

УДК 502/504:624.042:627/626

**Б. М. БАХТИН, В. П. ШАРКОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»  
Институт природообустройства имени А. Н. Костякова

## **ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРУНТА-ЗАПОЛНИТЕЛЯ С ЯЧЕЙСТАМИ КОНСТРУКЦИЯМИ ПОДПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

*В опытах на модели плотины ячеистой конструкции с жестким основанием выявлено существенное уменьшение зависания грунта на стенках в процессе сдвига. Это явление негативно отражается на несущей способности сооружения сдвигу. Рассмотрены особенности взаимодействия грунта-заполнителя с ячеистыми конструкциями подпорных гидротехнических сооружений.*

*Ячейка, сооружение, грунт-заполнитель, давление грунта, напряжения, сдвиг, опыт.*

*In the experiments on the dam model of a cellular structure with a hard base there is revealed a significant reduction of soil hanging on the walls in the process of shear. This phenomenon negatively affects the load-carrying capacity of the structure to shear. There are considered peculiarities of the interaction of the soil-filler with cellular structures of backup hydraulic constructions.*

*Cell, structure, soil-filler, soil pressure, stresses, shear, experiment.*

Взаимодействие грунта-заполнителя со строительными ячеистыми конструкциями проявляется в передаче нагрузок грунта стенкам и основанию. Например, в сооружениях типа силосов (или бункеров) горизонтальное давление заполнителя определяет прочность стен, а вертикальное влияет на прочность днища.

В гидротехнических сооружениях ячеистой конструкции давление грунта-заполнителя также определяет прочность стен и фундаментной плиты в основании. В целях экономии плиту в основании выполняют редко, а в сооружениях на скальных (или полускальных) основаниях ее, как правило, не используют.

В гидротехнических подпорных сооружениях на скальном основании в обеспечении устойчивости грунт засыпки, являясь балластом, играет специфическую роль. Дело в том что грунт, зависая на стенках, часть своего веса

передает на каркас, под которым коэффициент трения  $f_B$  больше, чем под заполнителем в ячейке  $f_{rp}$ , в результате устойчивость сооружения сдвигу увеличивается, т. е. зависание грунта на стенках (характеризуемое степенью зависания) создает дополнительный резерв устойчивости сооружения. И чем больше зависание, тем больше устойчивость сооружения сдвигу на скальном основании.

Например, если в ячеистом сооружении соотношение  $f_B / f_{rp} = 1,5$ , то несущая способность при степени зависания  $m = 50\%$  увеличивается на  $17\%$  по сравнению со случаем  $m = 0\%$ , т. е. без учета этого параметра. В расчетной практике для определения степени зависания находят давление грунта на основание с использованием формул Янсена, Алипова и других специалистов. Анализ показывает, что эти формулы дают значения искомого параметра, отличающиеся между собой [1].

Степень зависания также можно определить с использованием графиков Латышенкова, данных Вятских, Шаркова [2, 3, 4]. В работе К. С. Акимовой были построены графики зависимости степени зависания от высоты заполнителя, полученные различными расчетными методами [5]. Графики из этой работы представлены на рис. 1 для сухих песчаных грунтов, заполняющих ячеистую конструкцию.

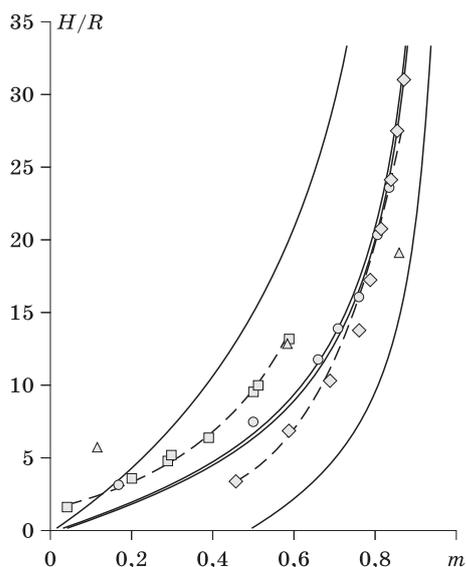


Рис. 1. Графики зависимости степени зависания  $m$  от высоты (относительной) ячейки  $H/R$  в различных опытах и методах расчета для сухого песка (с углом внутреннего трения  $36^\circ$ ): 1 – СНИП; 2 – СНИП с экспериментальными данными; 3 – эксперимент профессора Янсена с комментариями инженера А. М. Латышенкова; 4 – метод Н. К. Снитко;  $\diamond$  эксперимент инженера А. М. Латышенкова;  $\square$  эксперимент В. П. Шаркова;  $\circ$  эксперимент инженера Н. М. Вятских;  $\triangle$  эксперимент инженеров Ю. Д. Ковалея и Ю. В. Гонтаря

