

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО



19

Министерство народного образования Белорусской ССР
Белорусский ордена Трудового Красного Знамени
политехнический институт

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ
СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Основан в 1971 году

ВЫПУСК 19

Минск
"Вышэйшая школа"
1990

УДК 626/628 (476) (082)

В62

Редакционная коллегия:

В.П. Старинский (гл. редактор), Г.В. Васильченко, Д.А. Козлов, П.Е. Лапчук
Е.М. Левкевич, А.И. Мурашко, И.В. Филиппович (зам. гл. редактора)

Освещаются основные принципы использования подземных вод в странах СЭВ, вопросы измерения количественных и качественных характеристик водных ресурсов и наносов, а также гидравлического и статического расчетов отдельных элементов гидротехнических и очистных сооружений; приводятся результаты изучения миграции влаги в грунтах и фильтрационных свойств некоторых материалов и элементов гидротехнических сооружений и др.

Предназначается специалистам, работающим в области использования и охраны водных ресурсов.

В $\frac{3801000000 - 065}{M304(03) - 90}$ 140-90

© Колл. авторов, 1990

ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СТРАНАХ СЭВ

При определении области и пределов рационального использования подземных вод в странах СЭВ учитывают три основных взаимосвязанных аспекта, рассматривая подземные воды и как полезное ископаемое, и как часть общих водных ресурсов, а также как элемент природной среды. С учетом этих положений под рациональной эксплуатацией понимается их экономически целесообразная эксплуатация, обеспечивающая охрану подземных вод от загрязнения и истощения и позволяющая сохранить на заданном уровне экологические условия.

Целесообразность использования подземных вод как полезного ископаемого может быть определена только на основании данных об их эксплуатационных запасах, поэтому важнейшей задачей является оценка эксплуатационных запасов подземных вод, проводимая на основании разведочных работ. Повышение достоверности такой оценки и эффективности разведочных работ требует постоянной оптимизации гидрогеологических исследований, включающей определение необходимого состава работ, их рационального комплексирования, предполагаемых объемов и др. Эксплуатационные запасы и прогнозные ресурсы подземных вод следует оценивать в двух направлениях — для отдельных месторождений и участков с целью обеспечения подземными водами конкретных потребителей и для крупных гидрогеологических и административных регионов в качестве обоснования схем комплексного использования и охраны водных ресурсов и планирования геологоразведочных работ.

Важная задача проблемы рационального использования подземных вод — выбор оптимальных в технико-экономическом отношении конструкций водозаборов в различных гидрогеологических условиях, что непосредственно вытекает из самого определения понятия "эксплуатационные запасы подземных вод" как расхода, который может быть получен рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями. При прочих равных условиях схема водозабора — это тип (скважины, шахтные колодцы, лучевые водозаборы, галереи), количество водозаборных сооружений, расстояния между ними, система их размещения, расходы отдельных скважин, глубина динамического уровня — должна быть выбрана таким образом, чтобы годовые приведенные за-

траты были минимальными. Выбор рациональной схемы должен проводиться путем сопоставления различных возможных вариантов.

Составной частью проблемы рационального использования подземных вод как полезного ископаемого является охрана от загрязнения и истощения их эксплуатационных запасов. Загрязнение подземных вод возникает чаще всего вследствие техногенной деятельности и тесно связано с загрязнением других компонентов природной среды (почв, воздуха, поверхностных вод). Загрязнение подземных вод особенно опасно там, где эти воды интенсивно эксплуатируются. В связи с этим вопрос охраны подземных вод может решаться с учетом существующего и планируемого водоотбора. Охрана подземных вод от загрязнения должна включать как общие мероприятия, касающиеся охраны всей природной среды в целом (осуществление технических и технологических мер по уменьшению отходов и созданию безотходных производств, многократное использование воды в технологическом цикле, предотвращение утечек стоков с поверхности, очистка и обезвреживание отходов и т. д.), так и специальные по охране подземных вод. К последним относятся прогнозы возможных изменений качества подземных вод; организация зон санитарной охраны хозяйственно-питьевых водозаборов; выявление существующих и прогноз потенциально возможных источников загрязнения; создание наблюдательной сети для контроля за качеством подземных вод и осуществление контроля за уровнем загрязнения; выбор места размещения новых производственных и сельскохозяйственных объектов, сводящий к минимуму возможное загрязнение подземных вод; ликвидация и локализация очагов загрязнения путем устройства специальных дренажных и барражных сооружений и т. д.

Охрана подземных вод от истощения их эксплуатационных запасов имеет весьма важное значение в проблеме обоснования их рационального использования. Истощение эксплуатационных запасов подземных вод на участках действующих, а иногда и проектируемых водозаборов, происходит:

при темпах падения уровней подземных вод, превосходящих темпы, принятые при оценке их эксплуатационных запасов, что чаще всего связано с превышением отбора воды над объемом установленных эксплуатационных запасов;

при изменении условий формирования эксплуатационных запасов подземных вод в районах мелиоративного и водохозяйственного строительства;

при нерациональном и неэкономном использовании откачиваемых вод.

Намечены следующие основные направления охраны эксплуатационных запасов подземных вод от истощения:

определение величины эксплуатационных запасов как предела их рациональной эксплуатации;

управление эксплуатационным режимом подземных вод и осу-

щественные контроль за их отбором и использованием, а также положением уровня подземных вод;

искусственное пополнение запасов подземных вод на действующих водозаборах и создание искусственных запасов подземных вод;

комплексное использование подземных вод при осушении месторождений твердых полезных ископаемых, защите территории от подтопления, дренаже орошаемых земель;

усиление законодательного контроля за использованием подземных вод.

Последнее мероприятие обязывает резко ограничить использование подземных вод питьевого качества для целей, не связанных с питьевым и бытовым водоснабжением, причем эти ограничения должны иметь юридический характер.

Подземные воды, будучи одной из составных частей гидросферы, тесно связаны с другими природными водами. В связи с этим при решении проблемы рационального использования подземных вод особое значение имеет учет взаимосвязи подземных и поверхностных вод. В этом направлении можно выделить следующие основные задачи:

обоснование целесообразности совместной эксплуатации поверхностных и подземных вод, когда последние используются либо в течение всего периода эксплуатации, либо только в отдельные периоды при уменьшении расходов поверхностных водотоков;

оценка влияния отбора подземных вод на поверхностный сток и учет их запасов в водохозяйственных балансах;

оценка влияния изменений поверхностного стока как в естественных условиях, так и при проведении водохозяйственных мероприятий (регулирование поверхностного стока, строительство каналов, орошение земель) на эксплуатационные запасы подземных вод;

обоснование использования поверхностных вод для искусственного пополнения запасов подземных вод (в том числе и путем создания подземных водохранилищ) и использования последних для регулирования поверхностного стока.

Рассматривая подземные воды как один из элементов окружающей среды, следует отметить, что их отбор может привести и приводит к изменению других компонентов этой среды. Так, связанное с эксплуатацией подземных вод снижение уровня первого от поверхности водоносного горизонта и уменьшение влажности зоны аэрации способствует усыханию и отмиранию растительности, осушению болот, обмелению и исчезновению озер. Изменение давления при отборе подземных вод вызывает просадку земной поверхности, связанную с процессами вторичной консолидации и депрессионного уплотнения песчано-глинистых толщ. Эксплуатация трещинно-карстовых вод активизирует карстово-суффозионные процессы и связанные с ними разрушения инженерных сооружений. Все это вызывает необходимость учета при оценке эксплуатацион-

ных запасов подземных вод и определении пределов их рациональной эксплуатации, экологических последствий водоотбора и разработки комплекса мероприятий для компенсации негативных последствий. В определенных случаях может ставиться вопрос об ограничении или даже отказе от использования подземных вод.

Рассмотренные выше основные особенности подземных вод как полезного ископаемого, части водных ресурсов и компонента природной среды показывает, что гидрогеологическое обоснование рационального использования подземных вод является сложной многофакторной проблемой, решение которой требует:

проведения четкой стратегической политики в вопросах использования подземных вод;

регламентации изучения запасов подземных вод и их освоения;

планирования использования подземных вод с учетом их взаимосвязи с поверхностными водами и другими компонентами природной среды;

осуществления мероприятий по охране подземных вод от загрязнения и истощения их эксплуатационных запасов, а также контроля за охраной подземных вод.

Стратегия использования подземных вод должна быть направлена на уменьшение их отбора и использования в тех случаях, когда не требуется получения воды высокого качества. Пресные подземные воды должны применяться главным образом для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения и только в исключительных случаях (отсутствие других источников и очень большие по сравнению с перспективной потребности запасы подземных вод) для других целей. Эксплуатация подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения должна обеспечить их как можно более продолжительное использование при сохранении качественных показателей, отвечающих установленным стандартам. Однако это не исключает, что при эксплуатации подземных вод, отбор которых не компенсируется естественным и привлекаемым питанием, использование подземных вод может быть рассчитано на определенный срок, устанавливаемый с учетом социально-экономических факторов. Подземные воды допустимо использовать и для производственного водоснабжения или орошения земель, но только как временную меру. При этом отбор подземных вод не должен превышать их ежегодного пополнения.

Для обеспечения рационального использования подземных вод проведение гидрогеологических исследований по их поискам и разведке, а также освоение запасов строго регламентируются. Поисково-разведочные работы выполняются при наличии обоснованной потребности в воде, проектирование и строительство водозаборных сооружений осуществляются только при наличии данных об эксплуатационных запасах подземных вод, а в определенных условиях, устанавливаемых в зависимости от конкретных условий отдельных стран, и при утверждении эксплуатационных запасов соответствующим государственным органом. Бурение эксплуатационных сква-

жин ведется только специализированными организациями, имеющими соответствующие права, эксплуатация подземных вод возможна только при наличии специального разрешения соответствующих водохозяйственных органов.

Планирование использования подземных вод проводят при обязательном учете их взаимосвязи с поверхностными и возможного влияния этого отбора на экологические условия. Планирование целесообразно выполнять в рамках схем комплексного использования и охраны водных ресурсов, составляемых по отдельным речным бассейнам или крупным административным единицам. При этом следует в обязательном порядке предусматривать мероприятия по охране как самих подземных вод, так и других компонентов природной среды, учитывая не только установленные тенденции динамики данного процесса в предплановый период, но и возможный эффект от осуществления планируемых мероприятий по контролю использования водных ресурсов и их охране.

С целью охраны подземных вод от загрязнения и истощения их эксплуатационных запасов должно быть предусмотрено проведение комплекса природоохранных мероприятий. Особое внимание следует уделять законодательным ограничениям и контролю за теми отраслями хозяйственной деятельности, которые могут привести к негативным изменениям качества подземных вод и уменьшению их ресурсов.

УДК 532.543:681.121

Ф.Д. ШНИПОВ

К ВОПРОСУ ОПЕРАТИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Дефицит водных ресурсов в южных районах СССР вызывает необходимость совершенствования прежде всего государственной системы оперативного учета использования вод, основой которой должны быть автоматические устройства измерения количественных и качественных характеристик.

Эффективным способом определения расхода (объема) воды, обеспечивающим возможность автоматизации, является одноточечный "скорость — площадь", в котором средняя скорость потока измеряется непосредственно [1]. Его теоретической основой выступает полуэмпирическая зависимость для расчета распределения по сечению продольной осредненной скорости [2], полученная из некоторых гипотетических предложений. К определенным недостаткам одноточечного способа можно отнести следующие:

положенная в его основу полуэмпирическая зависимость не полностью отражает сложную кинематическую структуру потока в открытых руслах, в частности влияние трехмерности поля осредненных скоростей, свободной поверхности, ветровых воздействий на нее и т.д.;

точка на репрезентативной вертикали, где локальная скорость равна средней, находится в ядре потока на расстоянии $(0,3-0,4)H_i$ от дна (H_i — глубина на вертикали). Это приводит к дополнительным методическим погрешностям измерений в руслах с большими глубинами.

Кроме измерения количественных характеристик водных ресурсов (расход, объем стока), необходимо знание некоторых показателей качества (например, температура, минерализованность, мутность и т.д.). Для оперативного определения этих величин также требуются способы, обеспечивающие возможность автоматизации измерений.

В статье изложены методические положения, составляющие основу для разработки оперативных способов измерения количественных и некоторых качественных характеристик водных ресурсов.

Необходимым условием для определения расхода воды в русле является знание (измерение или расчет) поля продольной скорости с учетом особенностей внутренней структуры потока и внешних воздействий (ветер, деформации сечения и т.д.). При расчете поля осредненных скоростей в качестве исходных целесообразно использовать упрощенные (параболизованные) дифференциальные уравнения турбулентного движения Рейнольдса [3], в которых диффузионным переносом в продольном направлении x_1 пренебрегают и градиент локального гидродинамического давления dP/dx заменяется градиентом среднего по сечению давления $d\bar{P}/dx_1$:

$$\begin{cases} \frac{dv_1}{dt} = \nu \Delta v_1 + F_1 - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\bar{P}}{dx_1} + \frac{d}{dx_2} (\overline{-v'_1 v'_2}) + \frac{d}{dx_3} (\overline{-v'_1 v'_3}), \\ \frac{dv_2}{dt} = \nu \Delta v_2 - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dP}{dx_2} + \frac{d}{dx_2} (\overline{-v'^2_2}) + \frac{d}{dx_3} (\overline{-v'_2 v'_3}), \\ \frac{dv_3}{dt} = \nu \Delta v_3 - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dP}{dx_3} + \frac{d}{dx_2} (\overline{-v'_3 v'_2}) + \frac{d}{dx_3} (\overline{-v'^2_3}), \end{cases} \quad (1)$$

где $v_i, \overline{v'_i v'_j}$ ($i, j = 1, 2, 3$) — компоненты соответственно осредненной скорости и турбулентного направления; x_i ($i = 1, 2, 3$) — декар-

товые координаты; $\frac{dv_i}{dt} = \frac{dv_i}{dt} + \frac{dv_i v_j}{dx_j}$.

Гидростворы, в которых выполняются измерения характеристик водных ресурсов, располагаются на прямолинейных участках водотоков на значительном удалении от водорегулирующих и водоподпорных сооружений. Поэтому влиянием нестационарности и продольной неоднородности потока можно пренебречь. Отметим, что исходными данными по гидроствору являются координаты поперечного сечения и локальные коэффициенты шероховатости и, как правило, не имеется сведений об участке водотока. Это служит еще одним аргументом необходимости пренебрежения производными по t, x_1 . Известно, однако, что нестационарность и неоднородность существенно деформируют поле продольной скорости, поэтому можно попытаться учесть ее влияние, записав первое уравнение (1) в виде

$$\begin{aligned} \frac{dv_1}{dx_2} + \frac{dv_1 v_3}{dx_3} &= v \Delta v_1 + g i_o - g i_c = \\ &= -g i_n + \frac{d}{dx_2} (\overline{-v'_1 v'_2}) + \frac{d}{dx_3} (\overline{-v'_1 v'_3}), \end{aligned}$$

где i_o, i_c — уклоны соответственно дна водотока и свободной поверхности; $g i_n = \frac{dv_1}{dt} + \frac{dv_1^2}{dx_1}$; $i_n = i_n(x_2, x_3)$ — уклон "инерции".

После введения функции тока ψ для поперечной циркуляции гипотезы Буссинеска для турбулентных касательных напряжений и некоторых несложных преобразований система уравнений (1) может быть представлена в виде

$$\left\{ \begin{aligned} \overline{K} \Delta \overline{v_1} + \left(\frac{d\overline{K}}{dx_2} - \overline{v_2} \right) \frac{d\overline{v_1}}{dx_2} + \left(\frac{d\overline{K}}{dx_3} - \overline{v_3} \right) \frac{d\overline{v_1}}{dx_3} &= -g, \\ \overline{v} \Delta^2 \psi - \frac{d}{dx_2} (\Delta \overline{\psi v_2}) - \frac{d}{dx_3} (\Delta \overline{\psi v_3}) &= \frac{d^2}{dx_2 dx_3} (v_3'^2 - v_2'^2) + \\ + \left(\frac{d^2}{dx_3^2} - \frac{d^2}{dx_2^2} \right) (\overline{-v'_2 v'_3}), \end{aligned} \right. \quad (2)$$

где $\overline{v_i} = v_i I^{-0,5}$; $\overline{\psi} = \psi I^{-0,5}$; $\overline{v'_i v'_j} = v'_L v'_j I^{-1}$; $\overline{K} = \overline{K} I^{-0,5}$; $I = i_o - i_c - i_n$; \overline{K} — кинематический коэффициент турбулентной вязкости.

Для определения напряжений Рейнольдса $\overline{v'_i v'_j}$ можно использовать модели турбулентности различной степени сложности, но необходимым условием является адекватное моделирование ими анизотропности нормальных компонентов. Зачастую в зависимости

для $v'_i v'_j$ входят кинетическая энергия турбулентности K_3 и скорость ее диссипации ϵ , для определения которых, как правило, используется двухпараметрическая ($K_3 - \epsilon$) модель:

$$\left\{ \begin{aligned} & \frac{\bar{K}}{\sigma_K} \Delta \bar{K}_3 + \left(\frac{1}{\sigma_K} \cdot \frac{d\bar{K}}{dx_2} - \bar{v}_2 \right) \frac{d\bar{K}_3}{dx_2} + \left(\frac{1}{\sigma_K} \cdot \frac{d\bar{K}}{dx_3} - \bar{v}_3 \right) \frac{d\bar{K}_3}{dx_3} = \bar{\epsilon} - \bar{P}, \\ & \frac{\bar{K}}{\sigma_\epsilon} \Delta \bar{\epsilon} + \left(\frac{1}{\sigma_\epsilon} \cdot \frac{d\bar{K}}{dx_2} - \bar{v}_2 \right) \frac{d\bar{\epsilon}}{dx_2} + \left(\frac{1}{\sigma_\epsilon} \cdot \frac{d\bar{K}}{dx_3} - \bar{v}_3 \right) \frac{d\bar{\epsilon}}{dx_3} = \\ & = c_{\epsilon_2} \frac{\bar{\epsilon}^2}{\bar{K}_3} - c_{\epsilon_1} \frac{\bar{\epsilon}}{K_3} \bar{P}, \end{aligned} \right. \quad (3)$$

где $K_3 = K_3 I^{-0,5}$; $\bar{\epsilon} = \epsilon I^{-1,5}$; $\bar{P} = \bar{K} \left(\left(\frac{d\bar{v}_1}{dx_2} \right)^2 + \left(\frac{d\bar{v}_1}{dx_2} \right)^2 + \left(\frac{d\bar{v}_1}{dx_3} \right)^2 \right)$;

$\sigma_K, \sigma_\epsilon, c_{\epsilon_1}, c_{\epsilon_2}$ — эмпирические коэффициенты.

Для определения концентрации примеси (мутность, минерализованность, температура) целесообразно использовать дифференциальное уравнение турбулентной диффузии в виде

$$\bar{D}_2 \frac{d^2 \bar{C}}{dx_2^2} + \bar{D}_3 \frac{d^2 \bar{C}}{dx_3^2} + \left(\frac{d\bar{D}_2}{dx_2} - \bar{v}_2 \right) \frac{d\bar{C}}{dx_2} + \left(\frac{d\bar{D}_3}{dx_3} - \bar{v}_3 \right) \frac{d\bar{C}}{dx_3} = \bar{S}_c, \quad (4)$$

где $D_i = D_i I^{-0,5}$, $\bar{C} = CI^{-0,5}$, D_i — коэффициенты турбулентной диффузии; \bar{S}_c — объемная плотность источников (стоков).

Поскольку плотность воды зависит от концентрации содержащихся в ней веществ, необходимо к имеющимся уравнениям добавить уравнение состояния $\bar{\rho} = \rho(\bar{C})$. Введением вихря скорости $\bar{W} = \Delta \psi$ второе уравнение (2) может быть заменено двумя дифференциальными уравнениями 2-го порядка. Тогда системы (2), (3), (4) состоят из однотипных уравнений 2-го порядка эллиптического типа, и для них могут быть сформулированы корректные граничные задачи с краевыми условиями различного типа [4]. По оценке П. Роуча [5], последние играют весьма важную роль в вычислительной гидродинамике, что требует особой тщательности при их формулировке. Однако этот вопрос выходит за рамки данной статьи, поэтому лишь отметим, что именно посредством задания соответствующих краевых условий можно учесть влияние на кинематику потока свободной поверхности и ветровых напряжений.

Уравнения (2), (3), (4) записаны для переменных, пропорциональных I^{-n} (n — показатель степени), поэтому исходными дан-

ными для их решения являются координаты поперечного сечения и локальные коэффициенты шероховатости. Результатом совместного численного решения сформулированных граничных задач является математическая модель, позволяющая получить поля кинематических характеристик ($\bar{v}_1, \bar{v}_2, \bar{v}_3, \bar{K}_3, \bar{\epsilon}, \bar{K}$) и локальные значения концентрации \bar{C} с учетом трехмерности движения потока, влияния свободной поверхности и ветровых напряжений. Она выступает основой для разработки оперативных способов измерения расходов воды и концентрации примесей в водотоках, некоторые положения которых излагаются ниже.

Выполнив с помощью разработанной математической модели расчет локальных значений продольной осредненной скорости и концентрации, относительные величины расхода и средней концентрации можно определить численным интегрированием по площади живого сечения w функций $\bar{v}_1(x_2, x_3), \bar{C}(x_2, x_3)$:

$$\begin{aligned} \bar{Q} &= \int_w \bar{v}_1(x_2, x_3) dw, \\ \bar{C} &= \frac{1}{w} \int_w \bar{C}(x_2, x_3) dw. \end{aligned} \quad (5)$$

Для вычисления абсолютных значений этих величин необходимо выполнить идентификацию, т. е. по данным измерений v_1 в одной или нескольких точках сечения определить величину уклона I . Репрезентативное нахождение последнего является нетривиальной задачей, поскольку в него включена величина уклона "инерции" i_n , характеризующего нестационарность, продольную неоднородность, являющейся переменной по сечению. Обоснование выбора расположения точек идентификации является предметом особых исследований, однако уже сейчас можно сделать предположение о необходимости измерений в областях, где поле продольной скорости при нестационарном и неравномерном движении претерпевает наибольшие изменения по сравнению с продольно-однородным потоком. Следовательно, идентификацию целесообразно выполнять по измерениям v_1 в двух точках потока (у уреза и вблизи гидродинамической оси) и величину уклона вычислять по формуле

$$I = \left(\beta \frac{v_1(1)}{v_1(1)} + (1 - \beta) \frac{v_1(2)}{v_1(2)} \right)^2, \quad (6)$$

где β — весовой коэффициент (0...1), отображающий влияние на величину уклона репрезентативных точек 1 и 2; $v_1(1), v_1(2), \bar{v}(1), \bar{v}(2)$ — соответственно измеренные и расчетные значения продольной скорости.

Построение градуировочной таблицы гидроствора. Математическая модель и соответствующее программное обеспечение позволяют для каждого гидроствора вычислить значения $\bar{Q}(i, j), \bar{C}(i, j)$ во всем диапазоне изменения отметок свободной поверхности ($\min - \max, i = \overline{1, N}$) и при различных величинах ветровых напряжений, воз-

действующих на свободную поверхность ($j = \overline{1, N_1}$). (Выходные данные: координаты x_2, x_3 гидроствора и локальные коэффициенты шероховатости.)

