

УДК 626/628:626.22 – 628.13

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАБОТЫ КОСОНАПРАВЛЕННЫХ ( $\beta = 30^\circ$ ) ДОННЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ПОРОГОВ ПЕРЕМЕННОЙ ВЫСОТЫ

**Кловский Алексей Викторович**

аспирант

**Румянцев Игорь Семенович**

д-р тех. наук

Российский государственный аграрный университет –  
Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева  
Москва

*author@apriori-journal.ru*

**Аннотация.** В статье 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 косонаправленных донных циркуляционных порогов. Представлены полученные графики и разработанные на их основе зависимости для оценки эффективности работы данных типов порогов в качестве противонаносных элементов, возбуждающих в прямолинейном русле искусственную поперечную циркуляцию.

**Ключевые слова:** бесплотинные водозаборные гидроузлы; наносы; донный циркуляционный порог; искусственная поперечная циркуляция.

# RESEARCH RESULTS OF THE EXPERIMENTAL ISSUES OF HYDRAULIC CONDITIONS OF WORK OF THE OBLIQUE ( $\beta = 30^\circ$ ) BOTTOM CIRCULATION THRESHOLDS WITH VARIABLE HEIGHT

**Klovskiy Alexey Viktorovich**

post-graduate student

**Rumyantsev Igor Semenovich**

doctor of technical sciences

Russian State Agrarian University –  
Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow

**Abstract.** 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 oblique bottom circulation thresholds researching. Given the obtained diagrams and developed on this basis relations for assessing efficiency of these types of thresholds as protective elements, which forming in rectilinear channel simulated transverse circulation.

**Key words:** damless intake hydroshemes; bed loads; bottom circulation threshold; simulated transverse circulation.

Основной задачей, решаемой при проектировании и последующей эксплуатации всех типов водозаборных гидроузлов, является обеспечение забора расчетных расходов водотока с возможно меньшим завлечением в отвод взвешенных и донных наносов.

Несмотря на обширный научный базис исследуемого вопроса, полностью решить проблему борьбы с наносами при отводе части речного

потока пока не удалось. Связано это в первую очередь с чрезвычайным разнообразием и сложностью гидрологических и наносных условий работы водозаборов. Вместе с тем имеющиеся в научной литературе рекомендации по устройству и эксплуатации различных типов противонаносных элементов в составе водозаборных узлов, в т.ч. бесплотинных, носят весьма неоднозначный, а порой противоречивый характер [1, с. 106].

В этой связи проведение детальных лабораторных исследований гидравлических условий работы таких простых и эффективных противонаносных элементов как косонаправленные донные циркуляционные пороги с целью выявления фактического характера их взаимодействия с русловым потоком является весьма актуальным.

Выполненный авторами анализ эффективных компоновочных схем бесплотинных водозаборов показал, что на реках с тяжелыми гидрологическими и наносными режимами хорошо себя зарекомендовали донные циркуляционные пороги конструкции Г.В. Соболина – И.К. Рудакова [1, с. 104]. Предложенная конструкция донного порога, эффективно перераспределяя удельные расходы по ширине подводящего русла, способствовала возбуждению в потоке искусственной поперечной циркуляции (ИПЦ), изменяющей характер движения русловых наносов в зоне влияния защищаемого водозаборного сооружения в нужном для практики направлении. Критерием оценки интенсивности ИПЦ является относительная величина смещения динамической оси потока  $\lambda = f / B$ , где  $f$  – разница в положении центров масс эпюр удельных расходов в створе порога и на участке, находящемся вне зоны влияния порога,  $B$  – ширина подводящего русла.

Помимо искусственной поперечной циркуляции активную противонаносную функцию выполняют также защитные винтовые течения вдоль верховой и низовой граней порога, формируемые последним как обтекаемой потоком затопленной преградой [1, с. 105]. Интенсивность всех трех защитных течений зависела в общем случае от угла расположения

порога к линии берега  $\beta$ , относительной высоты донного порога  $P_{отн} = P/H_0$  ( $P$  – высота донного порога в его средней части,  $H_0$  – глубина воды бытового русла), величины стеснения потока  $n = l_{п} \cdot \sin\beta/B$  ( $l_{п}$  – геометрическая длина порога), средней скорости потока  $V_0$ , уклона верхней грани порога  $i_{п}$ .