Здесь степень зависания  $m$  определяется по известной высоте  $H$  заполнителя и гидравлическому радиусу  $R$  поперечного сечения ячеек. Полученную по графику величину  $m$  используют для расчета устойчивости подпорного ячеистого сооружения, подставив ее в соответствующую формулу.

Проанализируем данные, представленные на рисунке 1. В качестве примера рассмотрим модель ячейки размером в плане  $10 \times 11$  см при средней высоте 42 см,

стенки которой оклеены наждачной бумагой, используемой в опытах. Для этой модели соотношение  $H/R = 42 / [(10 \times 11) / 2 (10 + 11)] = 40/2,62 = 16$ .

При этом значении  $H/R$  степень зависания может составлять от 0,39 для кривой 1 на рисунке 1 (в расчете по СНИП [6]) до 0,82 (расчет по формуле Янсена с поправками Снитко [7]), т. е. отличаться более чем в 2 раза.

Второй расчет по СНИП (кривая 2) с использованием заданных углов трения (внутреннего и внешнего), а также расчет по формуле Янсена (с использованием опытных данных Латышенкова) дают близкие между собой результаты со значением  $m = 0,65 \dots 0,66$ .

В проведенных опытах с гладкими стенками при этой высоте аппроксимация графика дает значение  $m = 0,63$ , в опытах Латышенкова и Вятских  $m = 0,76 \dots 0,77$ . Опытные значения степени зависания для песчаных грунтов, как и расчетные, отличаются значительно, находясь в пределах  $m = 0,63 \dots 0,77$ .

Проанализируем более детально данные на рисунке 1 и способы их получения. Кривая 1 построена по наиболее простой методике СНИП, когда использован коэффициент Пуассона грунта-заполнителя. Эта кривая, находясь на графике слева, занижает степень зависания, что соответствует повышенным значениям вертикального давления грунта на основание.

В опытах Ковалея–Гонтаря [7] на устое Днепродзержинской ГЭС ячеистой конструкции (с размерами  $4,5 \times 4,5$  м и высотой песчаного заполнителя 12 м) с использованием двух месдоз (ДЗ и Д5), установленных в скальном основании, получена усредненная величина вертикального давления песка объемным весом  $1,65 \text{ т/м}^2$ , равная  $10,5 \text{ т/м}^3$ , что соответствует степени зависания  $m = 0,485$ .

Опыты Вятских проводились в ряже квадратного сечения размерами около  $1,9 \times 1,9$  м из бревен (высотой до 12 м). При этом давление грунта на дно (усредненное) определяли по давлению масла в емкости, установленной в основании ячейки, для герметизации прикрытой листом резины.

В опытах Латышенкова на моделях ячеек квадратной формы размерами  $0,29$  м,  $0,4$  м и  $0,5$  м давление грунта на дно

определяли так же, как и у Вятских – по давлению масла в емкости под заполнителем.

Следует отметить, что у Латышенкова и Вятских конструкция измерительного устройства в днище обладала некоторой податливостью и позволяла грунту-заполнителю у основания перемещаться вместе с ним. Однако данных по осадкам устройства авторы работ не приводят и оценить степень его податливости не представляется возможным.

В опытах авторов статьи установка имела принципиально другую схему измерения и включала четыре упругих элемента, закрепленных по углам ячейки между моделью и основанием. Эти элементы от нагрузки, передаваемой грунтом на стенки, в процессе наполнения ячейки претерпевали осадки, измеряемые индикаторами часового типа. Величина осадок в опытах не превышала 0,025...0,03 мм (при цене деления приборов 0,001 мкм, что почти на порядок меньше среднего диаметра частиц песка 0,2 мм, используемого в опытах). Однако они, видимо, могли несколько снижать регистрируемую степень зависания.