Отметка свободной поверхности	Ветровые напряжения					
	$\tau_b(1)$	$\tau_b(2)$	...	$\tau_b(j)$	...	$\tau_b(N_1)$
$x_2^n(1)$	$\overline{Q}(1,1)$ $\overline{C}(1,1)$	$\overline{Q}(1,2)$ $\overline{C}(1,2)$	...	$\overline{Q}(1,j)$ $\overline{C}(1,j)$	...	$\overline{Q}(1,N_1)$ $\overline{C}(1,N_1)$
$x_2^n(2)$	$\overline{Q}(2,1)$ $\overline{C}(2,1)$	$\overline{Q}(2,2)$ $\overline{C}(2,2)$	...	$\overline{Q}(2,j)$ $\overline{C}(2,j)$	...	$\overline{Q}(2,N_1)$ $\overline{C}(2,N_1)$
...
$x_2^n(i)$	$\overline{Q}(i,1)$ $\overline{C}(i,1)$	$\overline{Q}(i,2)$ $\overline{C}(i,2)$	...	$\overline{Q}(i,j)$ $\overline{C}(i,j)$	...	$\overline{Q}(i,N_1)$ $\overline{C}(i,N_1)$
...
$x_2^n(N_2)$	$\overline{Q}(N_2,1)$ $\overline{C}(N_2,1)$	$\overline{Q}(N_2,2)$ $\overline{C}(N_2,2)$	...	$\overline{Q}(N_2,j)$ $\overline{C}(N_2,j)$	...	$\overline{Q}(N_2,N_1)$ $\overline{C}(N_2,N_1)$

Рис. 1. Градуировочная таблица гидроствора

Результаты заносятся в градуировочную таблицу (рис. 1), представляющую двумерную матрицу $Q(i, j) = f_1(x_2^n(i), \tau_b(j))$, $\overline{C}(j, i) = f_2(x_2^n(i), \tau_b(j))$. Отметим, что в дальнейшем при учете дополнительных факторов (например, деформация русла) размерность матрицы будет увеличиваться. Каждый столбец матрицы (таблично заданная функция) аппроксимируется сплайном m -й степени:

$$\overline{Q}_m(x_2^n) = \sum_{a=1}^m a_a^i (x_2^n - x_2^n(i))^a, \quad (7)$$

$$\overline{C}_m(x_2^n) = \sum_{a=1}^m b_a^i (x_2^n - x_2^n(i))^a,$$

и, таким образом, зависимость измеряемой характеристики от уровня воды в гидростворе при фиксированном значении ветрового напряжения представляется в виде полинома. Отметим, что количество полиномов для \overline{C} будет определяться количеством измеряемых характеристик качества (например, мутность, минерализованность, температура).

Алгоритм измерения расхода воды и (или) концентрации примеси. После построения градуировочной таблицы гидроствора измерение характеристик выполняется в такой последовательно-

сти: измеряется отметка свободной поверхности x_2^n и ветровое напряжение τ_B ; выполняется идентификация (измеряется продольная скорость в репрезентативных точках потока), вычисляется уклон I по (6); выбираются полиномы (7), соответствующие величине ветрового напряжения, и вычисляются величины $\overline{Q}(x_2^n)$ и (или) $\overline{C}(x_2^n)$, а также абсолютные значения расхода воды и (или) концентрации примеси:

$$Q(x_2^n) = \overline{Q}(x_2^n) I^{-0,5}; \quad C(x_2^n) = \overline{C}(x_2^n) I^{-0,5}.$$

Следует отметить, что предлагаемый способ будет иметь наибольшую эффективность при выполнении измерений с помощью автоматических устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р о г у н о в и ч В.П., О с и п о в и ч А.А. Совершенствование первичного учета использования водных ресурсов на мелиоративных системах // Тез. докл. Всесоюз. НТС "Проектир. комплексн. использ. и охраны водн. рес. на мелиор. системах" / ЦБНТИ Минводхоза СССР. — М., 1978. — С. 14—17.
2. Р о г у н о в и ч В.П., Б о г д а н о в и ч М.И. Распределения осредненных скоростей в руслах неправильной формы сечения // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. — 1983. — Вып. 13. — С. 56—62.
3. Р о д и В. Модели турбулентности окружающей среды // Методы расчета турбулентных течений. — М., 1984. — С. 227—332.
4. Т и х о н о в А.Н., С а м а р с к и й А.А. Уравнения математической физики. — М., 1977. — 735 с.
5. Р о у ч П. Вычислительная гидродинамика. — М., 1980. — 616 с.

УДК 628.356

Т.В. ЦЕЛИКОВА, Г.Ф. КОЗАК

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ МИНСКОЙ СТАНЦИИ АЭРАЦИИ

На очистные сооружения г. Минска поступают бытовые сточные воды и сточные воды предприятий автомобильной, станкостроительной, электронной и радиопромышленности, тракторного и сельскохозяйственного машиностроения. Количество сточных вод, сбрасываемых в р.Свислочь по г.Минску за 7 лет (1980—1986 гг.) возросло на 180,5 тыс. м³/сут.

Цель данной работы — изучение динамики содержания тяжелых металлов и влияние их на биологическую очистку Минской станции аэрации (МСА), оценка качества сточных вод с целью охраны окружающей среды.

Табл. 1. Среднегодовое содержание тяжелых

Металл	Год								
	1980			1981			1982		
	до очист-ки	после очист-ки	вы-пуск	до очист-ки	после очист-ки	вы-пуск	до очист-ки	после очист-ки	вы-пуск
Железо	1,18	0,23	0,51	1,00	0,27	0,72	1,10	0,49	0,68
Хром	0,26	0,08	0,06	0,27	0,12	0,14	0,23	0,10	0,12
Цинк	0,54	0,27	0,27	0,38	0,16	0,20	0,44	0,11	0,13
Медь	0,18	0,09	0,06	0,11	0,07	0,09	0,70	0,19	0,23
Никель	0,22	0,10	0,12	0,10	0,05	0,04	0,13	0,07	0,04

Динамика содержания тяжелых металлов изучалась на примере тех из них, которые чаще всего встречаются в сточных водах, поступающих на МСА: железо, хром, цинк, медь и никель. Среднегодовое их содержание колеблется в пределах: железо — 0,706—1,18 мг/л; хром — 0,23—1,22; цинк — 0,13—0,54; медь — 0,11—0,97; никель — 0,06—0,22 мг/л (табл. 1).

Так как в период исследований полной биологической очистке подвергалась часть стока, то среднегодовое содержание металлов в сточной воде, сбрасываемой в р. Свислочь, превышает их содержание после биологической очистки (за исключением цинка). Максимальное содержание металлов в исходном стоке наблюдалось: железа — в 1980 г. (август), хрома — в 1986 г. (январь), цинка — в 1980 г. (февраль), меди — в 1984 г. (январь), никеля — в 1982 г. (апрель) и соответственно составило 2,9; 1,61; 1,71; 5,7 и 0,65 мг/л. Сопоставив имеющиеся данные с требованиями СНиП [1], можно сделать вывод, что по ряду металлов (никель — 1980, 1982 гг., цинк — 1980, 1981 гг., медь — 1983—86 гг.) предельно допустимые концентрации не выдерживались. Так, в 1984 г. (январь) содержание меди в сточной воде было в 11 раз больше, в 1980 г. (февраль) цинка — в 1,71 раза, в 1982 г. (апрель) концентрация никеля увеличилась в 1,3 раза по сравнению с предельно допустимой.

Такая неравномерность содержания металлов в поступающих на МСА стоках может быть объяснена недостаточной локальной очисткой стоков на предприятиях города и имеющими место залповыми сбросами, содержащими тяжелые металлы, что не может не оказывать существенного влияния на их биологическую очистку.

Процент снижения содержания тяжелых металлов после биологической очистки при максимальном содержании их в поступающей сточной воде составил: железо — 97,59%; хром — 91,93; медь — 96,49; цинк — 74,85; никель — 30,77%. При минимальном — соответственно 83,3; 7,89; 57,14; 22,22; 0%.

металлов в сточных водах МСА, мг/л

Металл	Год											
	1983			1984			1985			1986		
	до очист-ки	после очист-ки	вы-пуск	до очист-ки	после очист-ки	вы-пуск	до очист-ки	после очист-ки	вы-пуск	до очист-ки	после очист-ки	вы-пуск
Железо	0,96	0,35	0,53	0,71	0,24	0,43	0,835	0,47	0,495	0,706	0,19	0,225
Хром	0,27	0,06	0,08	0,79	0,11	0,23	0,76	0,15	0,22	1,22	0,13	0,17
Цинк	0,13	0,04	0,04	0,28	0,05	0,074	0,275	0,06	0,08	0,24	0,07	0,056
Медь	0,28	0,21	0,16	0,97	0,17	0,26	0,298	0,056	0,08	0,33	0,067	0,06
Никель	0,06	0,03	0,04	Отсутствует			Отсутствует			Отсутствует		

Анализируя полученные данные, необходимо отметить, что в сточной воде остается такое количество металлов, которое Минская станция аэрации при существующем режиме работы практически очистить не в состоянии. А резкое повышение их содержания в сточных водах снижает очищающую способность ила [2, 3] и способствует накоплению металлов в осадке.

Следует отметить, что и после биологической очистки (табл. 2) часть металлов остается в воде и поступает в р. Свислочь. Так, только за 1986 г. в реку было сброшено: 53,4 т железа, 14,2 — меди, 13,3 — цинка, 40,3 т хрома. Однако содержание металлов в очищенной воде в 1986 г. значительно уменьшилось по сравнению с предыдущими годами (исключение составляет лишь хром): железа по сравнению с 1982 г. на 59,8%, а с 1985 г. — на 52%; меди по сравнению с 1982 г. на 68%, а с 1984 г. — на 74,5%; цинка — с 1980 г. — на 71,3%, с 1982 г. — на 47,6%; никель с 1984 г. в сточной воде на выпуске в водоем отсутствует. В целом же содержание тяжелых металлов, поступающих в водоем, остается высоким и не может не вызывать беспокойства.

Табл. 2. Содержание тяжелых металлов в сточной воде МСА на выпуске в р. Свислочь

Металлы	Годы													
	1980		1981		1982		1983		1984		1985		1986	
	мг/л	т/год	мг/л	т/год	мг/л	т/год	мг/л	т/год	мг/л	т/год	мг/л	т/год	мг/л	т/год
Железо	0,51	87,4	0,72	132,9	0,68	133,0	0,53	109,0	0,43	92,0	0,495	111,5	0,225	53,4
Медь	0,06	10,3	0,09	16,6	0,23	45,0	0,16	32,9	0,26	55,6	0,08	18,0	0,06	14,2
Цинк	0,27	46,3	0,20	36,9	0,13	25,4	0,04	8,2	0,074	15,8	0,08	18,0	0,056	13,3
Хром	0,064	11,0	0,14	25,8	0,12	23,5	0,08	16,5	0,23	49,2	0,22	49,5	0,17	40,3
Никель	0,12	20,6	0,04	7,4	0,04	7,8	0,04	8,2	Отсутствует		Отсутствует		Отсутствует	

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

содержание тяжелых металлов в сточных водах превышает установленные ПДК для промышленных предприятий города, что свидетельствует не только о низкой эффективности работы локальных очистных сооружений, но и о сбросах в канализацию осадков, содержащих тяжелые металлы;

сложившаяся ситуация (существующее поступление тяжелых металлов, пропускная способность МСА и эффективность ее работы) способствует превышению допустимых концентраций тяжелых металлов в р. Свислочь и в осадке МСА, что исключит возможность его сельскохозяйственного использования.

Для улучшения экологической обстановки необходимо срочно решить вопросы по централизованному сбору и утилизации осадков очистных сооружений промышленных предприятий и повышению эффективности работы МСА.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.04.03—85. Канализация. Наружные сети и сооружения. 2. Г р у ш к о Я.М. Вредные неорганические соединения в промышленных сточных водах. — Л., 1979. — 155 с. 3. К о з л о в с к а я С.Б. Интенсификация биологической очистки сточных вод // Тез. докл. Всесоюз. науч. техн. конференции "Основные направления развития водоотведения, очистки сточных вод и обработки осадка". Ч. I. Харьков. — 1985. — 24 с.

УДК (631.432:631.436).001.572

К.А. ГЛУШКО, П.И. ЗАКРЖЕВСКИЙ

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИГРАЦИИ ВЛАГИ В МЕЛКОЗАЛЕЖНЫХ ТОРФЯНИКАХ

В процессе промерзания почвы происходит накопление влаги в зоне промерзания, что приводит при определенных гидрогеологических условиях к существенному ее перераспределению с равновесным состоянием исходного осеннего периода. Увеличение влаги в зоне промерзания сопровождается иссушением подстилающей талой толщи почвы и подтоком влаги от уровня грунтовых вод. Переток влаги в зону промерзания происходит за счет действия кристаллизационно-пленочного [1, 2], вакуумно-компрессионного [3] и диффузионного [4] механизмов формирования потенциала влажности. Основным из них считается кристаллизационно-пленочный.

Закономерности передвижения влаги при замерзании грунта

рассмотрены в работах [4—8]. Установлено, что интенсивность миграции влаги зависит от уровня грунтовых вод, градиента температур и коэффициента влагопроводности талого слоя. Миграционный поток тем больше, чем ближе уровень грунтовых вод и выше градиент температур и коэффициент влагопроводности. Характеризуется он линейной зависимостью с начала промерзания. Указанные закономерности установлены по данным лабораторных исследований на модельных средах или небольших образцах.

В натуральных полевых условиях на процесс влагопереноса влияют дополнительные факторы, которые целесообразно учитывать в интегральном виде, а не дифференцированно.

Изучение миграции влаги при воздействии природного комплекса факторов интегрально выполнено в 1985—1988 гг. на лизиметрическом комплексе Полесской ОМС. Почва опытного участка представлена мелкозалежным торфяником мощностью 0,5—0,7 м, подстилаемым разнозернистым песком. По ботаническому составу торфяник осоково-гипсовый, степень разложения 30—40 %, коэффициент фильтрации 0,2—2,0 м/сут., плотность 1,5—1,8 г/см³. Коэффициент фильтрации подстилающего песка изменяется от 2,0 до 20,0 м/сут.

На полигоне установлено 12 лизиметров площадью 3000 см² с поддержанием уровня грунтовых вод на глубине 0,5 м, 12 лизиметров площадью 3000 см² с поддержанием уровня грунтовых вод на глубине 0,75 м и 6 лизиметров площадью 1000 см² с поддержанием уровня грунтовых вод на глубине 1,0 м. Монолиты — ненарушенной структуры. Изоляция выполнена из эластичной водонепроницаемой пленки, обладающей низкой теплопроводностью, что позволило исключить передачу тепла по контакту с изоляцией в нижние слои и тем самым сохранить тождество термического режима в монолите лизиметра и окружающего массива. Контроль за температурой велся с помощью вытяжных глубинных термометров, установленных на глубине 20, 30, 40, 60, 80 и 100 см. Наблюдения за уровнем грунтовых вод в лизиметрах велись с помощью пьезометров, изготовленных из пластмассы и установленных на расстоянии 0,5 м (превышающем максимально возможную глубину промерзания) от них. Дренаж лизиметров сообщается с пьезометрами с помощью патрубков. Поддержание заданного уровня воды в лизиметрах в течение всего периода наблюдений осуществлялось путем долива воды в пьезометры. По падению уровня грунтовых вод за период между наблюдениями и коэффициенту водоотдачи слоя исследуемой почвы определялось количество влаги, мигрирующей к фронту промерзания.

Результаты обработки экспериментальных данных, полученных с 12-кратной повторностью для лизиметров с уровнем грунтовых вод 0,5 и 0,75 м и 6-кратной повторностью для лизиметров с уровнем грунтовых вод 1,0 м, в виде слоя мигрирующей влаги в зависимости от суммы отрицательных среднесуточных температур представлены на рис. 1. Зависимость имеет вид степенной функции

Табл. 1. Значения параметров a , b и степень тесноты связи при различном положении уровня грунтовых вод

Уровень грунтовых вод в лизиметре, м	Параметры		Степень тесноты связи	
	a	b	коэффициент корреляции	критерий Фишера
0,50	0,955	0,608	0,955	7,65
0,75	0,595	0,565	0,926	5,23
1,00	0,182	0,655	0,934	3,45

и аппроксимируется уравнением

$$h = a |\Sigma(-t)|^b. \quad (1)$$

Значения параметров a , b и степень тесноты связи приведены в табл. 1.

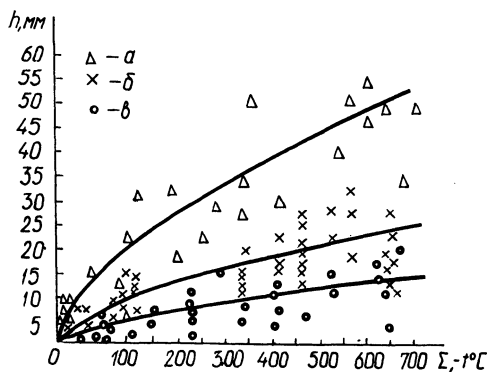


Рис. 1. Зависимость миграции влаги от суммы отрицательных температур: $a - H = 50$ см; $б - H = 75$ см; $в - H = 100$ см

Расчеты величины миграции влаги к зоне промерзания при других глубинах УГВ предлагается определять по зависимости

$$h = \beta \exp(-\alpha H) (\Sigma t)^{0,6}, \quad (2)$$

где β и α — параметры, интегрально отражающие гидрофизические характеристики почвогрунтов ($\beta = 6,0$, $\alpha = 3,3$); H — глубина УГВ от поверхности почвы, м; Σt — сумма отрицательных среднесуточных температур, взятая со знаком плюс, °C.

Результаты опытов по изучению миграции влаги в естественных полевых условиях показывают, что в начальной стадии, соответствующей накоплению суммы отрицательных температур около 70°C , когда снежный покров отсутствовал либо был маломощным, шел активный процесс миграции. Открытая поверхность почвы и другие факторы способствовали росту градиента температур. Постепенно с нарастанием снежного покрова миграция влаги стабилизируется и зависимость ее от суммы отрицательных температур приобретает характер, близкий к линейному. Это является харак-

терным для любого из рассмотренных случаев положения уровня грунтовых вод.

Следует отметить, что пропорциональность нарастания миграционного потока с уменьшением глубины залегания уровня грунтовых вод не наблюдается в условиях двухслойной среды, характерной в условиях однородной структуры образцов [4, 9]. Это объясняется тем, что на глубине 0,6 м, т. е. на границе раздела торфа и подстилающего песка, существует мульчирующая прослойка мощностью 4–6 см, коэффициент фильтрации которой весьма низок и составляет 11–20 см/сут.

Приведенные экспериментальные данные соответствуют периоду, когда движение инфильтрующихся талых вод не наблюдалось.

Методом визуального осмотра вертикального профиля стенок шурфов и последующего инструментального измерения мощности ледовых прослоек и отбора образцов почвы на влажность установлено, что наиболее сильно процесс влагонакопления наблюдается в системе крупных пор и на границе подошвы пахотного слоя. Мощность ледовых прослоек в виде плотного и рыхлого кристаллизационного льда составляет 3–7 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б о ж е н о в а А.Г. Значение осмотических сил в процессе миграции влаги в грунтах // Мат-лы по лабораторному исследованию мерзлых грунтов. М., 1957. — Вып. 3. — С. 129–141.
2. Г о л ь д ш т е й н М.Н. Термодинамика необратимых процессов и электроосмотический перенос в дисперсных системах // Коллоид. журн., 1959. Т. 21. № 1. С. 30–36.
3. Общее мерзлотоведение / Сумгин М.И. и др. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. — 340 с.
4. К а л ю ж - н ы й И.Л., П а в л о в а К.К. Формирование потерь талового стока. — Л., 1981. — 158 с.
5. Т ю т ю н о в И.Л. Миграция влаги в грунтах // Исследования по физике и механике мерзлых грунтов. — М., 1961. — С. 7–21.
6. Р о - м а н Л.Т. Мерзлые торфяные грунты как основания сооружений. — Новосибирск, 1987. — 219 с.
7. Е р ш о в Э.Д. Влагоперенос и криогенные текстуры в дисперсных породах. — М., 1979. — 214 с.
8. А ф а н а с и к Г.И. Исследование водно-теплого режима низинных торфяников в зимний период: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Мн., 1965. — 20 с.
9. Д а в и д о в с к и й А.Н., Б р о в к а Г.П. Тепло- и массоперенос в промерзающих торфяных системах. — Мн., 1985. — 159 с.

МЕТОДИКА И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА И НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ВЛЕКОМЫХ НАНОСОВ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ МАЛЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

В условиях морей и крупных водохранилищ измерения расходов и направления движения данных наносов осуществляются с помощью пробоотборников и ловушек различных конструкций, а также путем окраски влекомого материала красителями-люминофорами и изотопами [1]. Существенными недостатками, ограничивающими область их применения в условиях малых водоемов являются: большая трудоемкость работ; невысокая точность получаемых результатов; несоблюдение условий охраны окружающей природной среды.

С целью повышения точности и достоверности получаемых результатов и упрощения измерений в ЦНИИКИВР разработаны комплект наносоуловителей и методика определения расхода и направления перемещений влекомых в береговой зоне водоемов наносов, что позволит контролировать заносимость гидротехнических сооружений как на самом водохранилище, так и на прилегающих к водоему мелиоративных системах и сооружениях (шлюзах-регуляторах, трубах-регуляторах, водозаборах, водоприемниках и т.д.). Предлагаемая методика может использоваться как изыскателями при проектировании водных объектов, так и организациями, занимающимися эксплуатацией мелиоративных систем и водоемов на них.

Способ определения объема и направления перемещения влекомых наносов состоит в том, что в береговой зоне водоемов устанавливается по нормали к урезу в количестве пяти единиц комплект наносоуловителей в четырех зонах волнения: первый наносоуловитель — в зоне наката волны, второй — на урезе, третий — в зоне разрушения, четвертый — в зоне трансформации и пятый — в глубоководной зоне, т. е. на внешнем краю береговой отмели. Установка наносоуловителей выполняется на расстоянии:

$$L_1 = 0,5B_n; L_2 = 0; L_3 = 0,05B_n, L_4 = 0,66B_n \text{ и } L_5 = 1,0B_n,$$

где L_1, L_2, L_3, L_4, L_5 — соответствующие расстояния от центра оси наносоуловителей до уреза воды, м; B_n и B_n — соответственно ширина надводной и подводной частей береговой отмели, м.

Точки установки наносоуловителей привязаны к известным зонам волнения [2]. За точку отсчета при измерении расхода наносов в створе принят урез, где установлен наносоуловитель № 2.

На рис. 1 показана схема установки наносоуловителей в береговой зоне водохранилища. Все наносоуловители выполнены из металла — оцинкованного железа и состоят из следующих деталей (рис. 2): внешнего цилиндра 5, снабженного корпусом 8 и бортиком 1, который расположен непосредственно в точке проведения измерений; внутреннего цилиндра 7 с перегородками 6, делящими объем наносоуловителя на четыре сектора, бортика 4, заглушки 2 и поплавка-индикатора 3.

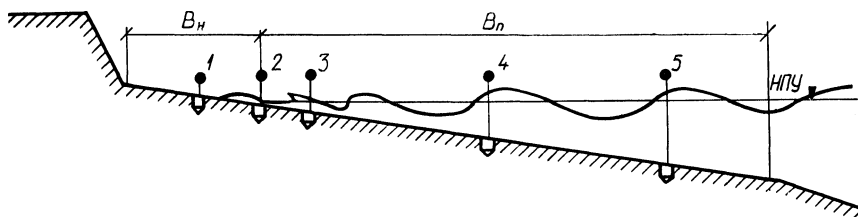


Рис. 1. Схема установки наносоуловителей на береговой отмели

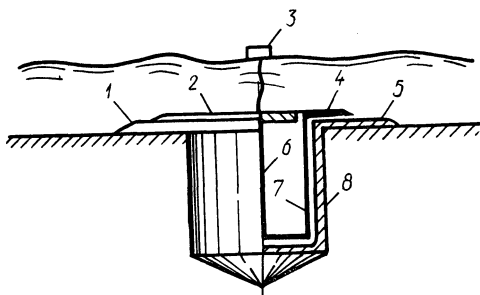


Рис. 2. Схема наносоуловителя

Измерение расхода и направления движения наносов осуществляется следующим образом. Предварительно перед установкой наносоуловителей в береговой зоне водоема выполняется нивелирование профиля контрольного створа и определение ширины надводной B_n и подводной B_n частей береговой отмели. Затем весь комплект наносоуловителей (пять единиц) устанавливают строго в пяти указанных точках береговой зоны, обязательно по нормали к урезу воды (рис. 3, а).

