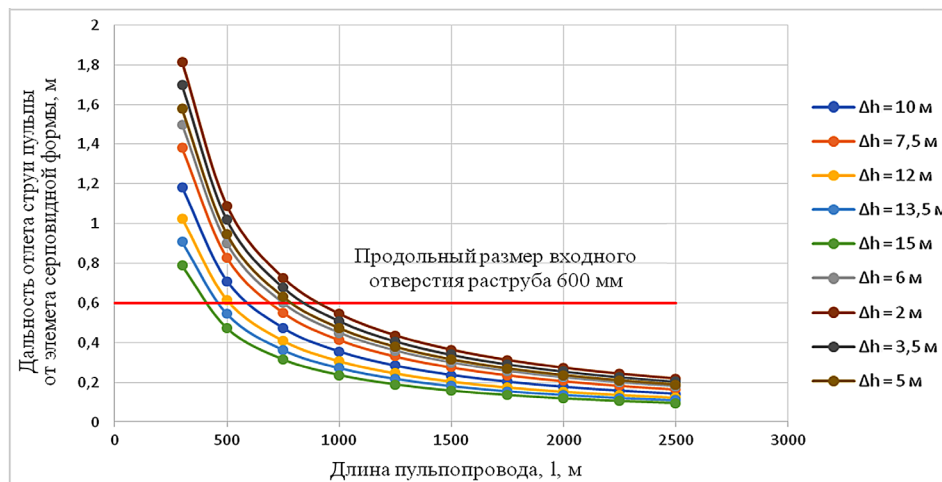


Рис. 7. Графики изменения дальности отлета струи пульпы при взаимодействии с элементом серповидной формы в зависимости от длины пульпопровода при различной высоте подъема пульпы (Δh):

1 – длина пульпопровода, от 300 до 2500м; Δh – высота подъема пульпы, м

Fig. 7. Dependences of the range of the pulp jet when interacting with the sickle-shaped element on the pulp pipeline length that different lifting height of the pulp (Δh):

1 – the length of the pulp pipeline from 300 to 2500 meters; Δh – the height of the pulp lifting, m

Важной технологической характеристикой в работе устройства для намыва узкопрофильных дамб является время намыва одной карты. Объем намываемой карты определялся как произведение площади поперечного сечения одного яруса намыва на длину карты намыва.

Объем намыва карты:

$$W_{\text{намыва}} = \frac{(b_{\text{гр}} + b_{\text{основ}})}{2} h l_{\text{кар}}, \text{ м}^3, \quad (12)$$

где $b_{\text{гр}}$ – ширина гребня узкопрофильной дамбы, м; $b_{\text{основ}}$ – ширина основания узкопрофильной дамбы, м; h – высота намыва узкопрофильной дамбы, м; $l_{\text{кар}}$ – длина намываемой карты, м.

Ширина гребня узкопрофильной дамбы составляет 8 м, ширина основания 15 м, высота намыва определяется вертикальным размером опорных элементов устройства и составляет 1,5 м, длина карты намыва 10 м. Таким образом объем карты намыва составляет 150 м³.

Время намыва карты определяется по формуле:

$$T_{\text{кар}} = \frac{W_{\text{намыва}}}{60kQ}, \quad (13)$$

где Q – расход пульпы; k – коэффициент, характеризующий консистенцию пульпы (для средней консистенции пульпы 10%).

На основании полученных данных построены номограммы зависимостей време-

ни намыва карты от длины пульпопровода при различной высоте подъема пульпы (рис. 8).