В опытах на такой установке в ячейке высотой 80 см размерами 25x25 см с шероховатыми стенками (с оклейкой наждачной бумагой) при соотношении  $H/R = 12,8$  были получены значения  $m$  68,7 и 73,3 % соответственно в опытах без уплотнения и с уплотнением. При высоте  $H/R = 16$  степень зависания, судя по графикам, увеличивалась на 2...3 %. Эти результаты близки данным Латышенкова (для квадратной ячейки со стороной 0,27 см), полученным в опытах без уплотнения песка (75,5 %), а также данным Вятских (на модели ячейки квадратной формы со стороной 0,5 м) –  $m = 74$  и 80 % соответственно в опытах без уплотнения и с уплотнением (к сведению, Вятских получил на крупном ряже при соотношении  $H/R = 16$  степень зависания 73 %).

В лаборатории гидротехнических сооружений опыты проводятся на четырехступенчатой модели ячейистой плотины, состоящей из двух рядов ячеек (размером 10x11 см) высотой от 24 до 60 см (средняя высота 42 см) (рис. 2). Модель установлена на жесткое металлическое основание, поверхность которого оклеена,

как и внутренние стенки ячеек модели, наждачной бумагой (эпоксидным клеем). Грунт засыпки – сухой мелкозернистый песок крупностью 0,2 мм и плотностью около 1,5 г/см<sup>3</sup> (укладываемый трамбовкой деревянным брусом).

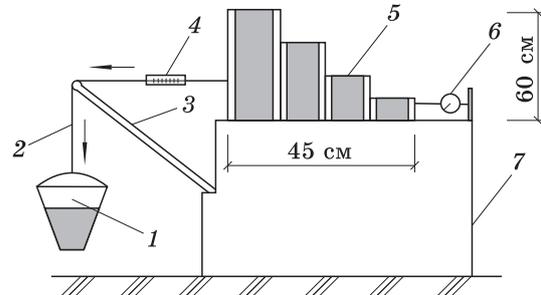


Рис. 2. Схема опытной установки подпорного сооружения ячейистой конструкции: 1 – емкость; 2 – трос; 3 – штанга; 4 – динамометр; 5 – модель ячейистой плотины с песком; 6 – датчик смещений; 7 – жесткий стол

Такие особенности позволяют предположить, что степень зависания может быть принята равной 0,75. Эти данные соответствуют условию, когда ячейка находится в состоянии покоя.

При сдвиге величину степени зависания определяют по следующей формуле [8]:

$$m = \frac{W}{G_{гр}} - \frac{f_B G_B}{G_{гр} - f_{гр}}, \quad (1)$$

где  $m$  – степень зависания грунта;  $W$  – сдвигающая сила;  $G_{гр}$  – полный вес грунта-заполнителя;  $G_B$  – собственный вес каркаса;  $f_B, f_{гр}$  – коэффициенты трения в основании под каркасом и под грунтом-заполнителем соответственно (см. рис. 2).

Опытная установка включает саму модель, нагрузочное устройство, состоящее из тонкого тросика, закрепленного на модели, динамометра и емкости с грузами на другом его конце, переброшенном через блок (см. рис. 2).

Особенность этой установки – использование высокоточных динамометров с ценой деления 0,01 кг, что позволяет повысить точность определения сдвигающей силы почти в 10 раз (по сравнению с предыдущими опытами). Динамометры в связи с ограниченностью их максимального усилия присоединены к тросику модели параллельно. Для наблюдения за

смещением модели при сдвиге используют два индикатора часового типа точностью 0,001 мм (установлены по бокам модели).

Для определения коэффициентов трения, входящих в формулу (1), проводили дополнительные опыты. Так, коэффициент трения ячеистого каркаса по основанию (наждачной бумаге) определяли на этой же установке без заполнения грунтом (при различной его пригрузке сверху). Усредненное из 6 опытов значение коэффициента составило  $f_k = 0,9$  при диапазоне его изменения 0,82...1,03.

Коэффициент трения грунта-заполнителя по наждачной бумаге основания, необходимый для расчетов степени зависания, определяли в специальной серии опытов (конструкция описана в [9]). В установке для определения сдвигающей силы был использован высокоточный динамометр с ценой деления 0,01 г, что повысило точность измерений в 5 раз по сравнению с предыдущими опытами. По результатам опытов (с различными пригрузками пластины) получен коэффициент трения грунта по наждачной бумаге  $f_{гр} = 0,6$ .