В качестве контрольного периода, т. е. времени производства непосредственных измерений T_k по определению расхода и направления движения влекомых наносов, принято время заполнения наносоуловителя № 2, установленного в зоне разрушения волны [2]. В зависимости от высоты волны 1 % обеспеченности длительность времени измерения расхода наносов может изменяться в пределах 30—80 с.

При выполнении измерений в предварительно погруженные в грунт внешние цилиндры 5 опускают внутренние цилиндры 7 и

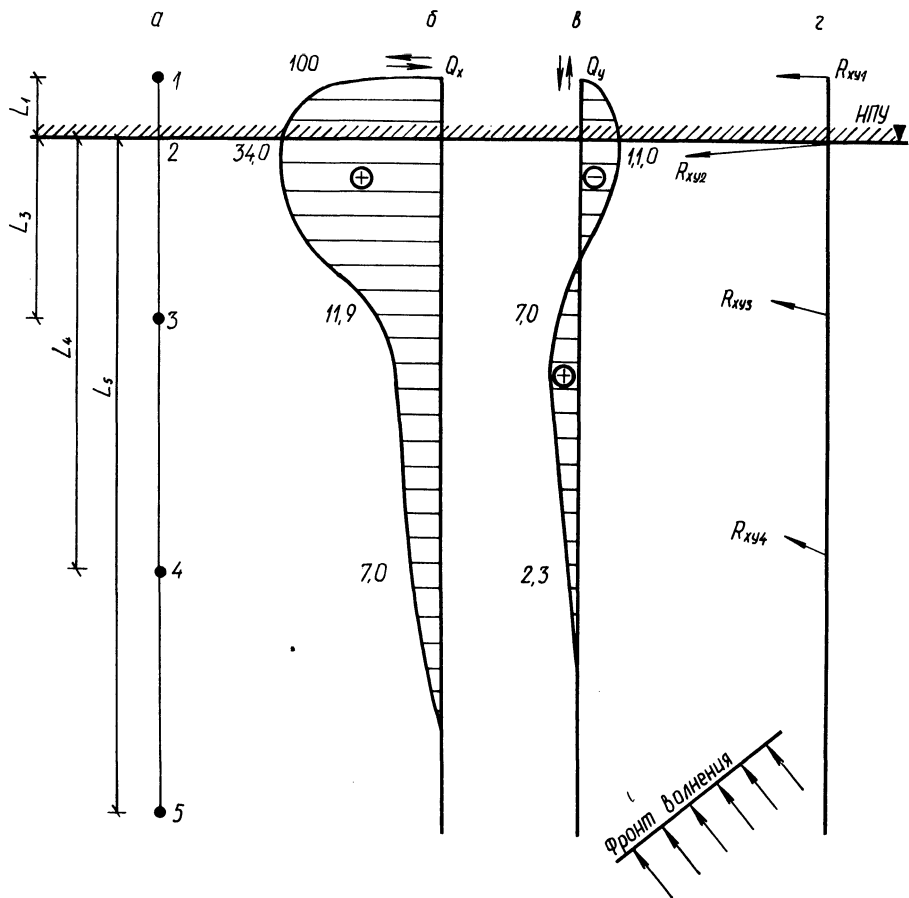


Рис. 3. Эпюры расходов наносов в береговой зоне малых водохранилищ (Заславское водохранилище):

а – точки установки наносоуловителей на отмели; б – эпюра расхода вдольберегового потока наносов; в – эпюра расхода поперечного потока наносов; г – эпюра суммарного расхода наносов

открывают заглушки 2. Затем через контрольный промежуток времени цилиндры 7 извлекают, а из каждой секции берут соответственно пробы наносов ($Q_I, Q_{II}, Q_{III}, Q_{IV}$). Перед измерением расхода наносов регистрируют параметры ветрового и волнового режимов. В качестве приборов для измерения скорости и направления ветра на высоте 2 м от поверхности используются анемометр М-3 и измеритель скорости ветра Ю-1008 М. Высоту волны 1 % обеспеченности определяют с помощью легкой волномерной вежи [3]. Затем устанавливают контрольное время заполнения наносоуловителя. Полученные в результате измерений и замеров пробы наносов

Табл. 1. Гранулометрический состав влекомых наносов (Заславское водохранилище, участок 1, створ 9)

Фракция, мм	Наносоуловитель, секторный объем наносов, см ³											
	1				2				3			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
0,1	0,35	0,50	0,60	0,70	2,30	0,70	0,75	—	0,40	—	—	0,60
0,25	1,30	1,55	3,30	3,10	25,0	52,20	2,95	—	0,20	—	—	2,45
0,50	1,10	2,10	2,20	1,60	16,80	2,50	9,40	—	0,05	—	—	2,20
1,0	7,30	6,60	4,65	2,40	26,20	9,60	4,40	—	0,05	—	—	11,70
2,0	13,10	8,50	5,55	1,40	1,65	13,60	6,15	—	—	—	—	33,90
3,0	8,60	3,80	4,40	0,40	1,0	5,80	3,10	—	—	—	—	20,30
5,0	1,20	1,15	0,55	—	0,55	1,30	0,90	—	—	—	—	3,10
7,0	—	—	—	—	—	—	0,50	—	—	—	—	1,60
	$Q_I=32,95$	$Q_{II}=24,2$	$Q_{III}=21,25$	$Q_{IV}=9,6$	$Q_I=73,5$	$Q_{II}=85,7$	$Q_{III}=28,15$	$Q_{IV}=0$	$Q_I=0,70$	$Q_{II}=0$	$Q_{III}=0$	$Q_{IV}=75,85$
	$\Sigma Q_{xy1} = 88,0$				$\Sigma Q_{xy2} = 187,35$				$\Sigma Q_{xy3} = 76,55$			

упаковывают в бьюксы и доставляют в лабораторию для дальнейшей обработки.

После высушивания и взвешивания проб наносов определяют: объем наносов в каждом секторе Q_i и гранулометрический состав наносов (табл. 1);

геометрическим способом путем сложения векторов (элементарных секторных расходов наносов) суммарный объем ΣQ_{xy} , а также вдольбереговую Q_x (рис. 3, б) и поперечную Q_y (рис. 3, в) составляющие расхода наносов по каждому наносоуловителю; по величинам Q_x и Q_y для каждой точки измерения строят эпюры расхода наносов (см. рис. 3, б, в) и определяют результирующее значение эпюры P_{xy} и суммарное направление движения наносов (рис. 3, г).

Апробация способа была выполнена на ряде водохранилищ Белорусской ССР — Дубровское, Петровичи, Цнянское и другие и рекомендуется для ширского использования в гидрологических и гидромелиоративных изысканиях. Полевые изыскания показали, что основными преимуществами описанной методики измерения и приборов являются: простота конструкции и оперативность производства работ; малое число людей (не более двух человек); высокая достоверность и точность результатов измерений; возможность отображения результатов измерений графически.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях. — М., 1975. — 240 с.
2. Пышкин Б.А. Динамика берегов водохранилищ. — Киев, 1973. — 414 с.
3. Левкевич В.Е. Приборы для изучения кинематической структуры волнового потока в береговой зоне малых водоемов. — НТИ / Минводхоз БССР. — 1986. — № 1. — С. 19—22.

УДК 627.831/835+627.131:532.51

П.М. БОГОСЛАВЧИК

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ РЕЗЕРВНОГО ВОДОСБРОСА С РАЗМЫВАЕМОЙ ГРУНТОВОЙ ВСТАВКОЙ

При проектировании резервного водосброса с размываемой вставкой [1] выполняется гидравлический расчет, который состоит из определения размеров водопропускного отверстия и расчета размыва грунтовой вставки при переливе. При определении размеров водопропускного отверстия особых трудностей не возникает. Расчет здесь выполняется известными способами на пропуск расчетного расхода, который равен разности между расходом воды в реке и пропускной способностью основного водосброса.

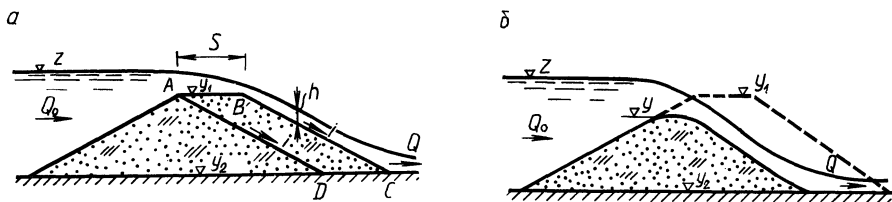


Рис. 1. Размыв вставки из песчаных грунтов

В соответствии с разработанной ранее расчетной схемой [1, 2] размыв вставки из песчаных грунтов условно разделен на две стадии (рис. 1). На первой стадии размывается низовой откос как бы параллельными слоями. При этом отметка гребня со стороны верховой бровки остается постоянной. На второй стадии происходит интенсивное снижение гребня. На основании данной схемы были получены уравнения деформации для первой и второй стадий, которые совместно с уравнениями движения потока дают математическую модель рассматриваемого явления.

При расчете деформаций размыва ключевым вопросом является выбор формулы транспортирующей способности потока. При исследовании размыва низового клина вставки (первая стадия) была предложена следующая формула:

$$q_s = D \frac{u^3}{wh} q, \quad (1)$$

где q_s — удельный весовой расход твердого стока, кг/с • м; u — средняя скорость потока, м/с; w — средневзвешенная гидравлическая крупность частиц размываемого грунта, м/с; h — глубина потока, м; q — удельный расход воды, м²/с; D — параметр, зависящий от крупности частиц грунта, кг • с²/м².

Относительно физической сущности параметра D в литературе имеются различные толкования. С.Х. Абальянц получил его как характеристику турбулентности потока [4]. У В.С. Лапшенкова дана энергетическая концепция данного параметра [5]. В речной гидравлике величина его принимается по данным экспериментов. Особенности отдельных серий экспериментов и условий их проведения приводят к различным численным значениям. Анализ экспериментальных данных для случая размыва вставок из песчаных грунтов показал, что величина D зависит от крупности частиц грунта следующим образом: если ввести новый параметр $A = D/w$, то его значение во всех опытах примерно одинаково. Получается, что крупность частиц грунта и его гранулометрический состав не влияют на величину расхода твердого стока в рассматриваемых условиях. Подтверждается тот факт, что при скоростях, значительно превышающих предельные неразмывающие, картина транспорта наносов

упрощается [6]. Если при сравнительно небольших скоростях расход наносов зависит почти в одинаковой мере как от гидромеханических характеристик потока, так и от физико-механических свойств грунтов, то при скоростях, когда продукт размыва переходит во взвешенное состояние, влияние этих свойств снижается. Поэтому и формулы расхода взвешенных наносов по структуре проще формул расхода влекомых наносов. Рассматриваемый случай показывает, что при скоростях, значительно превышающих предельные неразмывающие (на низовом откосе размываемой вставки в 10—30 и более раз), расход твердого стока зависит исключительно от гидромеханических характеристик потока. По крайней мере влияние свойств грунтов на его величину не замечено. Таким образом,

$$q_s = A \frac{u^3}{h} q. \quad (2)$$

Параметр A является эмпирическим. Его среднестатистическое значение для песчаных грунтов мелких и средней крупности равно 0,153. Используя данное уравнение в соответствии с изложенными ранее допущениями [2], получаем следующее уравнение деформации для первой стадии размыва:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{A i^{1,2} (2g)^{0,8}}{n^{2,4}} m^{1,6} (z - y)^{2,4}, \quad (3)$$

где M — масса размываемого грунта, кг; t — время, с; i — уклон дна низового откоса; n — коэффициент шероховатости; m — коэффициент расхода; z — уровень верхнего бьефа, м; y — отметка гребня размываемой вставки, м, для первой стадии $y = \text{const}$.

На второй стадии требуется знать интенсивность снижения гребня dy/dt . Ранее [1, 2] были получены уравнения деформации для второй стадии. Причем в одном случае [2] в качестве формулы транспортирующей способности была использована известная формула В.Н. Гончарова. В другом — формула (1). Дальнейшие исследования показали, что более точное совпадение с экспериментальными данными дает уравнение деформации, полученное на основании формулы В.Н. Гончарова. Необходимость применения различных формул транспортирующей способности потока для первой и второй стадии размыва объясняется тем, что по длине размыва имеются некоторые отличия в транспорте наносов на гребне и на откосе. На гребне скорости потока значительно ближе к предельным неразмывающим, в силу чего движение частиц грунта происходит в одинаковой мере как во взвешенном, так и во влекомом состоянии (на откосе исключительно во взвешенном). Здесь на величину q_s оказывают существенное влияние свойства размываемого грунта, что учитывается в формуле В.Н. Гончарова. Таким образом, в окончательном варианте для второй стадии справедливым

следует считать уравнение деформации, полученное на основании формулы В.Н. Гончарова [2] . С учетом результатов исследований кривых свободной поверхности на гребне размываемой вставки [7] это уравнение имеет вид

$$\frac{dy}{dt} = -\sigma \frac{Bm^{0,43}}{\rho_0} \frac{\epsilon_1}{g} (z - y)^{0,6} , \quad (4)$$

где

$$\epsilon_1 = \frac{1 - 1,26m^{2/3}}{\beta} 2g , \quad (5)$$

$$B = 6,77(1 + \varphi) dg^{2,17} \left(\frac{5,64n\sqrt{2g}}{\varphi\omega} \right)^{3,33} , \quad (6)$$

ρ_0 — плотность грунта вставки, кг/м³; d — средний диаметр частиц грунта, м; φ — параметр турбулентности — отношение расчетной скорости падения частицы к ее действительной гидравлической крупности; β — коэффициент, принимаемый для песчаных грунтов в пределах 1,5—2,0; σ — коэффициент подтопления.

Уравнение движения потока [1, 2]

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Q_0 - Q}{F} , \quad (7)$$

где F — площадь зеркала воды в верхнем бьефе на отметке z , м²; Q_0 — расход в верхнем бьефе (приточность, м³/с); Q — расход через размываемую вставку, м³/с,

$$Q = mb\sqrt{2g} (z - y)^{1,5} , \quad (8)$$

b — ширина переливающегося потока, м.

Расчет по полученным выше уравнениям, целью которого является определение z , y и Q в любой момент размыва вставки, ведется методом конечных разностей, аппроксимируя в соответствующих уравнениях производные конечноразностными отношениями. Задаваясь некоторым интервалом времени Δt , с помощью данных уравнений последовательно на конец каждого интервала определяются необходимые параметры процесса размыва: количество смытого грунта (для первой стадии), уровень верхнего бьефа, отметку гребня вставки и расход через нее.

При наличии крепления на низовом откосе начало размыва может не совпадать с началом перелива, так как для разрушения крепления требуется, чтобы скорость на откосе превышала критическую неразмывающую для данного типа крепления. В этом случае необходимо установить напор на гребне вставки, при котором

начинается разрушение низового откоса, то есть некоторый начальный напор $(z - y)_н$. Сделаем допущение, что при этом напоре крепление разрушается одновременно по всему откосу, и дальнейший размыв происходит по описанной выше схеме.

Скорость, при которой начинается разрушение крепления при переливе воды через гребень, определяется по формуле критических скоростей [8]

$$u_н = \sqrt{\frac{2f(1-m'_{кр})gD_{кр}}{\lambda\rho} \left[(\rho_{кр} - \rho) \cos\gamma - \frac{\sin\gamma}{f} \right] + \frac{\rho h \cos^2\gamma}{(1-m_{кр}^2)D_{кр}}} \quad (9)$$

где $D_{кр}$ — толщина крепления, м; f — коэффициент трения покрытия по поверхности откоса; γ — угол наклона откоса к горизонту, радиан; $\rho_{кр}$ — плотность материала крепления, кг/м³; λ — коэффициент гидравлического сопротивления, определяемый по формуле

$$\lambda = \frac{8n_{кр}^2 g}{2,25h^{1/3}}, \quad (10)$$

ρ — плотность воды, кг/м³; $m_{кр}$ — пористость крепления; $n_{кр}$ — коэффициент шероховатости крепления, рекомендуется [9]: для дерна — 0,03; для бегона — 0,015; для полимерной пленки — 0,03; для кустарниковой растительности 0,1.

Величина $(\rho_{кр} - \rho) \left(\cos\gamma - \frac{\sin\gamma}{f} \right)$ в уравнении (9) очень мала, и ею в практических расчетах можно пренебречь. С учетом этого уравнение (9) можно записать в следующем виде:

$$u_н = \sqrt{\frac{2f(1-m'_{кр})^2 gh \cos^2\gamma}{\lambda}} \quad (11)$$

Допуская, что кривая спада на откосе короткая и там устанавливается нормальная глубина, можно эту глубину определить из уравнения Шези-Маннинга [2]:

$$h = \frac{(qn)^{0,6}}{i^{0,3}} = \frac{[m\sqrt{2g}(z-y)^{1,5}n_{кр}]^{0,6}}{i^{0,3}} \quad (12)$$

При известной величине $(z - y)$ по (12) определяется h . Подставляя h в (11), получим скорость, при которой происходит разрушение крепления $u_н$. Сравнивая $u_н$ с действительной скоростью,

которая равна $u = q/h$, последовательным приближением можно определить такое $(z - y)$, при котором $u = u_n$. Это и будет начальный напор.

Таким образом, расчет процесса размыва ведется в три этапа. На первом этапе устанавливается начальный напор на гребне вставки. Затем производится расчет для первой стадии размыва и, наконец, рассчитывается вторая стадия.

Для первой стадии расчет ведется в соответствии с расчетной схемой (см. рис. 1). Отметка гребня здесь $y = \text{const}$. Расчет производится в следующем порядке. На конец каждого интервала времени последовательно определяются Δz и ΔM из уравнений (3) и (7), затем при известном Δz — уровень верхнего бьефа и по (8) — расход. При $\Sigma \Delta M = M_0$, где M_0 — масса низовой призмы $ABCD$, следует переходить к расчету второй стадии. Возможен, однако, случай, когда уровень верхнего бьефа достигнет максимально возможного при заданном Q_0 раньше, чем будет размыва низовая призма $ABCD$ массой M_0 . Здесь для упрощения расчетов следует предварительно определить максимально возможный уровень верхнего бьефа при переливе из уравнения

$$(z_{\max} - y) = \left(\frac{Q_0}{mb \sqrt{2g}} \right)^{2/3}. \quad (13)$$

В том случае, когда $\Sigma \Delta M$ будет меньше величины M_0 при достижении $z = z_{\max}$, определяется время, необходимое для размыва остальной части призмы:

$$t_0 = \frac{(M_0 - \Sigma \Delta M) n^{2,4}}{A i^{1,2} m^{1,6} (z_{\max} - y)^{2,4}}. \quad (14)$$

Расчет для второй стадии производится с помощью уравнений (4) и (7). Здесь на конец каждого Δt определяется уровень верхнего бьефа, отметка гребня вставки и расход через нее. На рис. 2 приведена блок-схема программы расчета размыва грунтовой вставки при переливе.

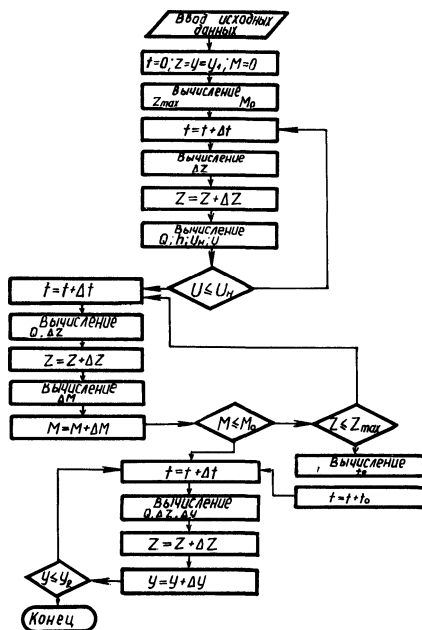


Рис. 2. Блок-схема программы расчета размыва групповой вставки при переливе

ЛИТЕРАТУРА

1. Б о г о с л а в ч и к П.М., Ф и л и п п о в и ч И.В. Гидравлические исследования резервного водосброса по типу размываемой вставки. Материалы конференций и совещаний по гидротехнике: Методы исследований и гидравлических расчетов водосбросных гидротехнических сооружений / ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. — М., 1985. — С. 51—54.
2. Б о г о с л а в ч и к П.М., Ф и л и п п о в и ч И.В. К расчету размыва однородной плотины из песчаных грунтов при переливе воды через гребень // Известия вузов СССР. — 1983. № 2. — С. 100—105.
3. Б о г о с л а в ч и к П.М. Исследования транспортирующей способности потока при размыве плотин из песчаных грунтов // Водное хозяйство и гидротехническое строительство, 1985. — Вып. 14. — С. 48—52.
4. А б а л ь я н ц С.Х. Движение взвесей в открытых потоках // Труды САННИИРИ / Среднеаз. НИИ ирригации им. В.Д. Журина / 1958. — Вып. 96. — С. 3—156.
5. Л а п ш е н к о в В.С. Прогнозирование русловых деформаций в бьефах речных гидроузлов. — Л., 1979. — 239 с.
6. Г р и ш а н и н К.В. Расход русловых наносов в реках с песчаным дном. Русловые процессы и методы их регулирования: Докл. конф. — Л., 1977. — С. 8—14.
7. Б о г о с л а в ч и к П.М. Исследование кривых свободной поверхности на моделях грунтовых плотин при их размыве переливом // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. — 1987. — Вып. 16. — С. 71—75.
8. И в а н о в Н.А. Защита откосов плотин из грунтовых материалов при кратковременном переливе // Сб. науч. тр. Гидропроекта им. С.Я. Жука. Гидравлика и фильтрация. — М., 1979. — С. 87—94.
9. Л я т х е р В.М., М и л и т е е в А.Н. Расчет устойчивости камней и габионов на поверхности плотины при пропуске через нее больших расходов. Труды коорд. совещаний по гидротехнике. Дополн. мат-лы // Гидравлика высоконапорных водосбросных сооружений. — М., 1975. — С. 148—152.

УДК 532.526

Д.А. КОЗЛОВ, Ю.Е. ЗВЕРХОВСКИЙ, И.В. ПОВОРОТНЫЙ СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЯ ВБЛИЗИ РОТОРА СМЕСИТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Проблема интенсификации гидродинамических процессов и процессов тепло- и массообмена путем активизации турбулентных течений находит широкое применение во всех отраслях народного хозяйства, связанных с использованием однородных растворов, эмульсий, в том числе и в гидротехническом строительстве.