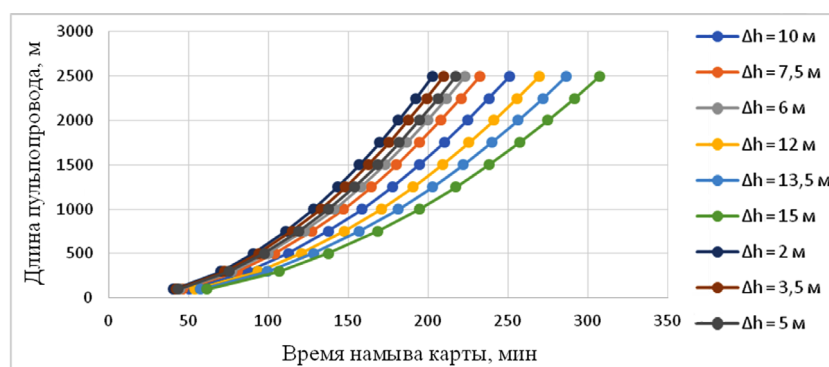


Рис. 8. Графики изменения времени намыва карты в зависимости от длины пульпопровода при различной высоте подъема пульпы (Δh)

Fig. 8. Dependencies of the time of the delluviation map on the pulp pipeline length at different heights of lifting (Δh)

Оптимальное время намыва карты, соответствующее технологическому режиму производства работ, составляет от 2 до 2,5 ч в связи с необходимостью обезвоживания намывного участка для перебазировки на новую карту намыва. Таким образом, из построенных номограмм следует, что при длине пульпопровода менее 1000 м выполняется данное условие.

При длине пульпопровода более 1000 м время намыва превышает оптимальное и при производстве работ потребует дополнительных затрат.

Грунт, формирующий боковые призмы, поступает из двух распределительных пульпопроводов, через выпускные отверстия, отклоненные от вертикальной плоскости к центру намываемой дамбы на 25...30°. Таких отверстий в каждом распределительном пульпопроводе 20.

Для равномерного заполнения карты были определены расходы на концевых участках пульпопроводов устройства для намыва ($Q_{тр1}$, $Q_{тр2}$ и $Q_{тр3}$), а также определены расходы раздачи каждого из 20 выпускных отверстий распределительных пульпопроводов.

Расход из выпускных отверстий распределительных пульпопроводов рассчитывался по формуле истечения из отверстий при постоянном напоре [5-8]:

$$Q_i = \mu \omega \sqrt{2gH_i}, \quad (14)$$

где Q_i – расход через одно из 20 отверстий; H_i – напор над центром отверстия; μ – коэффициент расхода ($\mu = 0,6$); ω – площадь отверстия.

$$H_i = H_0 - h_{0-i}, \quad (15)$$

где H_0 – напор над центром входного отверстия раструба ($H_0 = 0,8735$ м); h_{0-i} – потери напора между входным отверстием раструба и сечением выпускных отверстий распределительных пульпопроводов.

В результате расчетов определены расстояния между выпускными отверстиями распределительных пульпопроводов, которые позволяют обеспечить равномерный намыв боковых призм.

Выводы

Гидравлические расчеты позволили обосновать конструктивные и технологические параметры устройства для намыва узкопрофильных дамб, а также уточнить его параметры, которые обеспечивают надежную и бесперебойную работу при использовании в качестве строительного материала дамбы донные отложения. Выполнено гидравлическое обоснование продольного размера входного отверстия раструба. Построенные номограммы зависимостей дальности отлета струи пульпы при взаимодействии с элементом серповидной формы от длины пульпопровода при различной высоте подъема пульпы позволили обосновать наиболее эффективный продольный размер входного отверстия раструба, составляющего 600 мм.

Построены номограммы для определения времени заполнения карты намыва в зависимости от длины пульпопровода и высоты поднятия пульпы. Для равномерного намыва боковых призм по длине карты были рассчитаны транзитные расходы на концевых участках пульпопроводов устройства для намыва,

а также рассчитаны все расходы раздачи из 20 выпускных отверстий распределительных пульпопроводов. Для равномерного распределения грунта по длине боковых призм расстояние между выпускными отверстиями

уменьшается от начала к концу распределительного пульпопровода. Выпускные отверстия распределительных пульпопроводов отклонены от вертикальной плоскости к центру намываемой дамбы на 30°.