Во всех опытах на последних стадиях нагружения сдвигающие нагрузки задавались малыми порциями: на модели сооружения они составляли 0,1...0,15 кг, в сдвиговом лотке – 0,04...0,08 кг. Это позволило получить в большинстве опытов графики связи сдвигающей нагрузки и смещений модели относительно плавных очертаний.

Из двух опытов по сдвигу модели сооружения получена усредненная сдвиговая сила  $W = 54$  кг, причем с близкими друг к другу значениями (при весе грунта и каркаса  $G_{гр} = 55$  кг и  $G_B = 16,9$  кг).

Как показывают расчеты по формуле (1), для этих условий степень зависания, полученная непосредственно в условиях сдвига, составляет 0,39. Попробуем понять причину уменьшения степени зависания в процессе сдвига.

Напряженные состояния ячеистой конструкции с грунтом до сдвига и в процессе сдвига различны [10]. Если до сдвига ячейки ее стенки в нижней части испытывают одинаковые горизонтальные давления  $\sigma_{я}$ , то при сдвиге у основания напорных стенок возникает навал грунта, сопровождаемый возникновением пассивного давления  $\sigma_{пас}$ , а у передних стенок

– отвал грунта и уменьшение давления (рис. 3). Оценим, в какой мере это может изменять распределение нагрузок между стенками и основанием.

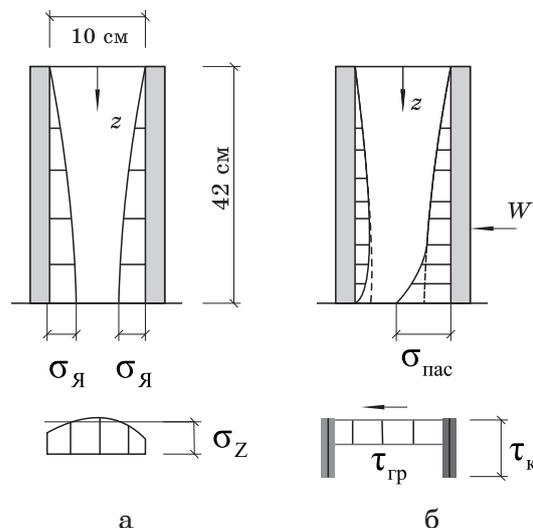


Рис. 3. Напряжения в ячейке и ее основании: а – состояние покоя; б – сдвиг;  $\sigma_{я}$ ,  $\sigma_{пас}$  – горизонтальное давление на стенки до сдвига и после сдвига соответственно;  $\tau_{к}$ ,  $\tau_{гр}$  – касательные напряжения при сдвиге под заполнителем и каркасом соответственно

Опыты В. В. Алипова показывают, что давление на стенках в процессе сдвига изменяется не по всей высоте ячейки, а лишь в пределах  $h = (1,0...1,5)a$  ( $a$  – ширина ячейки) [11].

Дадим оценку напряженному состоянию грунта до сдвига в ячейке, высота которой равна усредненной высоте модели четырехячеистого сооружения (42 см) при плановых размерах ячеек 10x11 см (см. рис. 3). Здесь горизонтальное давление грунта на стенки у основания по формуле Янсена составляет  $\sigma_{я} = \gamma R / f_{гр} = 1,5 \times 2,62 / 0,6 = 6,5$  г/см<sup>2</sup>, где  $f_{гр} = 0,6$  – коэффициент трения грунта по стенкам, оклеенным наждачной бумагой.

Для ячейки, находящейся в покое, у которой степень зависания  $m = 0,75$ , вертикальное давление грунта на основание  $\sigma_z = \gamma H (1 - m) = 1,5 \times 42(1 - 0,75) = 15,75$  г/см<sup>2</sup> (см. рис. 3а).