Одним из таких путей является применение гидродинамической кавитации как дополнительного импульсного воздействия на перемешивание дисперсных сред [1, 2]. Весьма своеобразная специфика перемешивания реологически сложных дисперсных систем в устройствах, использующих кавитацию (кавитаторах), порождает новые интересные особенности протекания в них процессов конвективного переноса, закономерности которого недостаточно изучены. Обусловлено это отсутствием методов и средств комплекс-

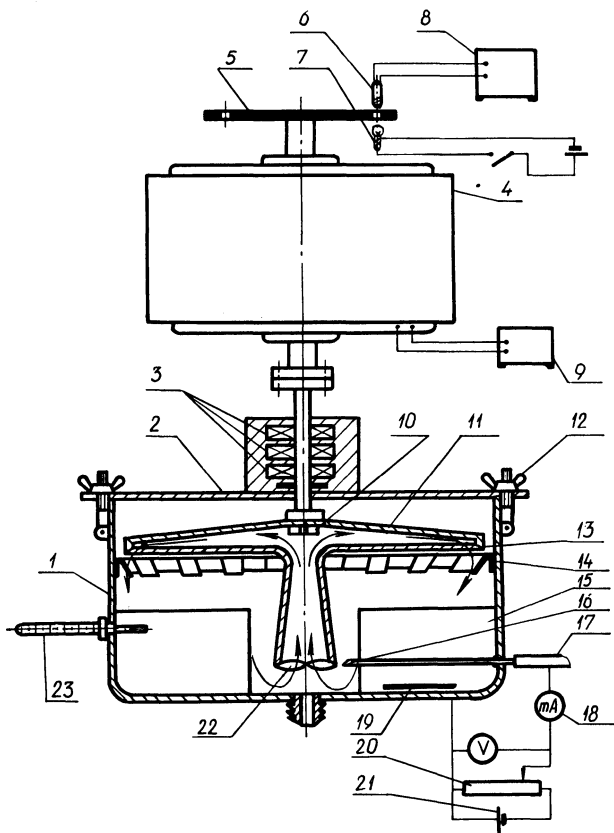


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – подшипники; 4 – электродвигатель постоянного тока; 5 – диск щелевой; 6 – фотодиод; 7 – лампочка; 8 – тахометр ТЦ-3м; 9 – источник электропитания; 10 – отбрасыватель; 11 – ротор; 12 – гайка; 13 – отверстия; 14 – пластины упругие; 15 – перегородки отражательные; 16 – датчик скорости – катод; 17 – манипулятор микровинтовой; 18 – миллиамперметр М254; 19 – анод; 20 – реостат; 21 – элемент гальванический; 22 – винт; 23 – термометр

ного экспериментального исследования параметров полей скорости, концентрации и массовых потоков в процессах перемешивания реологически сложных сред и композиций.

Данная работа представляет результаты применения электрохимического метода для изучения закономерностей гидродинамических процессов при приготвлении реологически сложных технологических сред и композиций в кавитационном диспергаторе, разработанном на кафедре "Гидравлика" Белорусского политехнического института [3], при использовании модельных жидкостей.

Экспериментальная установка (рис. 1) состоит из электродвигателя постоянного тока 4 с регулируемой частотой вращения $n =$

= 0—5000 об/мин и корпуса 1, в котором размещен рабочий орган — ротор 11, закрепленный на валу электродвигателя и удерживаемый при помощи трех подшипников 3 от радиальных биений во время вращения. Ротор 11 представляет собой в верхней части горизонтально расположенный полый диск, а в нижней — диффузор (труба Вентури), плавно переходящий в диск ротора. В нижней части диффузора установлен винт 22, в верхней части корпуса 1 — крышка 2. В нижней части корпуса имеются патрубки ввода перемешиваемых сред и выпуска приготовленной смеси. В самом корпусе кавитизатора размещаются четыре съемные отражательные перегородки 15, а под вращающимся ротором по периметру корпуса — короткие упругие разноориентированные пластины 14. Частота вращения контролируется при помощи цифрового электронного тахометра ТЦ-3м с точностью отсчета ± 5 об/с.

Для измерения характеристик скоростного поля течения во время реализации процесса перемешивания служит электрохимический датчик скорости 16, перемещаемый в горизонтальной плоскости от нижнего края диффузора, практически, до стенки корпуса. Сигнал с датчика фиксируется при помощи стандартной электрохимической ячейки 18-21 и шлейфового осциллографа Н041У4.2. Электрическая схема измерения диффузионного тока на датчике аналогична использованной в опытах по определению характеристик поля скорости при движении в трубе [4]. Сам датчик представляет собой микроэлектрод — катод клиновидной формы, выполненный из платиновой полоски шириной 1 мм и длиной 0,09 мм, расположенной параллельно передней кромке датчика на расстоянии 0,3 мм от нее. Датчик крепится к штоку 17 микровинтового манипулятора и ориентирован рабочей частью навстречу набегающему потоку жидкости. Предварительная тарировка проводилась на гидродинамическом стенде типа "затопленная струя" для каждого типа модельной жидкости.

Для изучения особенностей развития и протекания технологических процессов, необходимых для оптимизации режимов работы кавитизатора, в проведенных исследованиях использовались модельные рабочие среды с ньютоновскими свойствами (водный электролит на основе солей феррицианидов) и неньютоновскими (чистовязкий полимерный раствор полиакриламида с концентрацией $C = 0,1$ %, имеющий вязкость, близкую к вязкости воды, а также нелинейновязкопластичные (2,5 и 4,5 %) суспензии бентонитовой глины Na-формы). Вязкость таких бентонитовых суспензий значительно отличается от вязкости воды [5], и в области скоростей сдвига (от 100 с^{-1} до 1300 с^{-1}) реологические кривые течения для бентонитовой (2,5 и 4,5 %) суспензии описываются уравнением Шведова-Бентама в виде $\tau = 66,13 + 0,43\dot{\gamma}$ и $\tau = 9,42 + 0,064\dot{\gamma}$ соответственно.

Независимо от реализуемого процесса смешения установка функционирует по следующей схеме. После загрузки исходных компонентов в корпус смесителя и включения электродвигателя

во вращающийся рабочий орган — трубу Вентури из нижней части корпуса начинают поступать перемешиваемые среды. Происходит это за счет разряжения, возникающего в результате действия центробежных сил во вращающемся роторе, и при помощи высокооборотного винта 22. Жидкость подается в область пониженного давления во внутреннем объеме ротора, поднимается по трубе Вентури выше уровня жидкости в самом корпусе и попадает в полость диска 11, где, отбрасываясь на его периферию через сливные отверстия 13, выбрасывается и, ударяясь о короткие упругие пластины 14, распыляется в газовой фазе, падает и перемешивается в верхних слоях приготавливаемого состава.

Следует особо отметить, что интенсификация процесса перемешивания в этом случае происходит за счет воздействия на циркулирующую в трубе Вентури исходную среду при помощи гидродинамической кавитации, возникающей на кромках высокооборотного винта, в узкой части трубы Вентури и на искусственных шероховатостях внутренней поверхности ротора, что в сочетании с обычным процессом смешения в корпусе и перекачивания компонентов через центральный рабочий орган приводит к качественному смешению, диспергированию или эмульгированию исходных составляющих (в зависимости от их качественного состава) при уменьшении времени перемешивания.

Оценка эффективности применения перемешивающих устройств в большинстве случаев основана на решении задачи переноса, описываемой в наиболее общем случае уравнением

$$dC/dt = D_T d^2 C/dx^2,$$

в которое при определении коэффициента турбулентной диффузии D_T , кроме длины перемешивания l , входит абсолютное значение градиента скорости в направлении $X - dU/dx$, так как

$$D_T = l^2 |dU/dx|.$$

Поэтому одним из условий проведения гидродинамического расчета работы быстроходных перемешивающих устройств, к которым относятся кавитизаторы, является изучение осредненных характеристик поля скорости в объеме аппарата. С этой целью в настоящей работе были выполнены экспериментальные исследования поля скорости в корпусе вышеописанного устройства в случае наличия в нем четырех отражательных перегородок и без них для всех модельных растворов. Полученные данные были обработаны и представлены в виде графиков (рис. 2 и 3) с безразмерными координатами

$$|U_x/U_{\max}| = f(x/R),$$

где U_{\max} — максимальное значение продольного профиля скорости; U_x — значение скорости в точке, удаленной от нижнего края

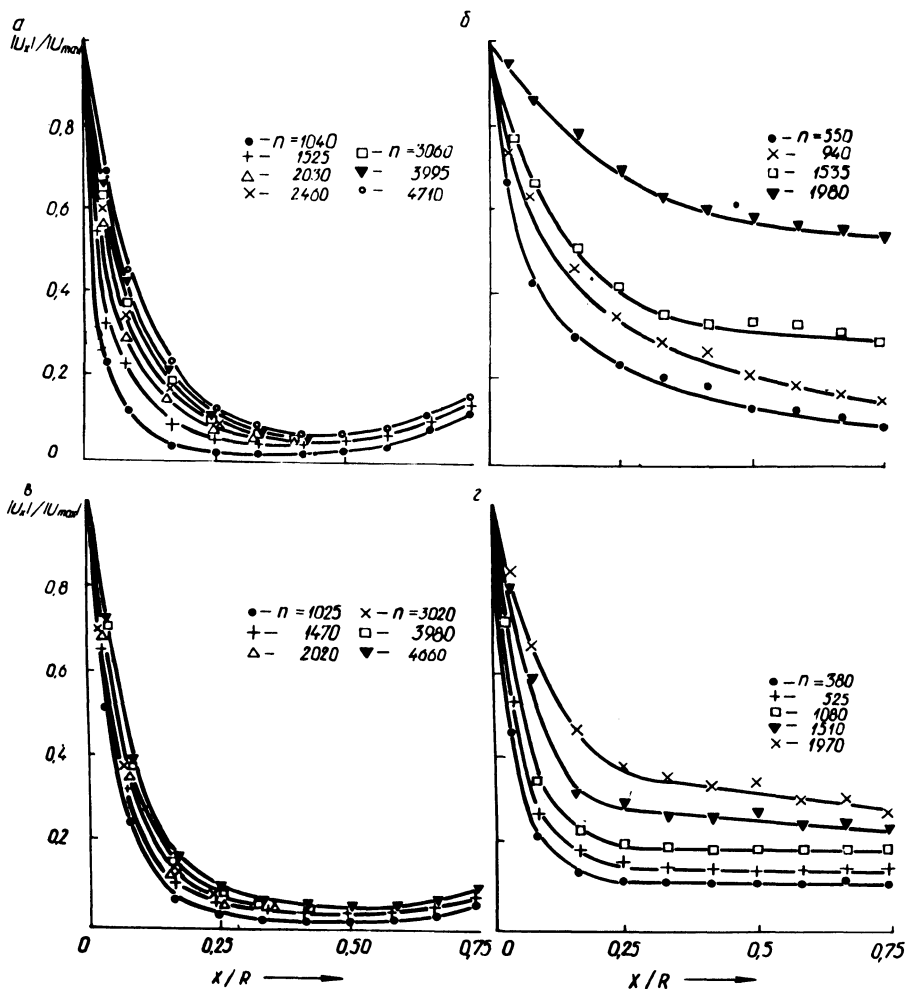


Рис. 2. Профили скорости в корпусе смесительного аппарата:

а - с отражательными перегородками; б - без перегородок; а, в - для водного электролита; б, з - для полимерного раствора

ротора на расстоянии x ; R - расстояние от оси корпуса до его стенки 1.

Анализируя полученные зависимости, можно отметить следующее. В случае использования раствора электролита (см. рис. 2, а) скорость по мере удаления от вращающейся трубы Вентури быстро затухает и уже на расстоянии $x \approx (0,1-0,15) R$ уменьшается на 70-80 %, а при $x \approx (0,4-0,5) R$ достигает минимального значения, и распределение относительной скорости незначительно зависит от частоты вращения ротора, имея практически автомодельный вид.

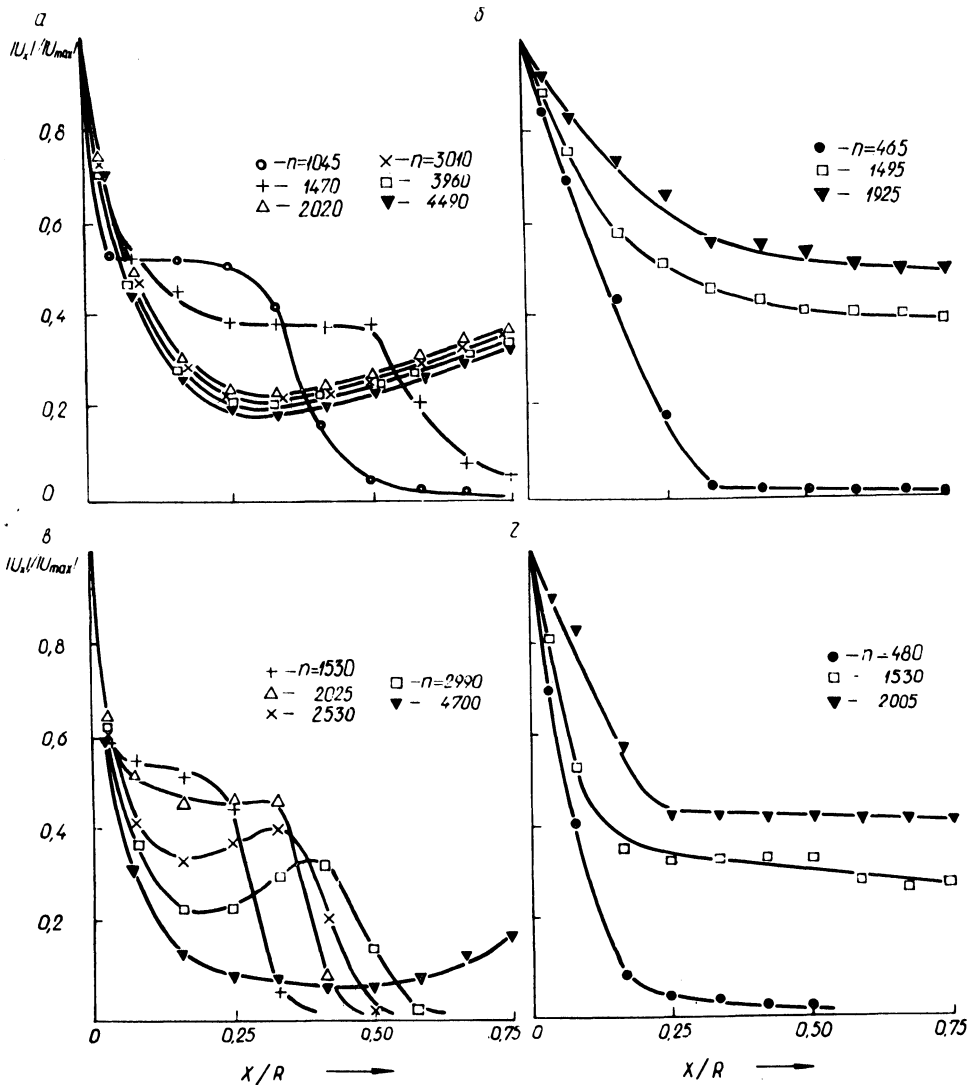


Рис. 3. Профили скорости в корпусе смешательного аппарата:

a – с отражательными перегородками; *б* – без перегородок; *a, в* – для глинистой суспензии $C = 2,5\%$; *б, г* – для глинистой суспензии $C = 4,5\%$.

При отсутствии отражательных перегородок (см. рис. 2, б) жидкость в корпусе закручивается трубой Вентури, падение скорости потока становится более плавным с минимумом на стенке и существенно зависит от частоты вращения. При $n > 2000$ об/мин наблюдается выброс жидкости через верхнюю крышку корпуса 2 (см. рис. 1), что является весьма нежелательным. Для слабвязкого раствора полимера (см рис. 2, в, г) рассмотренные зависимости

являются аналогичными, причем за счет специфического свойства использовавшегося полимера — снижения гидродинамического сопротивления — влияние скорости вращения в обоих случаях менее выражено.

Свойства перемешиваемой жидкости оказывают существенное влияние на величину скорости в кавитизаторе и характер ее распределения. Так, для нелинейновязкопластичной (2,5 %) бентонитовой суспензии (см. рис. 3, б) в корпусе без отражательных перегородок наблюдается ограниченная зона сдвигового течения ($n = 465$ об/мин), тогда как на периферии (около стенки корпуса) суспензия не вращается и, находясь в спокойном состоянии, образует застойные зоны. При наличии отражательных перегородок (см. рис. 3, а) такие застойные зоны увеличиваются в размерах и сохраняются до 2000 об/мин.

Для более вязкой (4,5 %) бентонитовой суспензии (см. рис. 3, в), у которой реологический фактор выражен сильнее, застойные зоны в корпусе с отражательными перегородками выражены более ярко и отсутствуют только при максимальной частоте вращения трубы Вентури ($n = 4700$ об/мин).

Таким образом, анализируя представленные экспериментальные данные, можно судить о характере и структуре течения в объеме смесительной камеры аппарата в случае выполнения рабочего органа в виде вращающейся трубы Вентури.

Используя полученные зависимости (см. рис. 2, 3), можно при известной скорости U_{\max} для каждого типа жидкости определить значение скорости практически в любой точке сечения, а следовательно, получить значение градиента скорости и оценить эффективность работы самого смесителя.

Наиболее эффективная работа такого типа реализуется в случае наличия в корпусе отражательных перегородок, которые оказывают влияние на структуру вращающегося потока за счет образования отдельных циркуляционных зон, в которых скорость течения имеет знакопеременную ориентацию, что способствует более интенсивному протеканию самого процесса смешения. Кроме того, в случае установки отражательных перегородок становится возможным значительно увеличить скорость вращения ротора до $n \approx 4000$ — 5000 об/мин, что сказывается как на качестве приготовления смешиваемой среды, так и на уменьшении удельных энергозатрат за счет сокращения времени перемешивания. Характеристика разработанного смесительного аппарата позволяет судить о его перспективном применении в различных областях народного хозяйства, где используются процессы растворения, эмульгирования и диспергирования, в частности в составе комплекса очистных и водохозяйственных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильцов Э.А., Ушаков В.Г. Аппараты для перемешивания жидких сред. — М., Машиностроение, 1979. — С. 40.
2. А р з у м а н о в Э.С.

Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях. — М., 1978. — С. 273.
 3. Положительное решение от 24.12.87 по заявке № 4184365/31-26 (013598).
 4. З в е р х о в с к и й Ю.Е. Измерение реодинамических характеристик вязкопластичных глинистых суспензий с помощью электрохимического метода // Реофизика / ИТМО АН БССР. — Мн., 1977. — 36 с. 5. З в е р х о в с к и й Ю.Е. Исследование реологических свойств глинистых электропроводных суспензий // Реофизические исследования / ИТМО АН БССР. — Мн., 1974. — 100 с.

А.В. КОПЫТОВСКИХ, В.Т. КЛИМКОВ

ФИЛЬТРАЦИЯ В ВОЛОКНИСТОМ ПОРИСТОМ ПОЛИЭТИЛЕНЕ (ФИБЕЛЕНЕ)

Характерной особенностью работы фильтрующих элементов поглощителей поверхностного стока с использованием тонких структурных фильтров, в частности фильтров из волокнистого пористого полиэтилена (фибелена), является то, что действующий напор может многократно превосходить толщину фильтрующего элемента или длину пути фильтрации. Поэтому важнейшая задача фильтрационных исследований — определение коэффициентов фильтрации, установление режимов и критических значений градиентов напора, соответствующих переходу от ламинарного (линейного) режима фильтрации к переходному (доквадратическому) и далее к турбулентному (квадратическому).

Исследования проводились на фильтрационном приборе для определения водопроницаемости фильтров при нормальной фильтрации чистой воды снизу вверх (рис. 1). Прибор состоит из корпуса 1, перфорированных диафрагм 2 и пьезометров П1 и П2. Диаметр рабочей части образца фильтра 40 мм.

Исследуемый образец фильтра помещался в корпусе прибора между диафрагмами с отверстиями. Площадь последних составляла 80—85 % от общей площади поверхности диафрагм. В фильтрационный прибор вводились игольчатые пьезометры для определения пьезометрических напоров в точке. Пьезометры устанавливались на фиксированных расстояниях один от другого с обеих сторон поверхности исследуемого материала. Каждая игла имела дву-

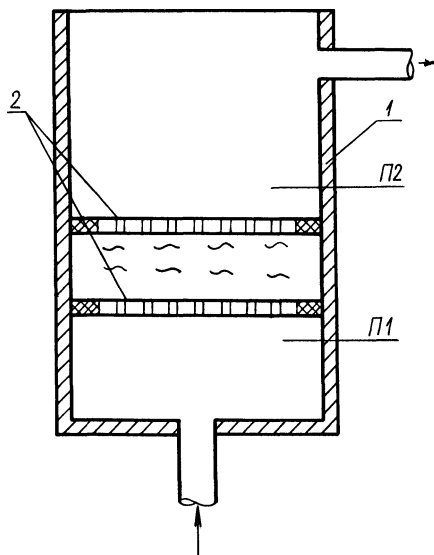


Рис. 1. Схема фильтрационного прибора

сторонний выход к пьезометрическому щиту, для того чтобы избежать случайных ошибок в показаниях пьезометров. Если же два пьезометра от одной пьезометрической иглы давали разные отсчеты, то показания по крайней мере одного из них были ошибочны и принимались меры к устранению причин, вызывающих эту ошибку.

В состав фильтрационной установки входил также напорный бак, с помощью которого регулировался рабочий напор. В целях предотвращения попадания в прибор вместе с фильтром механических примесей в бак предусмотрен фильтр из двух-трех слоев стеклохолста. После установки исследуемого образца прибор заполнялся водой с дальнейшим выдерживанием в течение 24 ч для удаления заземленного воздуха. На стадии рабочего этапа устанавливался требуемый напор и производились замеры. В опытах фиксировались температура воды, перепад давления, объем профильтровавшейся воды и продолжительность опыта, а затем определялись расход и скорость фильтрации.

На основании полученных данных построены графические зависимости $v_{\phi} = f(I)$ (рис. 2 и 3), которые свидетельствуют о том, что во всех исследованных образцах волокнистого полиэтилена (фибелена) имеются начальные участки, на которых величины скорости фильтрации v_{ϕ} и градиента напора I линейно связаны и описываются зависимостью

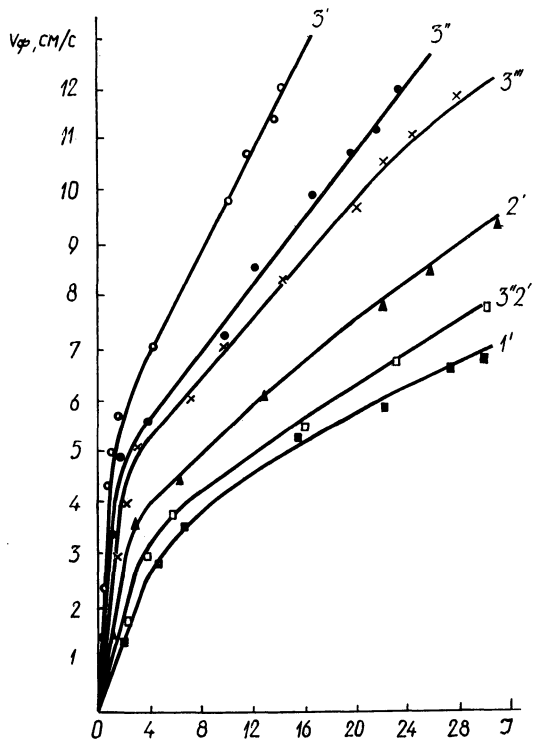
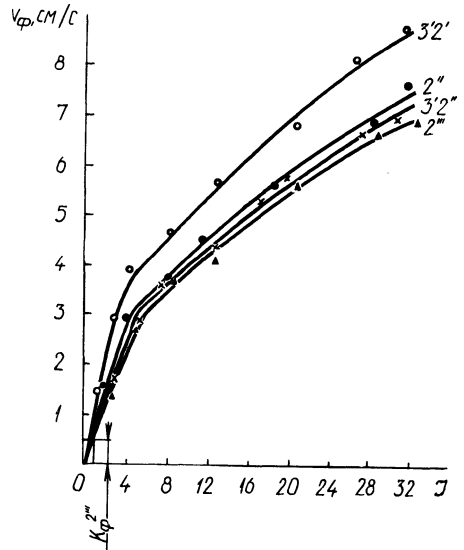


Рис. 2. Графики зависимости скорости фильтрации от градиента напора в одно-, трехслойных материалах

Рис. 3. Графики зависимости скорости фильтрации от градиента напора в двух-, трехслойных материалах.



$$v_{\phi} = k_{\phi} I, \quad (1)$$

где k_{ϕ} — коэффициент фильтрации, соответствующий линейному (ламинарному) режиму работы фильтра.