Библиографический список

1. Сметанин В.И., Жогин И.М. К вопросу защиты пойменных земель от паводковых наводнений // Природообустройство. – 2020. – № 4. – С. 77-82.
2. Сметанин В.И., Жогин И.М. Методы и средства гидромеханизации в составе мероприятий по защите территорий от наводнений // Природообустройство. – 2013. – № 2. – С. 80-83.
3. Потапов А.Д., Сметанин В.И., Жогин И.М. Защита пойменных земель от наводнений с использованием средств гидромеханизации в составе мероприятий по их рекультивации // Мат-лы научно-практического семинара «Рациональное использование пойменных земель». – Минск: Минсктиппроект, 2013. – С. 52-56.
4. Меламут Д.Л. Гидромеханизация в мелиоративном и водохозяйственном строительстве. – М.: Стройиздат, 1981. – С. 18-39.
5. Чугаев Р.Р. Гидравлика (Техническая механика жидкости). – Л.: Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1982. – С. 129-245.
6. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. – М.: КолосС, 2004. – С. 146-270.
7. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. – М.: Энергия, 1972. – С. 21-59.
8. Большаков В.А. Справочник по гидравлике. – Киев: Вища школа, 1984. – С. 26-43.
9. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика. – М.: Наука, 1987. – С. 45-49.
10. Свод правил 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84. 2013. Разделы 5, 7. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200093820>.

Критерии авторства

Жогин И.М., Сметанин В.И., Степанов А.А., Пенкин Д.А. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Жогин И.М., Сметанин В.И., Степанов А.А., Пенкин Д.А. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 05.02.2021 г.

Одобрена после рецензирования 16.02.2021 г.

Принята к публикации 26.02.2021 г.

References

1. Smetanin V.I., Zhogin I.M. K voprosu zashchity pojmnennyh zemel ot pavodkovykh navodnenij // Prirodoobustrojstvo. – 2020. – № 4. – S. 77-82.
2. Smetanin V.I., Zhogin I.M. Metody i sredstva gidromehanzatsii v sostave meroproyatij po zashchite territorij ot navodnenij // Prirodoobustrojstvo. – 2013. – № 2 – S. 80-83.
3. Potapov A.D., Smetanin V.I., Zhogin I.M. Zashchita pojmnennyh zemel ot navodnenij s ispolzovaniem gidromehanzatsii v sostave meroproyatij po ih rekultivatsii. Materialy nauchno-prakticheskogo seminarra "Ratsionalnoe ispolzovanie pojmnennyh zemel". – Minsk: Minsktipproekt, 2013. – S. 52-56.
4. Melamut D.L. Gidromehanzatsiya v meliorativnom vodohozyajstvennom stroitelstve. – M. Strojizdat, 1981. – S. 18-39.
5. Chugaev R.R. Gidravlika (Tehnicheskaya mehanika zhidkosti). – L.: Energoizdat Leningradskoe otdelenie, 1982. – S. 129-245.
6. Shterenliht D.V. Gidravlika. – M.: KolosS, 2004. – S. 146-270.
7. Kisilev P.G. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam. – M.: Energiya, 1972. – S. 21-59.
8. Boljshakov V.A. Spravochnik po gidravlike. – Kiev: Viща shkola, 1984. – S. 26-43.
9. Emtsev B.T. Tehnicheskaya gidromehaniika. – M.: Nauka, 1987. – S. 45-49.
10. Svod pravil 31.13330.2012 Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.04.02-84. 2013 Razdely 5, 7. <http://docs.cntd.ru/document/1200093820>

Authorship criteria

Zhogin I.M., Smetanin V.I., Stepanov A.A., Penkin D.A. performed theoretical studies, on the basis of which they conducted a generalization and wrote the manuscript. Zhogin I.M., Smetanin V.I., Stepanov A.A., Penkin D.A. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest

The article was submitted to the editorial office 05.02.2021

Approved after reviewing 16.02.2021

Accepted for publication 26.02.2021