Определим величины касательных напряжений, возникающих в подошве модели высотой 42 см при сдвиге:

$$\tau_{гр} = \sigma_{я} f_{гр} = 6,5 \times 0,6 = 3,9 \text{ г/см}^2.$$

Рассчитаем также касательные напряжения под каркасом четырехступенчатой

модели сооружения (см. рис. 2). Эти напряжения, как известно, определяются произведением коэффициента трения на вертикальные напряжения под каркасом, где последние образуют вес самого каркаса и вес грунта, зависшего на его стенках:

$$\tau_k = \sigma_k f_B = (G_B + m G_{гр}) A_B \times f_B = (16\,900 + 0,75 \times 54\,000) 244 \times 0,9 = 126,1 \text{ г/см}^2,$$

где  $G = 16\,900 \text{ г}$ ;  $G_{гр} = 54\,000 \text{ г}$ ; степень зависания в состоянии покоя  $m = 0,75$ ; площадь подошвы каркаса модели  $A_B = 244 \text{ см}^2$ ; коэффициент трения под каркасом из опытов  $f_B = 0,9$ .

Как видим, расчетные касательные напряжения в начальный момент сдвига под ячеистым каркасом составляют  $\tau_k = 126,1 \text{ г/см}^2$ , под заполнителем  $\tau_{гр} = 9,2 \text{ г/см}^2$  (см. рис. 3).

Касательные напряжения в грунте у подошвы, как и пассивное давление, затухают на некоторой высоте  $h$ . Эту высоту, по мнению авторов, можно принять из выражения  $h = \sigma_z / \gamma = 15,75 / 1,5 = 10,5 \text{ см}$ , что согласуется с опытными данными Алипова о высоте активного слоя [11]. Слой грунта такой высоты обеспечит давление грунта на основание, эквивалентное давлению в ячейке. Тогда можно считать, что именно этот слой грунта, вовлеченный в движение в процессе сдвига, создает реактивное (пассивное) давление на стенку.

Эпюру пассивного давления при такой предпосылке можно рассматривать в виде треугольника высотой  $h$  (рис. 4).

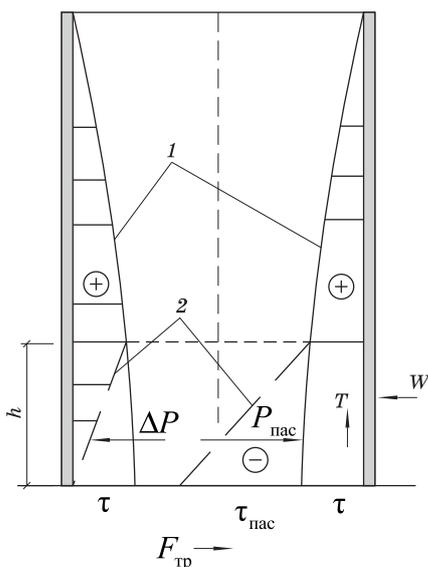


Рис. 4. К изменению давления грунта на стенки ячейки при сдвиге: 1 – эпюры касательных напряжений до сдвига; 2 – то же после сдвига силой  $W$

Призма грунта в ячейке высотой  $h$  имеет вес  $G = \gamma \times h \times a \times b = 1,5 \times 10,5 \times 10 \times 11 = 1732,5 \text{ г}$ . При сдвиге этой призмы по основанию с коэффициентом трения  $f = 0,6$  сила трения равна:

$$F_{тр} = Gf = 1732,5 \times 0,6 = 1039,5 \text{ г}.$$

Сила трения в основании направлена против движения. Касательные напряжения в грунте у подошвы направлены вдоль силы  $W$ . По закону парности касательных напряжений они, затухая по линейному закону в пределах высоты  $h$ , у напорной стенки должны создавать силу трения  $T$ , направленную вверх (см. рис. 4).

Сила  $T$ , возникшая при сдвиге, направлена против сил гравитации, что должно привести к уменьшению степени зависания и одновременно к повышению давления грунта засыпки на основание (в работе [11] этот результат находит подтверждение).

Оценим величину силы  $T$ . Если в основании возникает касательное напряжение  $\tau_{гр} = 9,2 \text{ г/см}^2$ , которое затухает на высоте  $h$  по линейному закону, то площадь эпюры с учетом ширины ячейки  $b$  (равнодействующая) равна  $T = 0,5h \times b \times \tau_{гр} = 0,5 \times 13,44 \times 11 \times 9,2 = 680 \text{ г}$ .