Методика и порядок графического определения значения k_{ϕ} для всех исследованных образцов фильтроматериалов заключается в определении скорости фильтрации, соответствующей единичному градиенту напора и численно равной коэффициенту фильтрации k_{ϕ} . На рис. 3 показан принцип определения значения k_{ϕ} для образца фильтра с индексом 2'''. Аналогично были найдены значения коэффициентов фильтрации для остальных образцов.

При определении значений коэффициентов фильтрации использовалась также и двучленная зависимость. Экспериментально доказано, что при движении жидкости через пористую среду градиент гидродинамического давления при всех режимах фильтрации во всем диапазоне чисел Рейнольдса может быть описан следующей двучленной зависимостью (1), (2), (3):

$$I = av_{\phi} + bv_{\phi}^2, \quad (2)$$

где $a = 1/k_{\phi}$ — величина, обратная коэффициенту фильтрации при линейном (ламинарном) режиме фильтрации; $b = 1/k_{\phi \cdot \tau}$ — величина, обратная коэффициенту фильтрации при квадратичной (турбулентной) фильтрации. Разделив уравнение (2) на v_{ϕ} :

$$I/v_{\phi} = a + bv_{\phi}, \quad (3)$$

получим уравнение прямой линии. Следовательно, если движение жидкости через волокнистый пористый полиэтилен действительно

Табл. 1. Результаты фильтрационных исследований

Индекс фильтра	Коэффициент фильтрации		Критические градиенты напора	
	ламинарной, см/с	турбулентной, см/с ²	$I_I^{кр}$	$I_{II}^{кр}$
1'	0,72	0,016	5,0	7,2
2'	1,3	0,029	2,9	4,3
2''	0,82	0,017	3,2	5,2
2'''	0,65	0,015	4,1	6,9
3'	4,4	0,099	1,3	2,4
3''	3,0	0,060	1,6	2,9
3'''	2,4	0,051	2,1	4,0
3' 2'	1,1	0,024	2,6	4,1
3'' 2'	0,92	0,020	3,6	4,7
3' 2''	0,73	0,016	4,0	6,3

Примечание. Количество штрихов в индексе фильтра соответствует количеству слоев материала.

подчиняется двучленной зависимости (2), то опытные точки, полученные в результате исследований, должны ложиться на графиках $I/v_{\phi} = f(v_{\phi})$ на прямую линию.

На основе зависимости (3) для всех исследованных фильтроматериалов методом наименьших квадратов определены коэффициенты a и b , а также коэффициенты ламинарной и турбулентной фильтрации k_{ϕ} и $k_{\phi \cdot \tau}$. Далее по формуле (2) вычислены критические значения градиентов напора $I_I^{кр}$ и $I_{II}^{кр}$, соответствующие переходу от линейной (ламинарной) фильтрации в зону переходного (доквадратичного) и далее в зону турбулентного (квадратичного) режима. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1.

Исследованные образцы фильтров имеют коэффициенты фильтрации в диапазоне 550—3800 м/сут и превосходят такие высоководопроницаемые фильтроматериалы, как стеклоткани СС-1, ССТЭ-6 и стеклохолсты ВВГ, ВВК (коэффициенты фильтрации 30—2500 м/сут) [2]. Установлено, что все исследованные образцы характеризуются участками линейной (ламинарной), доквадратичной (переходной) и квадратичной (турбулентной) фильтраций с критическими градиентами напора $I_I^{кр} = 1,3-5,0$ и $I_{II}^{кр} = 2,4-7,2$. Полученные значения коэффициентов фильтрации соответствуют квадратичному (турбулентному) режиму, что дает возможность рассчитывать значения скоростей фильтрации, необходимые для назначения рабочих размеров фильтрующих элементов сооружений, предназначенных для перевода поверхностного стока в дренажный и работающих в затопленном режиме при высоких градиентах гидродинамического давления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов Н.Д. Гидравлические исследования фильтров блочного типа // Гидротехника и мелиорация. — 1961. — № 4. — С. 38—47.
2. Пивовар Н.Г., Бугай Н.Г., Рычко В.А. Дренаж с волокнистыми фильтрами.— Киев, 1980. — 216 с.
3. Ляпидевский Б.В. Дренажные фильтры из керамзитостекла // Реферат. сб. ЦНИИС. — 1969. — Вып. 3.

УДК 628.334.5

И.Е. ЛУРЬЕ

О РАСЧЕТЕ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОТСТОЙНИКОВ С ТОНКОСЛОЙНЫМИ БЛОКАМИ

Применение тонкослойных блоков в отстойниках разных типов является одним из наиболее эффективных направлений интенсификации процессов осветления. Из известных схем работы тонкослойных блоков — противоточной, прямоточной, перекрестной — для горизонтальных отстойников наибольший интерес представляет последняя. При перекрестной схеме наклонные пластины тонкослойного блока устанавливаются вдоль направления потока, осветляемая жидкость движется горизонтально, а оседающие и всплывающие взвешенные частицы сползают вниз и поднимаются вверх в направлении, перпендикулярном к направлению движения жидкости. В результате этого практически исключается отрицательное воздействие потока на процессы осветления, которое имеет место, например, при противоточной схеме, когда поток осветляемой жидкости и сплзающий осадок движутся навстречу друг другу.

В СНиП 2.04.03-85 "Канализация. Наружные сети и сооружения" [1] приводятся расчетные данные для проектирования канализационных отстойников, оборудованных тонкослойными блоками, однако формула (35) для расчета отстойников с тонкослойными блоками при перекрестной схеме работы нуждается в уточнении.

Ниже приводится вывод формулы для расчета тонкослойных блоков при перекрестной схеме работы.

Тонкослойный блок является разновидностью горизонтального отстойника, и процессы отстаивания в нем описываются известным уравнением

$$L = vh/U_0, \quad (1)$$

где L — длина участка, на котором происходит выпадение взвеси; v — фактическая средняя скорость движения воды; U_0 — гидравлическая крупность выпадающих загрязнений; h — высота слоя осадения (глубина отстойника).

Применительно к перекрестной схеме тонкослойной загрузки

$$h = h_{ti} / \cos \alpha, \quad (2)$$

где h_{ti} — высота яруса тонкослойного блока (расстояние между пластинами по нормали к плоскости пластин), м; α — угол наклона пластин (рис. 1).

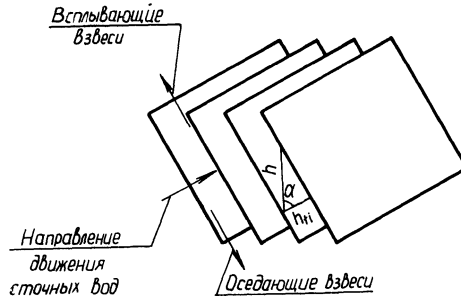


Рис. 1. Угол наклона пластины

При подстановке (2) в (1) получается следующая зависимость для определения длины тонкослойного блока abl :

$$a_{bl} = \frac{v h_{ti}}{U_0 \cos \alpha}. \quad (3)$$

Выражая скорость через расход и геометрические размеры тонкослойного блока при перекрестной схеме, получим

$$L_{bl} = \frac{q_{slt} h_{ti}}{3,6 B_{bl} H_{bl} U_0 \cos \alpha}, \quad (4)$$

где B_{bl} и H_{bl} — соответственно ширина и высота всего тонкослойного блока, м; q_{slt} — расход, м³/ч; U_0 — гидравлическая крупность, мм/с; h_{ti} и L_{bl} — в м.

При обычно принимаемом угле наклона пластин 60° $\cos \alpha = 0,5$. Тогда

$$L_{bl} = \frac{q_{slt} h_n}{1,8 B_{bl} H_{bl} U_0}. \quad (5)$$

Вводя в соответствии с п. 6.61 [1] коэффициент использования объема K_{sh} , коэффициент сноса выделенных частиц K_{dis} и решая выражение (5) относительно расхода, получаем

$$q_{slt} = \frac{1,8K_{slt}B_{bl}H_{bl}L_{bl}U_0}{K_{dis}h_{ti}} \quad (6)$$

Формулу (6) предлагается включить в СНиП 2.04.03-85 взамен приведенной в п. 6.62 СНиП формулы (35), которая является неверной.

При проектировании первичных отстойников расчетная гидравлическая крупность U_0 определяется по формуле (30) [1].

При проектировании вторичных отстойников предельную гидравлическую крупность осаждаемых частиц для заданной величины выноса желательно определять опытным путем, поскольку седиментационные характеристики активного ила могут быть различными в зависимости от состава сточных вод, режима протекания процессов очистки в аэротенке и др.

Для определения гидравлической крупности частиц активного ила при очистке городских сточных вод могут быть использованы данные, приведенные в [2]. Согласно графику (см. рис. 1), приведенному в указанной работе, при обычно допускаемом выносе из вторичных отстойников 10—15 мг/л расчетная гидравлическая крупность U_0 в формуле (6) составляет соответственно 0,7 — 0,9 мм/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. Госстрой СССР. — М., 1986.
2. Калицун В.И., Николаева В.Н., Омарова М.А. Расчет и конструирование радиальных отстойников с тонкослойными полочными блоками: Экспресс-информация / ВНИИИС Госстрой СССР. Сер. 9. — 1984. — Вып. 8. — С. 13—19.

УДК 532.522:532.135

В.В.КУЛЕБЯКИН, А.В.КАРПЕЧЕНКО, В.В.ВЕРЕМЕНЮК

ОСОБЕННОСТИ ЗАТОПЛЕННЫХ СТРУЙ ПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ И ГЛИНИСТЫХ СУСПЕНЗИЙ

В практической гидротехнике встречаются случаи истечения через водоспускные отверстия затопленных струй аномально-вязких жидкостей. Так, пропуск паводковых расходов признано целесообразным осуществлять с использованием добавок, снижающих гидродинамическое сопротивление, — водорастворимых полимеров. В период снеготаяния при опорожнении водохранилищ жидкость, как известно, содержит большое количество мелкодисперсных неорганических частиц и зачастую характеризуется всем комп-

лексом признаков вязкопластичной среды. Целью настоящей работы было изучение турбулентных затопленных струй полимерных растворов полиэтиленоксида WSR-301 (ПЭО), полиакриламида *Separan AP273* (ПАА) и суспензии бентонита.

Специфика исследуемых сред заставила проводить эксперименты на двух установках: в первом случае движение побуждалось гравитацией, а в другом — центробежным насосом. Использование зондового датчика в виде комбинации трубки полного напора (Пито) с вмонтированным пьезодатчиком позволило определить поля скоростей. Такая конструкция впервые использована Уэллсом [1]. Интенсивность турбулентности, как вытекает из анализа уравнения движения идеальной жидкости, связана с пульсациями давления P' выражением

$$\frac{U'}{U} = \frac{P'}{\rho U^2} ,$$

где U' — продольная компонента пульсационной скорости; U — среднее значение скорости; ρ — плотность.

Опыт измерения параметров движения потоков с примесями свидетельствует о занижении показаний трубок Пито из-за блокировки их приемных отверстий [2]. Измерители подобного типа нельзя применять без предварительной тарировки. Она осуществлялась при помещении датчика в начальный участок затопленной полимерной струи. Истинное значение скоростного напора определялось из выражения

$$P_0 = P_{\text{изм}} / (1 - K) ,$$

где $K = P_0 - P_{\text{изм}} / P_0$ — коэффициент, зависящий от скорости истечения и свойств среды.

Использование трубок полного напора в классическом варианте в ярко выраженных аномальных средах типа глинистых суспензий невозможно уже по причине наличия предельного напряжения сдвига, поэтому пришлось изменить методику измерений. Основная задача — устранение попадания аномальной жидкости в приемное отверстие — решалась следующим образом. При перекрытом приемном отверстии пьезометрический столб предварительно заполнялся дисперсионной средой (водой) выше ожидаемой отметки отсчета. В установившемся режиме течения после открытия указанного отверстия происходило опускание уровня в пьезометре до уравновешивания с полным напором набегающего потока. Последующее перемещение зонда осуществлялось только в направлении уменьшения скоростного напора — при удалении от оси движения либо от источника струи. Тогда вытекание воды из пьезометра через приемное отверстие исключало блокировку непосредственно воспринимающего воздействие потока элемента. Уменьшавшаяся в ходе опытов концентрация дисперсной фазы после ряда отсчетов восстанавливалась дополнительным введением глины.

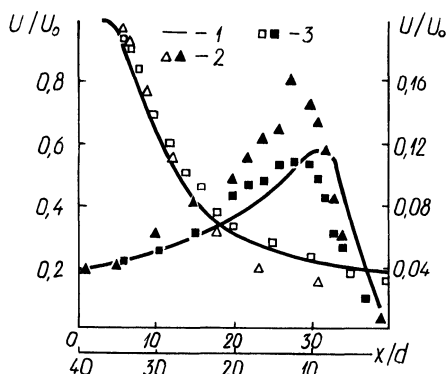
Электродиффузионная анемометрия удобна прежде всего благодаря высокой информативности, а также имеющемуся опыту ее применения в полимерных и глинистых растворах [3, 4]. В зависимости от конструктивного исполнения, заделки и расположения датчиков этим методом удается измерять осредненные и флуктуационные значения массообмена, скорости и трения. Клиновидный зонд с отнесенным от кромки платиновым микроэлектродом размером 50×150 мкм в настоящей работе использовался для определения полей скоростей в затопленных струях глинистой суспензии. Тарировка в потенциальном ядре показала несколько заниженную чувствительность анемометра в сравнении с классическими жидкостями. Величина регистрируемого диффузионного тока i связана со скоростью: $i \sim U^n$ при $n = 0,37$ (для воды показатель степени обычно приближается к 0,5). Интенсивность турбулентности находилась по измеренным среднеквадратичным значениям пульсаций напряжения V' , снимаемого с нагрузки 1 кОм из соотношения

$$\frac{U'}{U} = \frac{1}{n} \cdot \frac{V'}{1000i}$$

Результаты измерений локальной скорости и продольной составляющей ее флуктуаций представлены на рис. 1. Ввод полиоксэтилена сопровождался повышением дальности до $x/d \sim 12$ (x — продольная координата, d — выходной диаметр сопла) и заметным обратным эффектом при больших удалениях. Судя по измерениям продольной составляющей пульсационной скорости об-

Рис. 1. Осевые распределения средней (значки слева) и продольной составляющей пульсационной (значки справа) скоростей и в затопленной полимерной струе. Измерения трубкой полного напора со встроенным пьезодатчиком:

1 — вода; 2 — ПЭО WSR-301 C = 0,01 % вес.; 3 — ПАА Separan AP 273 C = 0,01 % вес. $U_0 = 4,8$ м/с, $d = 3$ мм.



ласть потенциального ядра вырождается позже из-за подавления их на начальном участке. Более резкое, чем для воды, падение средней скорости после 12 калибров — следствие существенного увеличения осевой компоненты флуктуаций. Отчетливое смещение максимума интенсивности турбулентности свидетельствует, что участок движения потока сравнительно компактной массой сохраняется дольше. Аналогичны результаты [5], где изучено влияние близких

по концентрации и тождественных по составу добавок на поля скоростей вдоль оси затопленной струи. Что касается полиакриламида, его ввод в поток способствовал сохранению повышенных значений средней скорости по сравнению с водой до $x/d \sim 25$ за счет еще более заметного подавления пульсаций на начальном участке. Отметим, что непосредственно на выходе из сопла интенсивность турбулентности полимерных струй выше соответствующих значений для воды.

Неоднозначная роль добавок, снижающих гидродинамическое сопротивление, подтверждается измерениями профилей скоростей. Распределение для полимерных струй принимает более четко выраженный пиковый вид за счет сохранения начальной скорости истечения до пяти калибров; уменьшается толщина слоя смешения. Для полностью развитой струи ($x/d = 30$) характерна обратная картина — уменьшение средней и рост продольной составляющей пульсационной скорости практически во всей области движения. Профиль интенсивности турбулентности поперек потенциального ядра имеет минимум на оси и максимум, соответствующий наибольшей скорости сдвига. По мере развития течения экстремумы вырождаются, что связано, во-первых, с исчезновением потенциального ядра и, во-вторых, со сглаживанием профилей локальной скорости. Пульсации на небольших удалениях приурочены главным образом к слою смешения и обусловлены регулярным вихреобразованием в нем. Перечисленные отличия можно в полной мере отнести к растворам полиакриламида с той разницей, что повышенная дальнобойность сохраняется значительно дольше.

Поперечные распределения скоростей позволили оценить вклад полимерных добавок в процессы массопереноса. Расход жидкости в сечении определялся из выражения

$$Q = 2\pi \int_0^R U^2 r dr,$$

где r — поперечная координата. При этом контролировалось постоянство количества движения путем сравнения с начальным импульсом струи, посчитанным по секундной массе при допущении ступенчатого профиля скорости истечения U_0 :

$$I_0 = \rho \frac{\pi d^2}{4} U_0^2.$$

Легко видеть, что полимерные добавки заметно ограничивают вовлечение окружающих молей в движение за счет подавления поперечных флуктуаций и уменьшения толщины слоя смешения (рис. 2, Q_0 — расход на выходе из сопла).

Как отмечалось, полимеры дестабилизируют поток непосредственно за струеформирующим устройством. Учитывая, что глинистые растворы — микронеднородные среды, в них также следовало ожидать ранней турбулизации, поскольку концентрация приме-

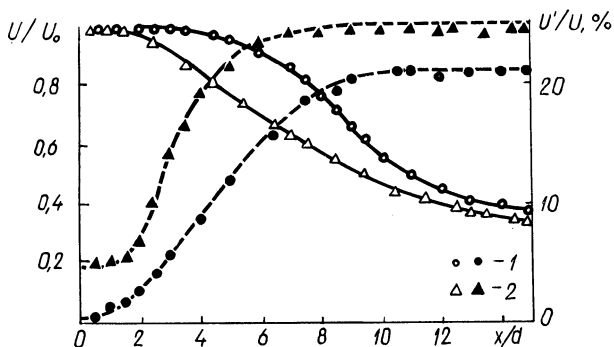
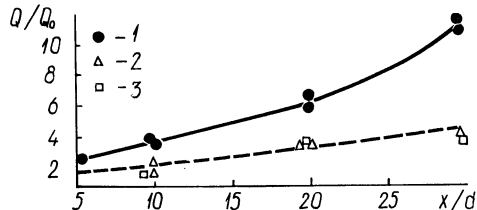


Рис. 2. Влияние полимерных добавок на эжекционную способность затопленной струи: 1 – вода; 2 – ПЭО WSR-301 $C = 0,01$ % вес.; 3 – ПАА Separan AP 273 $C = 0,01$ % вес. $U_0 = 4,8$ м/с, $d = 3$ мм.

Рис. 3. Изменение средней (значки слева) и продольной составляющей пульсационной (значки справа) скоростей вдоль оси затопленной струи. Измерения электрохимическим анемометром:

1 – вода; 2 – суспензия сарыгульского бентонита $C = 4$ % вес. $U_0 = 3,4$ м/с, $d = 4$ мм



си в таких случаях выше на несколько порядков, что и подтвердилось на практике (рис. 3).

Прежде всего отметим очевидное сокращение потенциального ядра до полутора калибров и заметно более высокий темп затухания осевой скорости, чем на воде. В пределах основного участка струи он удовлетворительно описывается законом $-0,786$ в двойных логарифмических координатах. Такое поведение становится понятным, если обратиться к изменению интенсивности турбулентности вдоль оси струи. Пульсации продольной компоненты скорости во всей области движения значительно выше, нежели для воды, причем если для полностью развитой струи отличие в среднем составляет ~ 20 %, то на начальном участке оно многократное. В пределах потенциального ядра сохраняется постоянство интенсивности флуктуаций, равно как после $x/d \sim 6$ (для сравнения на воде – после восьми калибров), а переход с одной площадки на другую более выражен. Учитывая, что распределения пульсаций давления при натекании струи глинистой суспензии на преграду принимают форму, близкую к автоточечной уже на удалениях порядка пяти калибров [6], становится понятным, что течение в этом случае развивается быстрее, чем для обычной жидкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wells G.S., Harkness J., Meyer W.A. AIAA, N 2, 1967. 2. К а л а ш н и к о в В.Н., К у д и н А.М. Об аномальных показаниях трубки Пито в неоднородных жидкостях. — М., 1971. — 17 с. 3. С о б о л е в с к и й А.С. Тарировка электрохимического анемометра в разбавленных полимерных растворах // Реофизика. — Мн., 1977. — С. 31. 4. Г р о з б е р г Ю.Г. Реодинамические характеристики и структура турбулентного течения глинистых суспензий: Дис. ... канд. техн. наук. — М., 1987. — 180 с. 5. Ш у л ь м а н З.П., П о к р ы в а й л о Н.А., К о в а л е в с к а я Н.Д., К у л е б я к и н В.В. Об измерении структуры турбулентного течения затопленных струй полимерных растворов // ИФЖ. — 1973. — № 6. — С. 977—986. 6. П о к р ы в а й л о Н.А., К у л е б я к и н В.В., К а р п е ч е н к о А.В., Б у х м а н Ю.А., А г о ш а ш в и л и Б.Т., Л и т в и н о в А.И. Взаимодействие турбулентных затопленных струй глинистых суспензий с твердой поверхностью // Реофизика полимерных и дисперсных жидкостей. — Мн., 1986. — С. 111—118.

УДК 628.543.2(088.8)

Э.П. ШПАКОВСКИЙ, А.Н. ЛАБУС

ПЕСКОЛОВКА

В соответствии с требованиями строительных норм и правил песколовки должны рассчитываться на задержание песка гидравлической крупностью в пределах 18,7—24,2 мм/с [1]. Повышение эффекта очистки, т. е. уменьшение гидравлической крупности задерживаемых примесей менее 18,7 мм/с, для песколовки является не улучшением, а нарушением ее работы, так как при этом вместе с песком выпадают и органические примеси, приводящие к загниванию осадка.

Также недопустимо проектирование песколовки на задержание примесей гидравлической крупностью более 24,4 мм/с, так как при этом из песколовки будет выноситься с водой повышенное количество песка, что приводит к слеживанию осадка в первичных отстойниках и метантенках и, как следствие, к нарушениям их работы.

Таким образом, предел 18,7—24,2 мм/с, установленный на основании многолетнего опыта эксплуатации песколовки, исходя из условий максимально возможного задержания песка и в то же время незагниваемости осадка, является оптимальным для песколовки и должен выдерживаться как при минимальном, так и при максимальном притоке сточных вод. Известно, что гидравлическая крупность задерживаемых в песколовке примесей определяется по формуле [2]

$$U \sim vH/L, \quad (1)$$

где U — гидравлическая крупность задерживаемых примесей; v — скорость движения воды в песколовке; H — высота отстаиваемого слоя воды; L — рабочая длина песколовки.

Следовательно, для достижения в песколовке задержания определенной гидравлической крупности примесей необходимо поддерживать постоянную проточную скорость движения воды и одинаковую высоту отстаивания, что усложняется при неравномерном поступлении сточных вод на очистные сооружения. Данные условия частично выполняются несколькими способами. Например, путем устройства на выходном канале неподтопленного водослива с широким порогом без донного выступа [3], выключения на период минимального притока сточных вод одного или нескольких отделений песколовки или же за счет регулирования глубины сточных вод соответственно изменению расхода, что может быть достигнуто при помощи специальных шиберов, выполненных из двух вертикальных створок, которые перемещаются горизонтально и изменяют размер выходного отверстия только по ширине [4]. Однако данные методы или же не дают хорошего результата или же значительно усложняют эксплуатацию сооружений.