Сила  $T$  по отношению к полному весу грунта в ячейке высотой 42 см ( $54000:8 = 6750 \text{ г}$ ) составляет 10,1 %. Это происходит в процессе сдвига, если  $\tau_{гр}$  не изменяется.

Такую силу создает реактивное пассивное давление грунта величиной  $p_{пас} = T / \text{tg } \delta = 680 / 0,6 = 1133,3 \text{ г}$ . Если эпюра пассивного давления имеет высоту  $h$ , а ее равнодействующая определяется из формулы треугольника  $p_{пас} = 0,5\gamma \times h^2 \times \lambda \times b$ , то коэффициент горизонтального давления  $\lambda = p_{пас} / 0,5\gamma h^2 = 1355,2 / 0,5 \times 1,5 \times 13,44^2 = 0,91$ . Как видим, коэффициент близок к единице, что свидетельствует о пассивном характере возникшего давления грунта.

При сдвиге одновременно уменьшается горизонтальное давление на переднюю стенку. Если считать, что у подошвы давление уменьшается от величины  $\sigma_{я} = 6,5$  до нуля (как показывают опыты [11]), то, считая эпюру убывающих горизонтальных давлений в виде треугольника высотой  $h$ , найдем ее равнодействующую:  $\Delta p = 0,5\sigma_{я} \times h \times b = 0,5 \times 6,5 \times 13,44 \times 11 = 480,5 \text{ г}$ . Эта сила по отношению к полному весу ячейки составляет 7,1 %.

Кроме того, при сдвиге ячейки возникает сила трения грунта по ее боковым стенкам. Если считать, что эта сила трения возникает (под действием давления  $p_1$  на рис. 5) на боковой стенке в пределах прямоугольного треугольника длиной  $a$  и высотой  $h$  у напорной грани со средней ординатой касательного напряжения  $\tau_{гр}/2$ , то для двух стенок  $2T_1 = 2 \times 0,5 \times a \times h \times (\tau_{гр}/2) = 2 \times 0,5 \times 10 \times 13,44 \times 9,2/2 = 618,2$  г, что составляет 9,2 % по отношению к полному весу грунта в ячейке высотой 42 см.

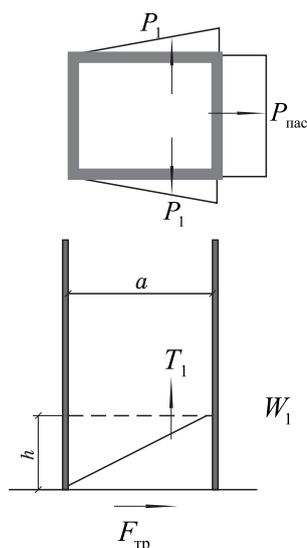


Рис. 5. К определению сил трения у боковых стенок:  $p_1$  – давление грунта на боковые стенки;  $T_1$  – сила трения на боковых стенках

Таким образом, суммарный эффект уменьшения степени зависания для нашего примера составляет:  
 $10,1 + 7,1 + 9,2 = 26,4$  %.

До сдвига, как отмечалось, степень зависания составляла 75 %. После сдвига получаем:  $75 - 26,4 = 48,6$  %, что на 9,6 % больше, чем в проведенных опытах (39 %). Вопрос требует дополнительного изучения.

#### Выводы

Степень зависания грунта на стенках ячейистой конструкции в состоянии покоя модели (до сдвига) составляет 75 %.

При сдвиге ячейистой конструкции на жестком основании степень зависания грунта на стенках уменьшается. Применительно к модели рассматриваемого подпорного сооружения ячейистой конструкции уменьшение составляет 26,4 %.

Причинами уменьшения зависания является развитие сил трения при сдвиге: у напорной грани, направленной вверх; у боковых граней ячейки, направленных вверх; уменьшение силы трения у передней стенки.

Величина уменьшения степени зависания в процессе сдвига требует дополнительного исследования.

1. Шарков В. П. О расчете вертикального давления заполнителя в ячейистых сооружениях в условиях жесткого дна / Социально-экономические и экологические проблемы сельского и водного хозяйства: материалы Межд. научно-практич. конф. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2010. – Ч. 2. – С. 329–340

2. Латышенков А. М. Лабораторные исследования давления загрузки в ряжах // Гидротехническое строительство. – 1938. – № 5. – С. 7–10.