В ЦНИИ комплексного использования водных ресурсов Минводхоза СССР разработана песколовка (рис. 1), которая независимо от колебаний расхода поступающей на очистку воды обеспечивает постоянную скорость ее движения и высоту отстаивания, что гарантирует, как следует из формулы (1), постоянное значение

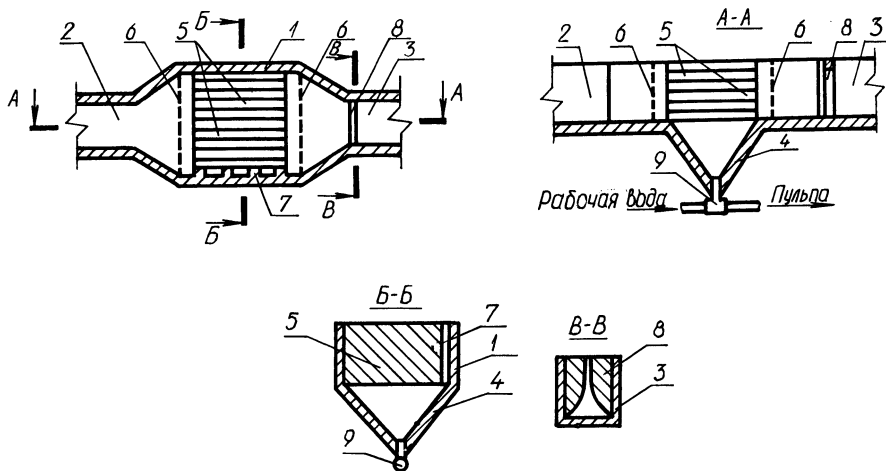


Рис. 1. Песколовка

гидравлической крупности задерживаемых примесей, т. е. стабильный эффект очистки. Песколовка занимает в несколько раз меньший объем по сравнению с традиционными конструкциями равной производительности, что также упрощает процесс сбора и удаления песка. Данная песколовка защищена авторским свидетельством № 1384546.

Песколовка содержит резервуар 1 с входной 2 и выходной 3 камерами, пескосборник 4. Во всей рабочей зоне песколовки находится тонкослойный модуль 5, пластины которого расположены вдоль песколовки и имеют боковой наклон. Перед тонкослойным модулем и за ним имеются водораспределительные решетки 6. Боковая стенка резервуара 1, к которой примыкают нижние кромки тонкослойного модуля, выполнена с внутренней стороны песколовки с вертикальными ребрами 7. В выходной камере 3 расположен пропорциональный водослив 8, в нижней части пескосборника 4 — гидроэлеватор 9.

Песколовка работает следующим образом. Сточная вода через расширяющуюся входную камеру 2 и первую водораспределительную решетку 6 поступает в тонкослойный модуль 5, пластины которого делят всю рабочую зону песколовки на отдельные наклонные отстойные зоны, где происходит осаждение частиц песка на пластины из горизонтально движущейся воды. Частицы песка, осевшие на пластинах, примыкающих нижними кромками к ребрам 7 боковой стенки резервуара, сползают с пластин в свободное пространство между этими ребрами и опускаются в пескосборник 4. С пластин, нижние кромки которых расположены над пескосборником, песок сползает непосредственно в пескосборник. Накопившийся песок удается из устройства с помощью гидроэлеватора 9. Освободившаяся от песка в тонкослойном модуле вода проходит через вторую водораспределительную решетку 6 и пропорциональный водослив 8, установленные в суживающейся выходной камере 3, и удаляется из песколовки.

Выполнение входной и выходной камер соответственно расширяющейся и суживающейся, а также установка в них водораспределительных решеток обеспечивают равномерное распределение потока воды по поперечному сечению рабочей зоны песколовки.

Благодаря тому что пластинами тонкослойного модуля вся рабочая зона делится на отдельные наклонные отстойные зоны, высота отстаивания, которая равна расстоянию между соседними пластинами по вертикали, остается постоянной во всей рабочей зоне независимо от уровня и расхода воды в песколовке.

Установка в выходной камере пропорционального водослива, характеризующегося тем, что величина расхода жидкости, проходящей через водослив, пропорциональна ее уровню перед водосливом, обеспечивает постоянную скорость движения жидкости в песколовке независимо от колебаний расхода поступающей на очистку воды. Например, при максимальном притоке сточных вод Q_1 пропорциональным водосливом создается подпор воды в песко-

ловке, что обеспечивает заполнение водой всего тонкослойного модуля поперечным сечением

$$w_m = H_m B_m ,$$

где w_m — площадь поперечного сечения модуля; H_m — высота модуля; B_m — ширина модуля.

Тогда скорость движения воды в модуле v_1 , определяемая по известной формуле $v = Q_1/w_1$, будет равна

$$v_1 = Q_1/w_1 = Q_1/H_m B_m .$$

При уменьшении расхода воды в n раз ($Q_2 = Q_1/n$) уровень воды перед пропорциональным водосливом, а следовательно, и в тонкослойном модуле также уменьшится в n раз ($H_2 = H_m/n$), а скорость будет равной

$$v_2 = \frac{Q_2}{w_2} = \frac{\frac{Q_1}{n}}{\frac{H_m}{n} B_m} = \frac{Q_1}{H_m B_m} = v_1 ,$$

т. е. независимо от изменения расхода скорость движения жидкости в данной песколовке остается постоянной. При этом, как следует из формулы (1), гидравлическая крупность задерживаемых примесей остается постоянной, так как остаются постоянными длина рабочей зоны и высота отстаивания, которые определяются размерами установленного тонкослойного модуля и расстояния между пластинами в нем.

Табл. 1. Техничко-экономические показатели сравниваемых песколовок

Показатели	Песколовки	
	с горизонтальным движением воды	по авторскому свидетельству № 1384546
Расчетный расход, м ³ /с	0,45	0,45
тыс. м ³ /сут	38,8	38,8
Длина проточной части, м	20,5	2
Ширина песколовки, м	2	2
Высота песколовки, м	0,75	0,75
Площадь сбора песка, м ²	41	4
Строительный объем, м ³	30,75	3
Стоимость, тыс. руб., всего	11	1,52
в том числе строительно-монтажных работ	10,5	1,02

Учитывая, что параметры тонкослойного модуля и пропорционального водослива можно выбрать таковыми, чтобы величина гидравлической крупности была бы равной оптимальному значению, предложенная конструкция песколовки обеспечивает оптимальную и стабильную эффективность очистки.

В связи с многократным уменьшением высоты отстаивания (в предложенной песколовке она равна расстоянию по вертикали между пластинами тонкослойного модуля) соответственно уменьшаются необходимая продолжительность пребывания жидкости в песколовке и ее габариты, что позволяет выполнить днище в виде бункера и отказаться от устройства для сгребания песка.

Технико-экономические показатели предлагаемой песколовки в сравнении с песколовкой с горизонтальным движением воды приведены в табл. 1.

Таким образом, при строительстве предлагаемой песколовки по сравнению с горизонтальной одинаковой производительности затраты на строительство снижаются приблизительно в семь раз, или в расчете на $1 \text{ м}^3/\text{с}$ с пропускной способности на 21 тыс. руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. — 23 с. 2. Яковлев С.В., Карелин Я.К., Жуков А.И., Колобанов С.К. Канализация. — М., 1975. — 225 с. 3. Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И. Примеры расчетов канализационных сооружений. — М., 1987. — 24 с. 4. Яковлев С.В., Калицун В.И. Механическая очистка сточных вод. — М., 1972. — 44 с.

УДК 627.43

И.В. ФИЛИППОВИЧ, ВОНЕСАЙ ВИНТХИЛАТ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ОПАСНОГО ЦЕНТРА КРУГЛОЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ ОТКОСА ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ

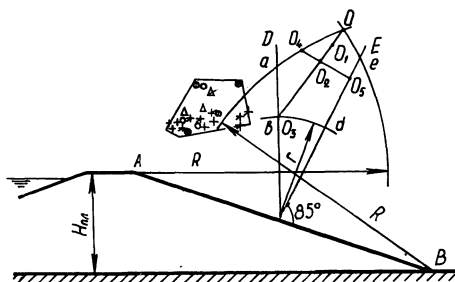
Методы расчета устойчивости склонов и откосов сыпучей среды весьма разнообразны. Наибольшее распространение на сегодня получил метод, рассматривающий устойчивость массива грунта откоса на круглоцилиндрической поверхности скольжения, очерченной радиусом R с некоторого центра O .

Универсальность и простота этого метода заключается в возможности учета всех сил, которые обеспечивают как устойчивость

грунтового массива на откосе, так и участвуют в его обрушении. Метод предложен в 1916 г. шведским инженером Петерсоном, затем совершенствовался и получил развитие в трудах В.В. Аристовского, А.И. Иванова, Р.Р. Чугаева, И.А. Тер-Аракеляна, И.В. Федорова, Г.М. Ломизе, А.А. Ничипоровича, К. Терцаги, Крея, Бишопа, Тейлора, Хуана, Феллениуса и др.

Коэффициент устойчивости грунтового массива определяется как отношение удерживающих моментов сил к сдвигающим относительно центра O поверхности скольжения радиуса R (рис. 1).

Рис. 1. Расчетная область наиболее опасных центров поверхностей скольжения $OedbaO$ по Аристовскому В.В. и опытные, полученные экспериментально на моделях однородной плотины. Условные обозначения: + * * * - $H_{пл} = 25$ см; $\Delta \Delta \Delta$ - $H_{пл} = 37,5$ см; $\circ \Phi \Phi$ - $H_{пл} = 50$ см



Из множества возможных поверхностей скольжения нужно найти такую, для которой коэффициент устойчивости имел бы минимальное значение. Для обеспечения устойчивости откоса в этом случае потребуется изменение либо профиля низового откоса плотины, либо понижение кривой депрессии или принятие других инженерных решений.

По предложению В.В. Аристовского [1] центр наиболее опасной поверхности скольжения располагается в пределах многоугольника (см. рис. 1).

С целью определения области наиболее опасных центров кривых скольжения для однородных низконапорных плотин из песчаных грунтов на песчаном основании в настоящей работе приводятся результаты лабораторных исследований устойчивости откосов, выполненные на физических моделях плотин высотой 25; 37,5; 50 см. Принятая высота моделей обусловлена также желанием экспериментально проверить возможность применения при исследовании устойчивости грунтовых плотин физического моделирования на моделях, геометрически подобных натуре, с того же грунта и в идентичных натурным условиям фильтрации. При соотношении высоты моделей 2:1,5:1 модель высотой 50 см можно было бы считать натурой. Длина модели вдоль оси плотины равна 24 см. Длина лотка 285 см позволяла исследовать модели указанной высоты с заложениями откосов, равными 1:1,5; 1:2 и 1:3 для каждой модели. У модели высотой 50 см ширина верхового клина была ограничена (уменьшена на 25 см) вертикальной стенкой лотка.

Для наблюдения за деформацией низового откоса под действием внешней нагрузки и образованием при этом кривой скольжения

боковые стенки лотка устроены стеклянными. По боковым стенкам лотка свободно подвешивались вертикальные тонкие нити, которые присыпались грунтом модели и могли свободно деформироваться по всей высоте обрушающегося на откосе грунтового массива. При достижении предельного состояния под действием внешней нагрузки, создаваемой рычажным штампом и измеряемой динамометром, часть грунтового массива гребня плотины совместно с откосом начинала сползать вниз, образуя по искривлению нитей на стекле четкую цилиндрическую поверхность скольжения. Наступление предельного состояния фиксировалось также по уменьшению нагрузки, которое отмечалось по показаниям динамометра. Предельная нагрузка на динамометре не превышала 2 кН, напряжения под штампом — 200 кПа. По искривлению нитей в плоскости скольжения вычерчивалась кривая, подбирался радиус и центр поверхности скольжения, измерялись длина дуги и хорды кривой скольжения.

Длина штампа была на 1 см меньше длины модели, т.е. исследования проводились в условиях плоской, а при меньшей длине штампа — полупространственной задачи.

Важно отметить, что в условиях плоской задачи плоскости скольжения были круглоцилиндрическими и совершенно идентичными на обеих боковых стенках лотка, чего не наблюдалось в условиях полупространственной задачи.

Идентичность плоскостей скольжения на противоположных стенках лотка говорит о том, что грунт был однородным, одинаковой плотности по всему объему. Исследования моделей из того же грунта, но с добавлением в него галечника, указывали на аналогичные результаты, но с увеличенными предельной нагрузкой и фильтрацией.

Опыты выполнены в условиях фильтрации с напорами: близкими к высоте плотины, меньшими ее, а также без фильтрации с увлажненным грунтом. Всего на трех моделях с тремя заложениями откосов в условиях фильтрации и без нее было выполнено около 500 опытов.

Для сопоставления положения центров плоскостей скольжения, полученных в опытах, последние наносились на схемы опытных моделей плотин с выделенными по методу В.В. Аристовского областями.

Для иллюстрации несоответствия областей наиболее опасных центров плоскостей скольжения по В.В. Аристовскому и экспериментальных на рис. 1 приводится схема, из которой видно, что многие экспериментальные центры наиболее опасных поверхностей скольжения не входят в область, обозначенную В.В. Аристовским. Пример приведен для моделей плотины с заложением низового откоса 1:3. Для моделей плотин с заложением откосов 1:2 абсолютное большинство центров опасных поверхностей скольжения также не входит в расчетную область, а для модели с заложением откосов 1:1,5 большинство центров охватывается расчетной областью.

Вполне возможно, что рекомендации, данные В.В. Аристовским по определению наиболее опасных поверхностей скольжения, даны лишь для плотин с заложением откосов 1:1,5, а для других они должны быть уточнены. На рис. 1 нанесены все центры поверхностей скольжения, полученные в различных условиях проведения опытов: с фильтрацией, без фильтрации, на верховом и на низовом откосах с заложением 1:1,5. Для каждого из этих центров O получены круглоцилиндрические поверхности скольжения различных радиусов R_i .

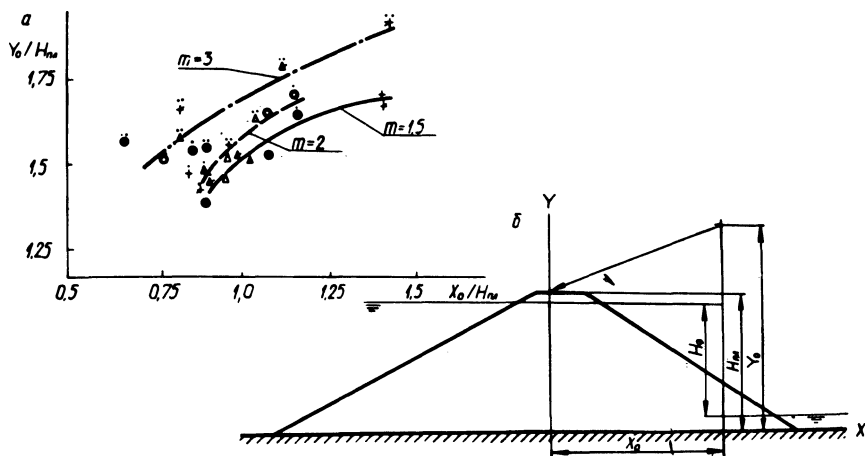
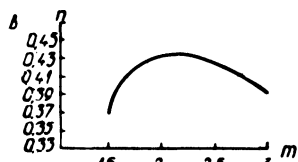


Рис. 2. Данные для определения наиболее опасных поверхностей при обрушении земляных плотин:

a — область применения зависимости (1) для различных заложений откосов; b — расчетная схема наиболее опасного центра поверхности скольжения радиуса R ; v — график для определения показателя степени n в зависимости от заложения откосов плотины m . Условные обозначения: $+$ Δ \circ — без фильтрации; $+$ Δ Φ — с фильтрацией при $H_{\Phi} \approx H_{пл}$; Φ $+$ κ — с фильтрацией при $H_{\Phi} < H_{пл}$; $+$ $+$ $+$ — $H_{пл} = 25$ см; Δ Δ κ — $H_{пл} = 37,5$ см; \circ Φ Φ — $H_{пл} = 50$ см



Статическая обработка экспериментальных данных, полученных на моделях плотин, позволила рекомендовать следующую зависимость, по которой можно определить координаты наиболее опасных круглоцилиндрических поверхностей скольжения (рис.2):

$$\frac{y_0}{H_{пл}} = a \left(\frac{x_0}{H_{пл}} \right) + b, \quad (1)$$

где $H_{\text{пл}}$ — высота плотины от основания до гребня, м; x_0 и y_0 , м — абсцисса и ордината наиболее опасного центра круглоцилиндрической поверхности скольжения, которая захватывает часть гребня и откоса плотины; начало координат находится на пересечении линии, проходящей через подошву плотины (ось абсцисс), с вертикальной линией, проходящей через начало на гребне плотины наиболее опасной круглоцилиндрической поверхности скольжения (ось ординат) (см. рис. 2, б); n — показатель степени, который зависит от коэффициента заложения откоса плотины m , принимается по графику (см. рис. 2, в); a — коэффициент, равный 1,05 b — параметр, зависящий от заложения откоса m (для $m = 1,5-2,0$ $b = 0,5$; для $m = 3,0$ $b = 0,6$).

Отношением $x_0/H_{\text{пл}}$ задаются в зависимости от заложения откоса плотины m : $x_0/H_{\text{пл}} = 0,9-1,4$ для $m = 1,5$; $x_0/H_{\text{пл}} = 0,88-1,2$ для $m = 2,0$ и $x_0/H_{\text{пл}} = 0,7-1,45$ для $m = 3,0$ (см. рис. 2, а).

Определив по зависимости (1) координаты наиболее опасной цилиндрической поверхности скольжения, коэффициент устойчивости обрушающегося грунтового массива определяют как отношение моментов сил, удерживающих массив от сдвига к моменту сил, сдвигающих грунтовой массив относительно центра [2] .

Значения K_s , вычисленные по формуле [2], должны быть в пределах 0,79—1,12, которые получены экспериментально на моделях плотин с обрушившимися грунтовыми массивами по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения, проходящим по гребню плотины и откосу.

ЛИТЕРАТУРА

1. А р и с т о в с к и й В.В. Критическая поверхность скольжения земляных откосов. — Одесса, 1949. — С. 27—33. 2. Гидротехнические сооружения / Под ред. проф. М.М. Гришина. — М., 1979. — 616 с.

УДК 627.18:532.59

Е.М. ЛЕВКЕВИЧ, СИЛЛА МАМАДИ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОКРЫТИЙ ГРУНТОВЫХ ОТКОСОВ НА ВЫСОТУ НАКАТА ВОЛНЫ

Высота наката волны является одним из факторов, определяющих верхнюю границу крепления откосов земляных плотин, дамб и берегов водоемов, подвергающихся действию волн.

Многочисленными исследованиями, проведенными в лабораторных и натуральных условиях [1—19], установлено, что высота наката на пологий откос зависит от высоты волны h , ее длины λ , пологости λ_h , коэффициента откоса m и состояния его поверхности (шероховатости и проницаемости) или его покрытия. В результате исследований получено большое количество формул и методик, по которым можно определять этот важный параметр. Анализ имеющихся зависимостей, проведенный ранее отдельными авторами [3,5—10, 14—16] и нами, показывает, что высота наката растет с увеличением высоты, длины и пологости волны и уменьшается с увеличением крутизны (уменьшением коэффициента m) откоса. Численные значения этих характеристик (волнения и откоса) входят в расчетные зависимости в различных сочетаниях. Что касается влияния шероховатости и проницаемости откоса, то установлено, что с их увеличением высота наката волны также уменьшается. В рекомендациях отдельных авторов [2, 3, 8, 14, 15], в действовавших и действующих нормативных документах [12, 13, 19] эти две характеристики учитываются обобщенным коэффициентом, так как считается, что раздельный их учет не представляется возможным [2, 14, 15, 16]. Вместе с тем при креплении верховых откосов плотин и дамб сборными железобетонными плитами с открытыми швами проницаемость (скважность покрытия), характеризующаяся отношением площади швов и отверстий (при их наличии) $S_{\text{отв}}$ к площади плиты $S_{\text{пл}}$, т. е. $P = S_{\text{отв}}/S_{\text{пл}}$, может достигать до 10% при сравнительно одинаковой шероховатости. На таких покрытиях при накате волны часть воды при движении вверх по откосу проникает через швы в подготовку и в материал откоса, в результате чего накат волны уменьшается [5] по сравнению с накатом на непроницаемое покрытие. В этих случаях высота наката будет зависеть от скважности покрытия, т. е. от ширины швов между плитами, а при наличии отверстий в них — и от площади отверстий.

В связи с тем что в такой постановке этот вопрос не получил достаточного освещения в литературе, нами для его изучения были проведены экспериментальные исследования в лаборатории.

Опыты проводились в волновом лотке размерами 1200 × 32 × 60 см на модели земляной плотины, отсыпанной из песка средней крупности (высота 50 см, ширина гребня 20 см, коэффициент верхового откоса 3, низового — 1,5). На низовом откосе у подошвы укладывался наклонный дренаж на высоту 20 см; на верховом по слою обратного фильтра — бетонная плита толщиной 2,5 см с отверстиями диаметром 0,4 см, располагавшимися через 2 см в обоих направлениях, перекрывающая которые достигалась необходимая в опытах скважность в пределах 0—3%. Для получения скважности 5—10% вместо сплошной плиты укладывались бетонные плитки размерами 10 × 10 × 2,5 см с шириной швов, обеспечивающих необходимую скважность. Опыты состояли в том, что при заданной скважности покрытия при нескольких волновых режимах визуально мерной линейкой измерялась высота наката волны. Опыты про-

водились при глубине 35,0 см, при скважностях покрытия: 0; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 10 %.

На рис. 1 приведены графики зависимости опытных значений высоты наката для различных проницаемостей покрытия и значения, рассчитанные по методикам и формулам, в которых учитывается проницаемость откосов [2, 3], или по формулам, которые получены в сходных условиях. Из графика видно, что проницаемость покрытия оказывает существенное влияние на высоту наката. В табл. 1 приведены опытные величины высоты наката на откос $m = 3,0$ для покрытий и их соотношения при разных высотах волн.

Из таблицы видно, что в пределах значений опытных параметров волн и скважностей покрытия уменьшение высоты наката составило в среднем примерно 30 %. Сравнение опытных данных с расчетными, произведенное аналитически и графически (см. рис.1),

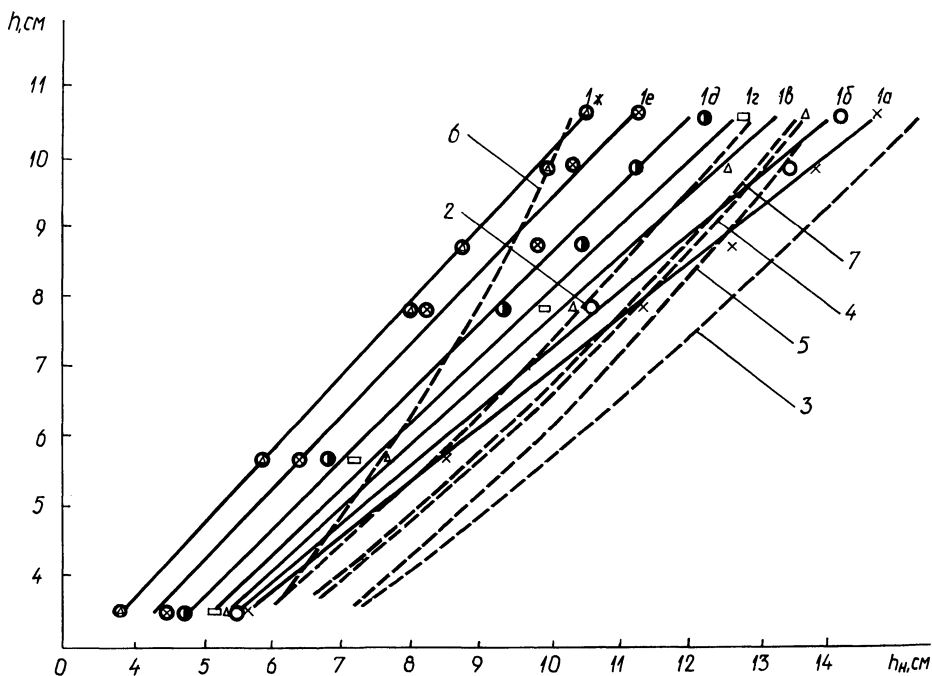


Рис. 1. Графики зависимости высоты наката волны при регулярном волнении на грунтовой откос с проницаемым покрытием по опытным и расчетным данным при $m = 3,0$, $\lambda = 102$ см, $H = 35$ см: опытные – 1а – 1ж, при $P = 0,25 \dots 10$ %; расчетные – по формулам:

2 – П.А. Шанкина [2]; 3 – А.М. Жуковца, Н.Н. Зайцева [3]; 4 – Б.А. Пышкина [4]; 5 – Е.В. Курловича [5]; 6 – В.Л. Максимчука [8]; 7 – СН92-60 [12]. Условные обозначения: X – 1а ($P = 0,25$ %); O – 1б ($P = 0,5$ %); Δ – 1в ($P = 1$ %); □ – 1г ($P = 2$ %); ● – 1д ($P = 3$ %); ⊙ – 1е ($P = 5$ %); ⊕ – 1ж ($P = 10$ %)

Табл. 1. Опытные величины высоты наката на откос $m = 3,0$

Характеристика волн	Высота h , см	3,5	5,6	7,8	8,7	9,8	10,6	
	пологость λ/h	29,1	18,2	13,1	11,7	10,4	9,6	
Характеристика	Высота наката волны $h_{н.о.}$, см							
	Проницаемости покрытий P , %	0,25	5,69	7,75	11,38	12,55	13,72	14,55
	10,0	3,98	5,85	7,1	8,85	9,96	10,59	
$h_{н.о.} 0,25\% - h_{н.о.} 10\%$		30	24,5	37,6	29,5	27,4	27,2	

показало, что общий характер зависимости между высотой наката и характеристиками волн перед откосом при регулярном волнении близок к расчетному, полученному по формулам П.А.Шанкина [2], Б.А. Пышкина [4], Е.В. Курловича [5] и СН 92-60 [12], т. е. по зависимостям, полученным в лабораторных условиях.