3. Вятских Н. М. Опытная проверка предпосылок расчета высоких ряжей как силосов // Известия НИИГ. – Т. 12. – 1934. – С. 70–91.

4. Шарков В. П. О резерве устойчивости ячейистых сооружений на скальном основании // Гидротехническое строительство. – 2001. – № 2. – С. 20–24.

5. Акимова К. С. Сравнение расчетных методов и экспериментальных величин давления засыпки на стенки ячейистых гидротехнических сооружений: Роль молодых ученых в модернизации мелиоративной науки: Материалы научно-технической конференции. – М.: ФГБОУ ВПО МГУП, 2014. – С. 3–8.

6. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбозащитные и рыбопропускные сооружения: СНиП 2.06.07.87 / Госстрой. – М.: ЦИТП Госстроя, 1989. – 40 с.

7. Коваль Ю. Д., Гонтарь Ю. В. К вопросу о величине давления засыпки на стенки ячейистых конструкций гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. – 1963. – № 1. – С. 30–33

8. Бахтин Б. М., Шарков В. П. О степени зависания грунта-заполнителя ячеек в условиях сдвига: Проблемы развития мелиорации и водного хозяйства и пути их решения: материалы Международной научно-практ. конф. – М.: ФГБОУ ВПО МГУП, 2011. – Ч. 3 Безопасность гидротехнических сооружений. – С. 3–12.

9. Кошабо П. В., Евстигнеев С. Г. Экспериментальное изучение сопротивления сдвигу по контакту ячеистого сооружения с грунтовым основанием: Роль молодых ученых в развитии мелиоративной науки: Материалы научно-практ. студ. конф. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2010. – С. 55–60.

10. Бахтин Б. М., Шарков В. П. Степень зависания грунта-заполнителя ячеек в условиях сдвига: Проблемы развития мелиорации и водного хозяйства и пути их решения: материалы Междунар. научно-практ. конф. – М.: ФГБОУ ВПО МГУП, 2011. – Ч. 3. Безопасность гидротехнических сооружений. – С. 3–12.

11. Алипов В. В. Исследование давления грунтового заполнителя в железобетонных гидротехнических сооружениях ячеистой конструкции. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1965. – Вып 12. – С. 89–103.

Материал поступил в редакцию 16.06.14.

**Бахтин Бронислав Михайлович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Гидротехнические сооружения»  
Тел. 8 (499) 976-24-60

**Шарков Вячеслав Петрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидротехнические сооружения»  
Тел. 8 (499) 976-24-60

УДК 502/504:627.8:626.22–628.113

## А. В. КЛОВСКИЙ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»  
Институт природообустройства имени А. Н. Костякова

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ФРОНТАЛЬНЫХ ДОННЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ПОРОГОВ ПОСТОЯННОЙ И ПЕРЕМЕННОЙ ВЫСОТЫ

*Рассмотрены общие вопросы проектирования и эксплуатации донных циркуляционных порогов, отмечены основные противоречия в рекомендациях по их устройству. Изложены элементы лабораторной методики исследований гидравлических условий работы фронтальных донных циркуляционных порогов. Приведены результаты сравнительного анализа эффективности работы фронтальных донных циркуляционных порогов постоянной и переменной высоты.*

*Бесплотинные водозаборные гидроузлы, наносы, донный циркуляционный порог, искусственная поперечная циркуляция.*

*In the article discussed general questions about designing and exploitation of bottom circulation thresholds, marked the fundamental contradictions in the recommendations on their constructing. Stated the elements of the laboratorial method of hydraulic conditions of work of the front bottom circulation thresholds researching. Given the results of the comparative analysis of efficiency of the front bottom circulation thresholds with fixed and variable height.*

*Damless intake hydroshemes, bed loads, bottom circulation threshold, simulated transverse circulation flow.*

В рамках Водной стратегии РФ до 2020 года гарантированное обеспечение водными ресурсами населения и отраслей экономики относится к числу наиболее приоритетных задач, поставленных перед учеными и инженерами водохозяйствен-

ного сектора [1]. В этой связи разработка новых и совершенствование существующих компоновочных схем и отдельных конструктивных элементов водозаборных гидроузлов, гарантирующих отбор расчетных расходов водотока с возможно