Совместный анализ опытных и расчетных данных показал, что для откосов, покрытых плитными проницаемыми покрытиями, влияние пологости волны, заложения откоса и состояния его поверхности отражается характеристиками, входящими в состав вышеперечисленных формул. Влияние проницаемости находится в прямой зависимости от ее величины: при ее росте увеличивается объем воды, протекающей в подготовку через швы, отверстия или трещины, что соответственно уменьшает высоту наката. На рис. 2 приведены значения относительных высот наката ($h_{н.о.р} = h_{н.о.}/h$), полученные при опытных волновых режимах и проницаемостях по-

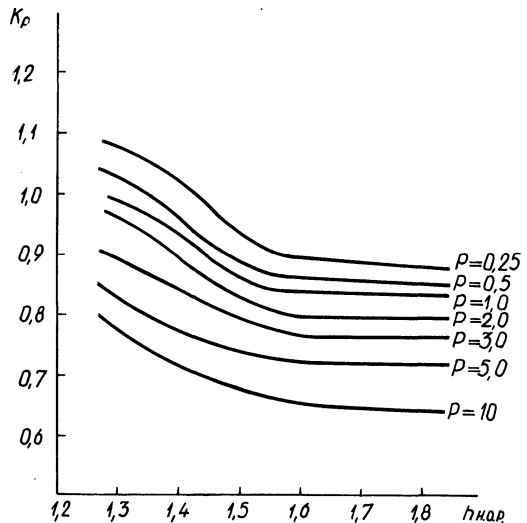


Рис. 2. График зависимости относительной высоты наката от проницаемости покрытия для условий опыта. Условные обозначения: $h_{н.о.}/h$ при $h_{см} = 5,6 - x$; $7,8 - \oplus$; $8,7 - \odot$; $9,8 - \bullet$; $10,6 - \Delta$

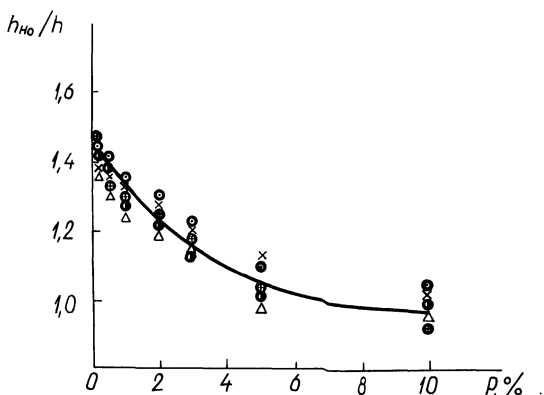


Рис. 3. График зависимости коэффициента K_p от относительной высоты наката волны. Условные обозначения: $h_{н.о.}/K_p$ при $h_{см} = 5,6 - \times$; $7,8 - \oplus$; $8,7 - \odot$; $9,8 - \bullet$; $10,6 - \Delta$

крытия. Расположение опытных точек показывает, что независимо от абсолютного значения высоты исходной волны h относительная высота наката примерно одинакова для откоса с покрытием, имеющим одинаковую проницаемость, и уменьшается с ее возрастанием.

Полученные результаты показали на необходимость и возможность учета проницаемости плитных покрытий при определении высоты наката волны на укрепленный откос. Учет этого фактора возможен путем введения в одну из расчетных формул соответствующего коэффициента, зависящего от проницаемости покрытия. При этом значения коэффициента будут различны и зависят от того, какая из формул принята за основу. В нашем случае достаточно близкая сходимость с опытными данными была получена по формуле [12], имеющей вид

$$h_n = \frac{2K_{ш} h}{m} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{h}}, \quad (1)$$

где $K_{ш}$ — коэффициент, зависящий от типа покрытия откоса (для нашего случая $K_{ш} = 0,9$). По этой формуле для опытных значений высоты и длины волны были вычислены расчетные высоты наката и их относительные величины:

$$h_{н.о.р} = \frac{h_{н.п}}{h} = \frac{2K_{ш}}{m} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{h}}. \quad (2)$$

Величина коэффициента K_p , учитывающего проницаемость покрытия, была получена путем деления относительных опытных высот наката на расчетные. По данным расчетов построен график (рис.3). Таким образом, для определения высоты наката волны на откос, укрепленный проницаемым плитным покрытием, при регулярном волнении может быть рекомендована зависимость

$$h_n = \frac{2K_{ш} K_p h}{m} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{h}}, \quad (3)$$

где K_p — коэффициент, зависящий от проницаемости покрытия, определяемый по графику (см. рис. 3) в зависимости от величины

$$\frac{2K_p}{m} \sqrt{\frac{\lambda}{h}}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Джунковский Н.Н. Действие ветровых волн на гидротехнические сооружения. — М., 1940. — 224 с.
2. Шанкин П.А. Воздействие волн на гидротехнические сооружения. — М., 1955. — 240 с.
3. Жуковец А.М., Зайцев Н.Н. Воздействия волн на сооружения откосного типа. — Л., 1956. — 28 с.
4. Пышкин Б.А. О влиянии длины волны на высоту наката на откос // Гидротехническое строительство. — 1937. — № 4. — С. 28—31.
5. Курлович Е.В. Экспериментальное исследование действия волнения на бетонные покрытия откосов земляных сооружений // Сб. тр. МИСИ. — 1957. — № 20. — С. 125—149.
6. Сидорова А.Г. Высота наката волн на откос // Сб. тр. МИСИ. — 1957. — № 20. — С. 81—87.
7. Офицеров А.С. Гидравлические лабораторные исследования морского порта // Волновые исследования гидротехнических сооружений. — М., 1961. — С. 5—62.
8. Пышкин Б.А., Русаков С.В., Максимчук В.Л. Проектирование защитных сооружений на водохранилищах. — Киев, 1962. — С. 16—34.
9. Шайтан В.С. Проектирование креплений земляных откосов на водохранилищах. — М., 1962. — 351 с.
10. Андрейчук И.Я. О высоте наката волны на откосные сооружения в природных условиях // Изв. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, т. 73. — М.; Л., 1963. — С. 225—232.
11. Попов И.Я., Рябых В.М. О высоте наката волны на откос // Труды координационных совещаний по гидротехнике. — Л., 1969. — Вып. 50. — С. 473—477.
12. Технические условия определения волновых воздействий на морские, речные сооружения и берега. СН 92-60. — М., 1965. — 132 с.
13. СН 288-64. — М., 1965. — 12 с.
14. Шайтан В.С. Крепления земляных откосов гидротехнических сооружений. — М., 1974. — 352 с.
15. Красножон Г.Ф. Накат волн на откосы // Теория волн и расчет гидротехнических сооружений. — М., 1975. — С. 160—175.
16. Радченко И.К. О некоторых аспектах расчета наката волн на крутые откосы // Труды координационных совещаний по гидротехнике. — Л., 1977. — Вып. 122. — С. 207—211.
17. Сапожников Г.П. О влиянии проницаемости покрытий откосов на высоту наката волн // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. — Мн., 1979. — Вып. 9. — 23 с.
18. Масс Е.И., Судобичер В.Г. Численный метод расчета макета волн в прибрежной зоне крупных водоемов // Водные ресурсы. — 1980. — № 3. — С. 143—148.
19. СНиП 2.06.04-82. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). — М., 1983. — 38 с.

СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ИНФИЛЬТРАЦИИ ИЗ КАНАЛОВ И ВОДОХРАНИЛИЩ

Одной из важнейших проблем водного хозяйства в Сирии является недостаток воды для орошения сельскохозяйственных земель.

Ежегодный объем воды, содержащийся в реках Сирии, составляет около 20 км³. Почти половина ее теряется на фильтрацию и испарение, поэтому в стране ведется усиленная борьба за ограничения количества потерянной воды. В Сирии применяется несколько методов борьбы с фильтрацией. Однако применение большинства из них требует больших затрат, поскольку все компоненты, входящие в состав протифильтрационной защиты, привозные (например, бетонно-плечные облицовки, полиэтиленовая пленка и др.).

В лаборатории кафедры гидротехнического и энергетического строительства БПИ была проведена серия опытов, целью которых явилось отыскание оптимального и недорогого состава для откосов каналов и водоемов. Опыты были проведены на установке Г.Н. Каменского. Это колонна, состоящая из полых звеньев трубы (диаметр и высота по 100 мм) с фланцами, позволяющими регулировать ее высоту. В каждой секции через 50 мм по высоте впаины штуцера для подключения пьезометров. Вода в прибор может подаваться как сверху вниз, так и снизу вверх.

Грунт набирается в каждое звено отдельно небольшими слоями и утрамбовывается до необходимой плотности стандартными трамбовками конструкции ДорНИИ с грузом 2,5 кг и высотой падения 0,3 м. Работа уплотнения определяется количеством ударов груза.

Опыты были проведены на песчаных грунтах, глине и суглинке.

Первая серия опытов проведена на цементогрунте, были использованы цементы марки 400, мелко- и крупнозернистый песок (гранулометрический состав определен по стандартным методикам).

Содержание цемента в образцах 2, 4, 6 и 8 % от массы песка. Самый низкий коэффициент фильтрации был получен при добавке 8 % цемента в мелкозернистом грунте, в крупнозернистом он снижался почти в 90 раз. Результаты исследований приведены в табл. 1.

При добавке 6 % цемента и 3 % гипса (по массе) к песку коэффициент фильтрации уменьшался: с использованием мелкозернистого песка — почти в 150 раз; крупнозернистого — в 75 раз.

Во второй серии опытов использовали экраны толщиной 5 см из глины и смеси глины со щебнем:

глина	100;	90;	80;	70;	60 %.
щебень	0;	10;	20;	30;	40 %.

Эти опыты были повторены с использованием экранов из суглинка и смеси суглинка со щебнем (табл. 3).

Табл. 1. Изменение коэффициента фильтрации при введении цемента (марка 400) в крупнозернистый и мелкозернистый песок

Дозы внесения реагента, %	Продолжительность опытов, ч							
	168	216	264	312	360	408	456	
		<i>Коэффициент фильтрации, м/сут</i>						
Контроль	Крупнозернистый	15	13,6	12,8	12,5	12,0	12,0	12,0
	Мелкозернистый	1,65	1,58	1,54	1,50	1,48	1,48	1,48
2	Крупнозернистый	1,64	1,17	0,937	0,813	0,791	0,791	0,791
	Мелкозернистый	0,513	0,234	0,146	0,12	0,12	0,12	0,12
4	Крупнозернистый	0,864	0,564	0,443	0,381	0,381	0,381	0,381
	Мелкозернистый	0,169	0,107	0,067	0,0406	0,0406	0,0406	0,0406
6	Крупнозернистый	0,629	0,434	0,361	0,313	0,302	0,302	0,302
	Мелкозернистый	0,06018	0,0318	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
8	Крупнозернистый	0,442	0,303	0,247	0,203	0,203	0,203	0,203
	Мелкозернистый	0,060	0,023	0,005	0,002	0	0	0

Табл. 2. Изменение коэффициента фильтрации при введении цемента и гипса в крупнозернистый и мелкозернистый песок

Дозы внесения реагента, %	Продолжительность опытов, ч							
	168	216	264	312	360	408	456	
		<i>Коэффициент фильтрации, м/сут</i>						
4 цемента	Крупнозернистый	0,798	0,480	0,401	0,341	0,341	0,341	0,341
4 гипса	Мелкозернистый	0,123	0,081	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
4 цемента	Крупнозернистый	0,58	0,38	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
2 гипса	Мелкозернистый	0,101	0,064	0,021	0,011	0,011	0,011	0,011
6 цемента	Крупнозернистый	0,402	0,201	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098
6 гипса	Мелкозернистый	0,054	0,023	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
6 цемента	Крупнозернистый	0,328	0,268	0,201	0,201	0,201	0,201	0,201
3 гипса	Мелкозернистый	0,051	0,029	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

В третьей серии опытов были созданы экраны из смеси крупнозернистого песка с мочевиноформальдегидной смолой (добавка смолы 4, 6, 8, 10, 12 % от массы песка). В качестве отвердителя использовался лигносульфат (отход целлюлозной промышленности). Методика применения экранов следующая: к мочевиноформальдегидной смоле добавлялся лигносульфат (1:2), затем размешивалась смесь с песком (табл. 4).

При сравнении результатов видно, что наименьший коэффициент фильтрации был получен при создании экранов из глины и цементогрунтов (доза цемента 8 %). Наиболее экономичным является экран из глины или суглинка. Использование мочевиноформальде-

Табл. 3. Изменение фильтрации при использовании экранов из глины и смеси глины со щебнем

Глина со щебнем по массе, %		Продолжительность опытов, ч									
		24	48	72	96	120	144	168	192	216	
<i>Коэффициент фильтрации, м/сут</i>											
Глина	Щебень										
100	0	0,0013	0,001	0,0008	0	0	0	0	0	0	0
90	10	0,0067	0,0043	0,0038	0,001	0	0	0	0	0	0
80	20	0,01	0,008	0,0065	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
70	30	0,063	0,042	0,028	0,01	0,0091	0,0091	0,0091	0,0091	0,0091	0,0091
60	40	0,093	0,08	0,06	0,05	0,042	0,042	0,04	0,0038	0,0038	0,0038
Суглинок	Щебень										
100	0	0,0082	0,0060	0,0051	0,0051	0,0051	0,0051	0,0051	0,0051	0,0051	0,0051
90	10	0,013	0,010	0,0092	0,0088	0,0088	0,0088	0,0088	0,0088	0,0088	0,0088
80	20	0,031	0,026	0,019	0,016	0,0141	0,0138	0,0138	0,0138	0,0138	0,0138
70	30	0,048	0,040	0,03	0,02	0,018	0,016	0,015	0,015	0,015	0,015
60	40	0,072	0,06	0,048	0,031	0,026	0,021	0,019	0,018	0,018	0,018

Табл. 4. Изменение коэффициента фильтрации при использовании экранов из смеси песок-мочевиноформальдегидная смола-лигносульфат

Мочевиноформальдегидная смола по массе, %	Продолжительность опытов, ч											
	24	48	72	96	120	144	192	216	240	264	288	312
<i>Коэффициент фильтрации, м/сут</i>												
4	1,52	1,38	1,27	1,10	0,927	0,889	0,829	0,814	0,794	0,794	0,794	0,794
6	0,855	0,728	0,680	0,60	0,534	0,48	0,435	0,416	0,400	0,400	0,400	0,400
8	0,255	0,21	0,181	0,156	0,138	0,111	0,085	0,070	0,070	0,070	0,07	0,07
10	0,176	0,147	0,134	0,120	0,093	0,065	0,0387	0,0387	0,0387	0,0387	0,0387	0,0387
12	0,135	0,12	0,093	0,052	0,01	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005

гидной смолы имеет большую перспективу, поскольку ее стоимость постоянно уменьшается (стоимость 1 т в 1979 г. 500 р., в настоящее время 50 р.); стоимость 1 т лигносульфаната 36 р.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕШЕТЧАТЫХ ПЛИТ КРЕПЛЕНИЯ ДНА РУСЛА

В соответствии со степенью гашения избыточной энергии крепление дна русла может иметь различную прочность и конструктивные особенности. В нижнем бьефе водосбросных низконапорных сооружений обычно выделяют три таких участка крепления: водобой, рисберму и концевое устройство [1].

Конструкция рисбермы должна быть гибкой, приспособляющейся к возможным деформациям русла без нарушения ее прочности и проницаемости для выходящего в нижний бьеф фильтрационного потока. Устраивается она из сборных железобетонных плит и блоков различной конфигурации. Однако в этом случае требуется значительный расход бетона, что соответственно увеличивает стоимость сооружения в целом. Следует иметь в виду, что стоимость крепления в нижнем бьефе в ряде случаев составляет 30—50 % от стоимости всего сооружения.

С целью уменьшения материалоемкости расхода бетона крепление, т. е. рисберма в нижнем бьефе регулирующих сооружений на мелиоративной сети, выполняется из решетчатых плит ПРП 10-20, пустоты в которых заполняются гравием [2]. При устройстве такого крепления необходимо тщательно подбирать крупность гравия, идущего на заполнение пустот в соответствии с допустимыми скоростями на размыв. Однако в литературных источниках отсутствуют данные области применения креплений из решетчатых плит и методика подбора крупности гравия.

Цель наших исследований заключалась в том, чтобы изучить влияние угла наклона поперечных ребер решетчатых плит на крупность материала заполнителя ячеек и дать рекомендации по проектированию таких креплений.

Лабораторные исследования проводились в прямоугольном проточном лотке размерами 2,0 × 0,16 × 0,40 м. Модель представляла собой систему поперечных пластин, наклоненных к горизонту под некоторым определенным углом и шагом. Поперечные пластины соединялись между собой посредством продольных ребер (высота 2, длина 36 см). Расстояние между поперечными пластинами — 2—10 см, угол наклона 30—90°. Ячейки, образованные поперечными и продольными пластинами, заполнялись песком определенных фракций (диаметр зерен от 0,1—0,25 до 1—2 мм). Исследования проводились в условиях плоской задачи при масштабе моделирования 1:10 в следующем порядке: поперечные пластины устанавливались на минимальном расстоянии друг от друга под определенным углом наклона; ячейки, образованные поперечными и продольными пластинами, заполнялись песком с минималь-

ным средним диаметром зерен. При помощи затворного устройства, расположенного в конце лотка, устанавливалась определенная глубина воды над исследуемой моделью, и в дальнейшем при наращивании скоростей она оставалась постоянной во всех опытах. Глубина воды над моделью была равна 10 см. Отношение глубины потока h к диаметру заполнителя D_{50} составляло ($h/D_{50} = 50-670$). Скорость потока увеличивалась до тех пор, пока не замечалась подвижка и вынос частиц грунта из ячеек. После этого изменялось расстояние между поперечными ребрами, и при другом среднем диаметре зерен песка проводился второй опыт и т. д.

Величина размывающей скорости потока, при которой происходил вынос зерен грунта заполнителя ячеек плит, изменялась от 0,20 до 0,71 м/с. Графики зависимости размывающей скорости потока в зависимости от размера ячеек и угла наклона поперечных ребер приведены на рис. 1 и 2. С увеличением размеров ячеек решетчатых плит и уменьшением угла наклона поперечных ребер устойчивость зерен заполнителя уменьшается в 1,1-1,3 раза.

В результате обработки опытных данных были получены и аналитические зависимости относительной толщины (t/D_{50}) решетчатых плитных креплений в зависимости от чисел Фруда Fr и угла наклона α поперечных ребер плиты

$$\frac{t}{D_{50}} = \frac{1}{\sqrt{3} Fr^{3,3} \operatorname{ctg} \alpha} \quad (1)$$

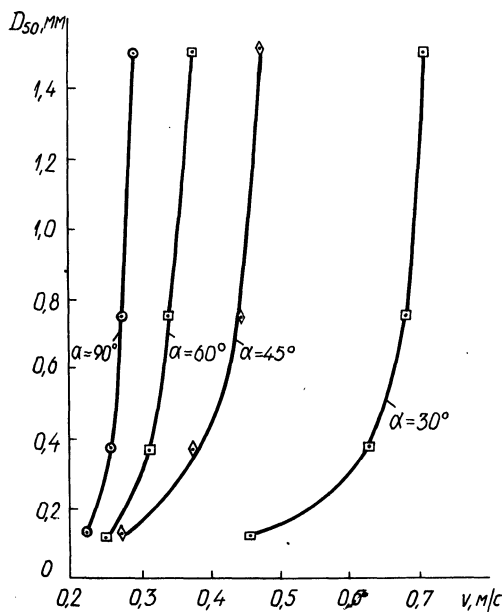
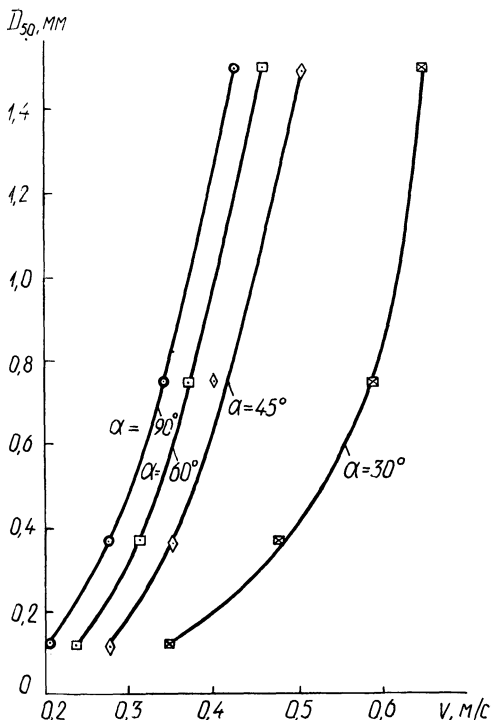


Рис. 1. Графики зависимости средней скорости потока от диаметра зерен заполнителя и угла наклона поперечных ребер (при расстоянии между ребрами $l = 2,0$ см)

Рис. 2. Графики зависимости скорости потока от диаметра зерен заполнителя и угла наклона поперечных ребер (при расстоянии между ребрами $l = 4,0$ см)



Из зависимостей (1) видно, что в одних и тех же условиях, т. е. при постоянной скорости потока и его глубине, над решетчатыми плитами отношение t/D_{50} при угле наклона поперечных ребер $\alpha = 30^\circ$ будет меньше по сравнению с другими.

Нами получены также графические зависимости относительного размера ячейки l/D_{50} (l — расстояние между поперечными ребрами, D_{50} — средний диаметр частиц грунта заполнителя ячеек) от чисел Фруда ($Fr = v^2/gH$, где v — средняя скорость потока, g — ускорение свободного падения, H — глубина потока). Из графиков зависимости $l/D_{50} = f(Fr)$ для определенного угла наклона поперечных ребер (рис. 3) видно, что наибольший эффект получится,

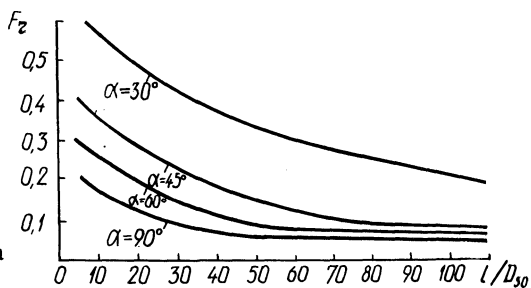


Рис. 3. Графики зависимости относительного размера ячеек плит от числа Фруда

когда поперечные пластины наклонены под углом 30° к горизонту. Однако в этом случае будет значительный расход материала, идущего на изготовление плит крепления. При угле наклона поперечных пластин, равном 45° , защитный эффект плит крепления примерно такой же, как и при угле наклона 60° . Исходя из этого, при проектировании крепления из решетчатых плит можно рекомендовать поперечные их ребра устраивать с наклоном 45° к горизонту. Крупность зерен грунта заполнения ячеек плит и их размеры можно определять, используя рис. 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чугаев Р.Р. Гидротехнические сооружения. Водосливные плотины. — М., 1985. — 302 с. 2. Мелиорация и водное хозяйство. Строительство: Справ. — М., 1984. — 344 с.

УДК 626.823.8

А.А. СМЕРНОВ

СПОСОБ РАЗРАБОТКИ ПОДВОДНЫХ ТРАНШЕЙ

При прокладке дюкеров, заглубленных под русла рек, бо́льшая часть их стоимости (примерно 60—70 %) приходится на разработку траншей. В зависимости от характеристик грунтов при отрывке траншей применяют различные способы и разрабатывающие механизмы вплоть до рыхления грунтов взрывами.

В 1984 и 1986 гг. Минским отделением Союзводоканалпроект разработана рабочая документация на строительство дюкеров через р. Неман в составе проекта промливневой канализации для Гродненского ПО "Азот" (IV очередь). Запроектировано четыре нитки дюкеров: две из стальных труб диаметрами по 900 мм и две — по 150 мм.

Русло р. Неман сложено очень плотной моренной супесью с включением гравия, галечника, валунов. На поверхности — местами сплошные валунно-галечниковые отложения. Ширина русла по урезу воды 150 м.

При разработке проекта в 1984 г. были приняты и согласованы со строителями следующие методы производства работ:

каждая плеть дюкера укладывается в отдельную траншею шириной по дну 2,4 и 1,7 м (по ширине скреперного ковша);

грунт в траншеях разрабатывается канатно-скреперной установкой с рыхлением взрывами, доработка до проектного профиля — водолазами при помощи гидромониторов;

валуны разрабатываются водолазами, поднимаются механизмами на понтоны и отвозятся на берег.

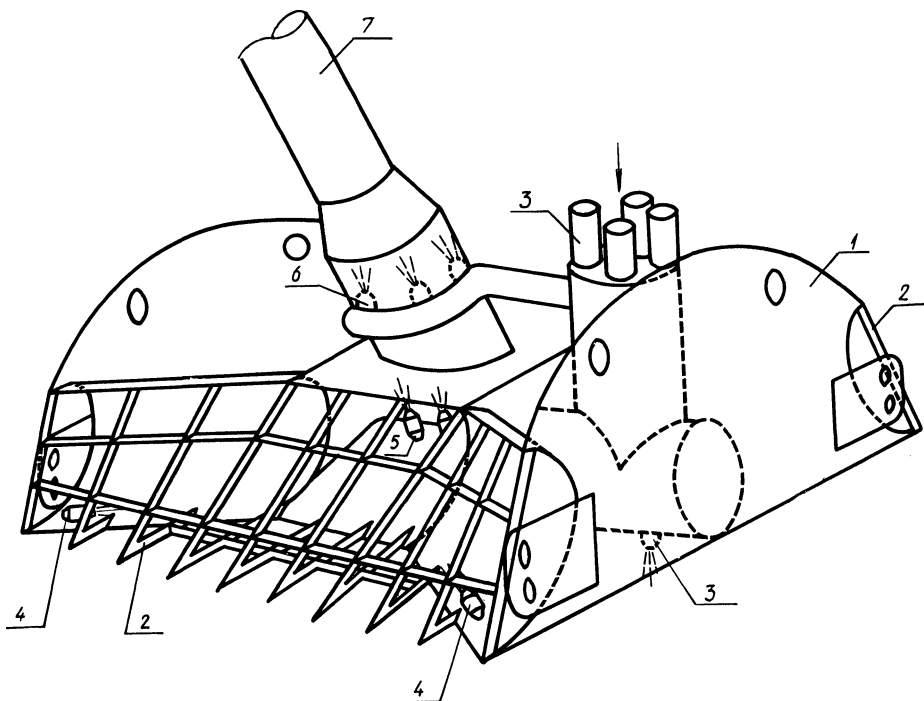


Рис. 1. Скрепер – гидроэжектор (гидронож) конструкции В.Ф. Саперского и А.Ф. Климова:

1 – корпус; 2 – решетка; 3 – трубы для подвода воды; 4 – насадки для разрыхления грунта (10 шт.); 5 – насадки направляющие (по 2 шт. на сторону); 6 – насадки отъема грунта (3 шт.); 7 – насадки эжектора (4 шт.); 8 – труба для отвода пульпы

В 1986 г. шестым экспедиционным отрядом подводно-технических работ (ЭОПТР) предложен более прогрессивный способ разработки траншей в данных условиях, который был принят и заложен в проект. Работники этого отряда сконструировали и изготовили скрепер-гидроэжектор (гидронож) — авторы В.Ф. Саперский и А.Ф. Климов. Гидронож двустороннего действия (рис. 1) работает по принципу скреперной установки и предназначен для разработки подводных траншей глубиной до 5 м в тяжелых грунтах (супеси, суглинки с включением валунов). Обе режущие кромки гидроножа оснащены насадками для механического рыхления 4 и гидравлического рыхления 5. Вода подается по шлангам от установки УПГМ-360, смонтированной на плавучей площадке, которая движется вместе с гидроножом. Разрыхленный грунт с помощью насадок подъема 6 и эжектора 7 по трубе отводится на бровку траншеи. Протаскивание гидроножа осуществляется лебедкой ЛС-301 с тяговым усилием 40 т. Для обратного хода применяется блок, закрепленный на противоположном берегу. Камни, валуны задерживаются на решетках 2, а потом выбираются вручную на берегу.

Табл. 1. Основные показатели эффективности разработки траншей при прокладке дюкеров

Показатели	Разработка		Снижение стоимости и трудозатрат
	скреперной установкой, рыхлением взрывами	гидроножом	
Дюкер в две нитки из стальных труб диаметрами по 900 мм			
Сметная стоимость, тыс. руб.	472,9	380,4	92,5
Затраты труда, тыс. чел.-дн.	21,0	13,2	7,8
Дюкер в две нитки из стальных труб диаметрами по 150 мм			
Сметная стоимость, тыс. руб.	208,4	168,9	39,5
Затраты труда, тыс. чел.-дн.	10,4	6,6	3,8

Ширина ковша зависит от подбора тягового механизма и установки, подающей воду. При использовании лебедки ЛС-301 и установки УПГМ-360 ширина ковша (длина режущей кромки гидроножа) составляет 3,7 м.

Применение гидроножа при разработке подводных траншей в тяжелых грунтах с включениями валунов исключает рыхление грунта взрывами, позволяет убирать камни, валуны на берегу, снижает трудозатраты и в результате дает значительный экономический эффект.

В 1986 г. отделением была переработана рабочая документация по дюкерам, в которой для разработки траншей предусмотрено применение гидроножа. Дюкеры были уложены в этом же году. Основные показатели экономического эффекта по проекту промливневой канализации Гродненского ПО "Азот" приведены в табл. 1.

УДК 627.514.63

В.У. ЯБЛОНСКИЙ, Н.В. САПУНКОВА

КОНСТРУКЦИИ ВОДОСБРОСОВ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

В целях использования и перераспределения водных ресурсов в засушливых районах страны для обводнения территорий и обеспечения водой населенных пунктов используются водохранилища, создаваемые в оврагах, балках, на малых реках и пр. Летом эти водотоки, как правило, пересыхают, а в половодье и паводки в них поступают значительные объемы воды. Водосбросы, входящие

в состав гидроузлов, работают при различных режимах. При всех возможных случаях эксплуатации водосбросы должны быть экономичны и надежны в работе. Этим условиям отвечают три типа водосбросов, на моделях которых были проведены гидравлические исследования:

1. Водосброс башенного типа с трубами круглого сечения, имеющий двойную систему гашения энергии потока: перед входом в трубы и в нижнем бьефе (рис. 1).

2. Водослив автоматического действия типа переливной плотины, возведенной из местных строительных материалов (камня, горной массы, грунта и т. д.) (рис. 2).

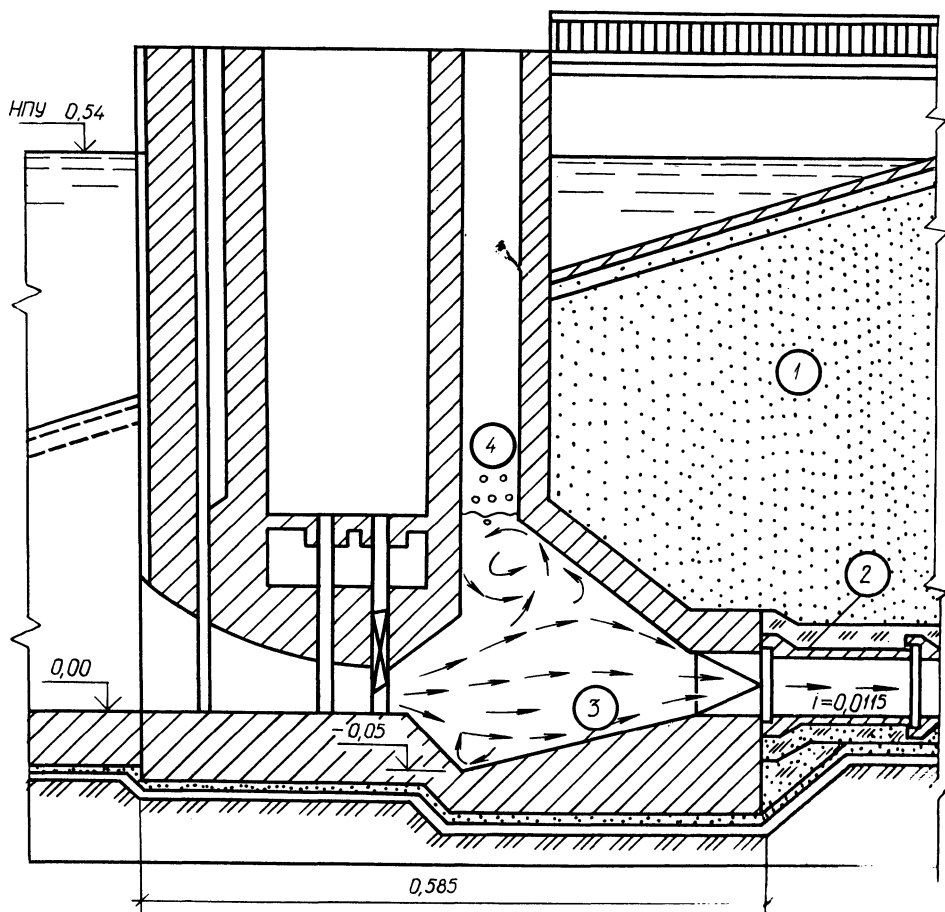


Рис. 1. Водосброс башенного типа с трубами круглого сечения:

1 – земляная плотина; 2 – трубы; 3 – водобойный колодец; 4 – вентиляционная шахта

3. Водосброс башенного типа с водосливом полигонального профиля (рис. 3).

Водосброс с гашением энергии потока перед входом в трубу и за ней (см. рис. 1) расположен в теле земляной плотины 1 и представляет две нитки труб 2, уложенных с уклоном 0,0115. Оголовок водосброса разделен стенкой на две камеры так, что трубы могут работать изолированно друг от друга. В каждой камере перед трубами водосброса выполнена камера гашения энергии потока в виде водобойного колодца 3 или гасителя с шахтой 4 для сообщения с атмосферой. Предпочтительнее устройство водобойного колодца. Дно последнего выполняют наклонным, а входное сечение круглых труб плавно сопрягают с прямоугольным сечением камеры.

В возможном диапазоне пропуска расходов трубы водосброса могут работать в трех режимах: безнапорном; переходном неустойчивом; напорном.

Регулирование подачи расходов в трубы водосброса производится с помощью плоских щитов, расположенных в камерах оголовка башни.

В меженный период водосброс может осуществлять забор малых расходов воды. При этом щиты обеих труб водосброса должны быть полностью подняты.

Коэффициент расхода водосброса при напорном режиме в среднем равен 0,54 (подсчитан по статистическому напору и по площади живого сечения труб).

Работа труб водосброса в переходном режиме нежелательна, поскольку бурный поток может вызвать вибрацию труб.

В ряде случаев на малых реках для создания водохранилищ удобно возводить переливные плотины (см. рис. 2). При пропуске больших расходов в паводок или половодье плотина затопливается, а в меженный период используется как дорога. При наполненном водохранилище поток автоматически переливается через гребень

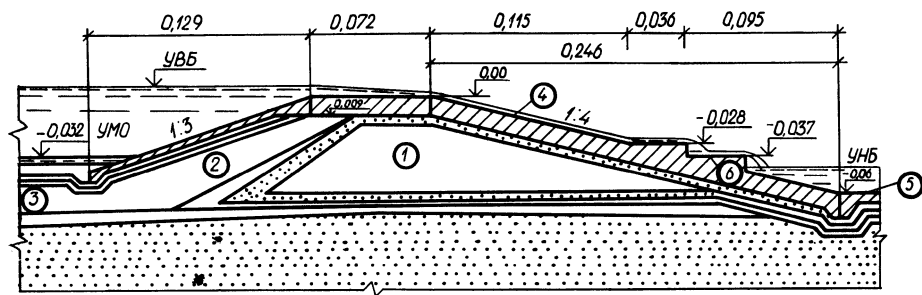


Рис. 2. Каменно-земляная переливная плотина:

1 — тело плотины; 2 — экран; 3 — понур; 4 — бетонное крепление; 5 — крепление дна русла; 6 — невысокие трамплины

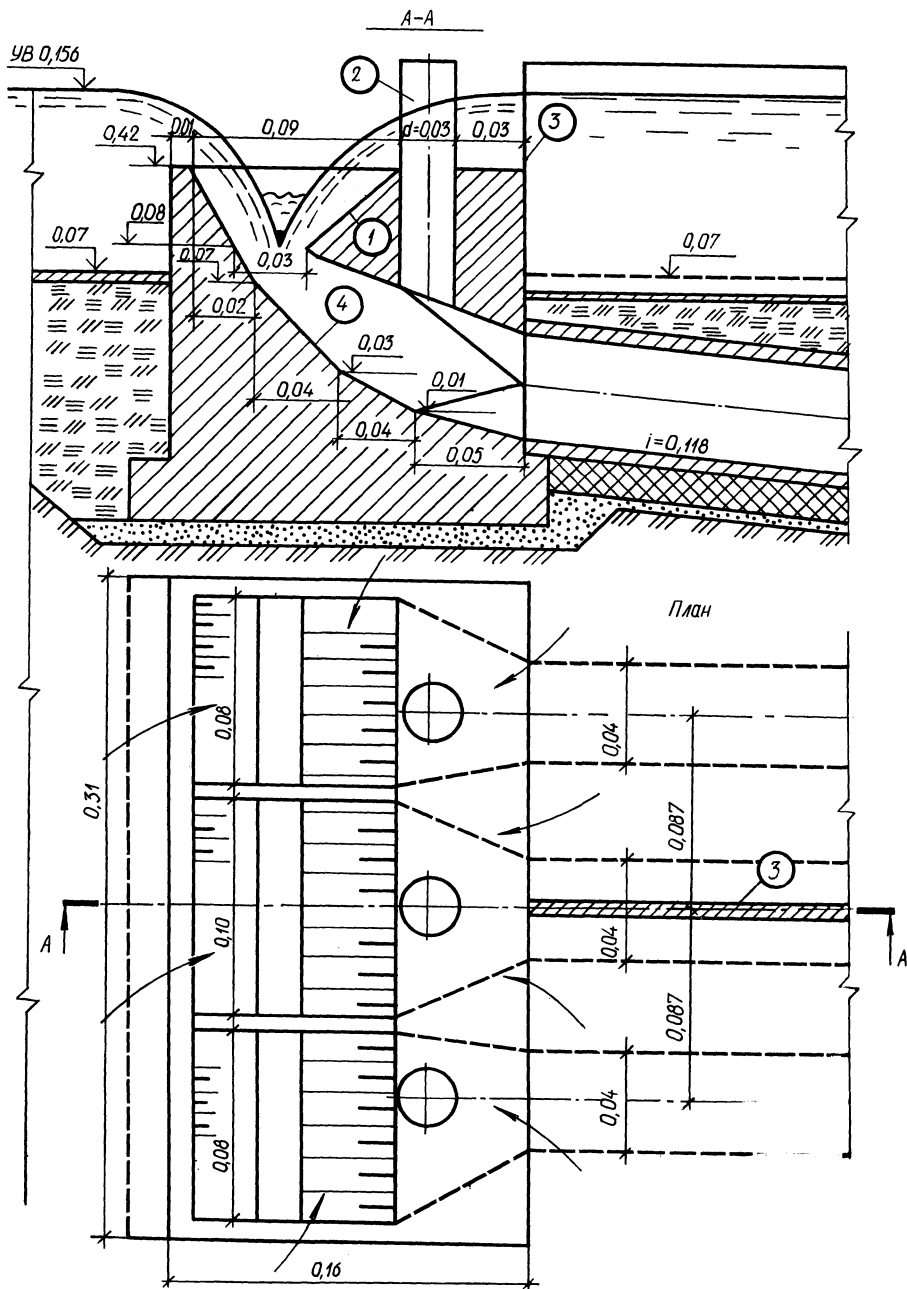


Рис. 3. Водосброс башенного типа с водосливом полигонального профиля
 1 – камера; 2 – воздухопроводные трубы; 3 – глухая стенка; 4 – водослив

плотины. Тело плотины 1 может быть выполнено из местного материала: камня, горной массы. Для уменьшения фильтрации воды через тело плотины предусматривают противофильтрационные устройства в виде экрана 2, понура 3 и т.д. Гребень плотины и ее верховой и низовой откосы крепятся от размывов бетонными плитами 4. Крепление дна русла 5 за плотиной назначается исходя из требований защиты крепления и грунта от размыва потоком.

Исследованная переливная плотина имеет заложение верхового откоса 1:3 и низового — 1:4. На низовом откосе плотины выполнены два невысоких трамплина 6.

Переливная каменно-земляная плотина представляет собой водослив с широким порогом с трапециевидальным каналом по гребню и низовому откосу плотины. Ее пропускная способность определяется по формуле неподтопленного водослива с широким порогом, при этом за длину водослива принимают среднюю линию трапециевидального сечения.

В целях выравнивания удельных расходов по ширине плотины, ликвидации сбойности потока в нижнем бьефе и для гашения энергии потока на низовом откосе плотины устраивают невысокие трамплины, количество которых принимают в зависимости от высоты плотины.

Водосброс с башенным оголовком прямоугольного очертания в плане с водосливом полигонального профиля (см. рис. 3) имеет трубы, которые укладываются с переменным уклоном. За выходом из ковша уклон труб равен 0,118, далее он равен нулю.

Гребень оголовка располагается на отметке нормального подпорного уровня (НПУ). При уровнях воды в водохранилище выше НПУ происходит перелив потока в ковш оголовка и вода через трубы водосброса отводится в нижний бьеф. Башня оголовка прямоугольного очертания в плане разделена стенками на камеры, обеспечивающие изолированный подвод потока к каждой трубе. Для уменьшения аэрации потока в камерах оголовка и на входе в трубы входные сечения камер 1 должны быть подтоплены.

Для срыва вакуума на входе в трубы подводится воздух с помощью воздухопроводных труб 2. Циркуляция потока вокруг башни оголовка устраняется глухой стенкой 3, примыкающей к плотине. Передней грани камеры оголовка придается вид водослива полигонального очертания 4.

По материалам исследований приведенных типов водосбросов институтом "Гипроводстрой" Минводхоза СССР были запроектированы: Непокоевский водосброс на балке Непокоевский дол, Орлово-Гайский на р. Большой Узень в Саратовской области, водосброс на р. Озерной в Свердловской области. В настоящее время эти водосбросы построены и эксплуатируются. Подобные водосбросы могут найти применение при создании водохранилищ в других районах страны. Приведенные в статье модельные величины линейных размеров и расходов водосбросов легко могут быть приведены по формулам подобия в натуру.

СОДЕРЖАНИЕ

У сен ко В.С., А льт шу ль А.Х. Основные концепции использования подземных вод в странах СЭВ.	3
Ш ни по в Ф.Д. К вопросу оперативного измерения количественных и качественных характеристик водных ресурсов.	7
Ц е ли ко ва Т.В., Ко за к Г.Ф. Динамика содержания тяжелых металлов в сточных водах Минской станции аэрации.	13
Г лу ш ко К.А., За к р же вс к и й П.И. Полевые исследования миграции влаги в мелкозалежных торфяниках.	16
Л е в ке в и ч В.Е. Методика и приборы для измерения расхода и направления движения влекомых наносов в береговой зоне малых водохранилищ.	20
Б о го с ла в ч и к П.М. Гидравлический расчет резервного водосброса с размываемой грунтовой вставкой.	24
К о з ло в Д.А., З ве р хо вс к и й Ю.Е., По во ро т н ы й И.В. Структура течения вблизи ротора смесительного аппарата.	30
К о пы то вс к и х А.В., К ли м ко в В.Т. Фильтрация в волокнистом пористом полиэтилене (фибелене)	37
Л у р ь е И.Е. О расчете канализационных отстойников с тонкослойными блоками.	41
К у ле бя ки н В.В., Кар печ ен ко А.В., Ве ре мен ю к В.В. Особенности затопленных струй полимерных растворов и глинистых суспензий	43
Ш па ко вс к и й Э.П., Ла бу с А.Н. Песколовка	48
Ф и ли п по в и ч И.В., Во не са й Ви н т х и л а т. Определение положения наиболее опасного центра круглоцилиндрической поверхности скользяния откоса земляной плотины	52
Л е в ке в и ч Е.М., Си л ла Ма ма ди. Экспериментальные исследования влияния проницаемости покрытий грунтовых откосов на высоту наката волны	56
Г е то в Л.В., Ба ра да й А м ма р. Способы снижения инфильтрации из каналов и водохранилищ.	62
Су р ма Н.В. Исследование решетчатых плит крепления дна русла	65
С ми р но в А.А. Способ разработки подводных траншей	68
Я бл он с к и й В.У., Са пу н ко ва Н.В. Конструкции водосбросов на водохранилищах гидромелиоративных систем.	70

Научное издание

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Выпуск 19

Заведующий редакцией В.З. Солоухин

Редактор А.Л. Подгайская

Младший редактор Н.Н. Линькова

Художественный редактор В.И. Шолк

Технический редактор С.И. Шердюкова

Корректоры Т.К. Хваль, И.И. Ганелес, В.П. Шкредова

Оператор А.И. Маль

ИБ № 3038

Подписано в печать с оригинала-макета 18.04.90 г. АТ 03586. Формат 60×90/16.

Бумага кн.-журн. Офсет. печать. Гарнитура Сенчури. Усл.-печ.л. 4,75. Усл.

кр.-отт. 5, 125. Уч.-изд. л. 4, 98. Зак. 5564. Тираж 400 экз. Цена 1 р. 10к.

Издательство "Высэйшая школа" Государственного комитета БССР по печати.

220048, Минск, проспект Машерова, 11.

Типография "Победа". 222310, Молодечно, ул. Тавлая, 11.