Здесь необходимо отметить, что рекомендации по проектированию донных циркуляционных порогов носят весьма противоречивый характер. Принципиальными здесь являются вопросы целесообразности устройства порогов постоянной и переменной высоты, а также их рациональной плановой ориентации относительно береговой линии [1, с. 105-106].

Так для косонаправленных донных циркуляционных порогов (по Г.В. Соболину рекомендуемый угол установки порога к берегу  $\beta = 15^\circ \dots 30^\circ$ , по В.С. Бондаренко  $\beta = 30^\circ \dots 60^\circ$ ) исследователями было сформулировано положение о необходимости придания верхней грани порога уклона по направлению течения (т.е. устройство порогов переменной высоты). Результаты исследований донных циркуляционных порогов постоянной высоты, выполненных В.А. Шаумяном, показали возможность и практическую целесообразность устройства порогов фронтальными ( $\beta = 90^\circ$ ) ввиду образования со стороны верховой грани порога застойной области, обтекаемой русловыми наносами.

На основании вышеизложенного нами было принято решение о необходимости проведения серии лабораторных исследований гидравлических условий работы фронтальных донных циркуляционных порогов постоянной и переменной высоты. Целью данной экспериментальной серии было проведение сравнительного анализа эффективности формирования каждым из типов порогов искусственной поперечной циркуляции, а также выявление характера влияния постоянной и переменной высоты порога на скоростной режим защитных винтовых течений вдоль его верховой и низовой граней.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что в общем случае интенсивность искусственной поперечной циркуляции, возбуждаемой фронтальными донными циркуляционными порогами переменной высоты выше, чем порогами постоянной высоты. Это положение справедливо как для фронтальных донных циркуляционных порогов [2, с. 82-83], так и для косонаправленных донных циркуляционных порогов [1, с. 105]. Здесь необходимо отметить, что придание порогу переменной высоты не снижает интенсивности защитных винтовых течений вдоль верховой и низовой граней донной преграды, что также подтверждает целесообразность придания верхней грани порога уклона в направлении не перекрытой части русла [3, с. 99].

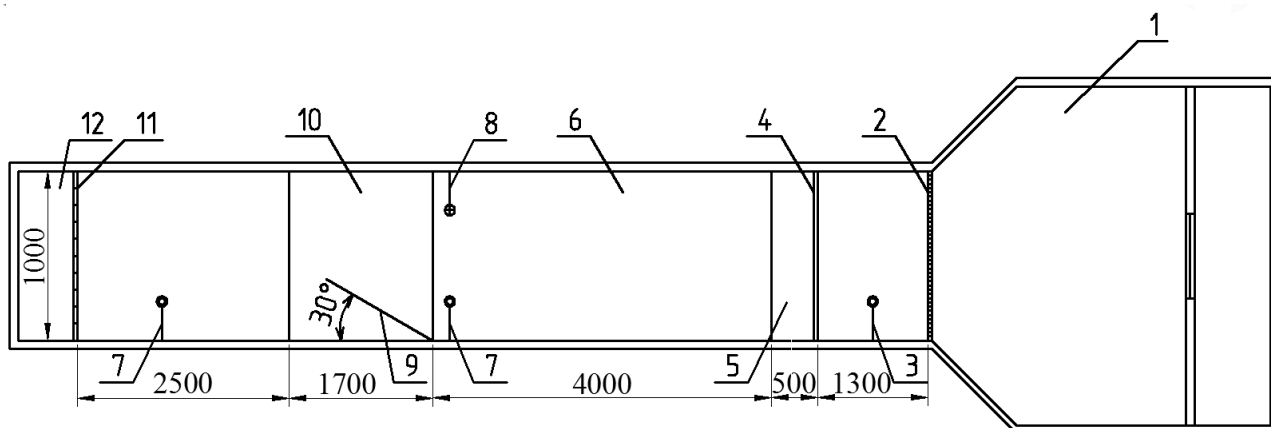
В этой связи дальнейшие экспериментальные исследования были направлены на изучение действительного характера взаимодействия косонаправленных донных циркуляционных порогов переменной высоты с русловым потоком.

Результаты исследований гидравлических условий работы косонаправленных ( $\beta = 75^\circ, 60^\circ, 45^\circ$ ) донных циркуляционных порогов свидетельствовали о снижении интенсивности формируемой в потоке ИПЦ при уменьшении угла установки порога  $\beta$  к береговой линии. Также значительно снижались защитные функции винтовых течений вдоль низовой грани преграды. Вместе с тем защитные винтовые течения вдоль верховой грани порога получали в этом случае большее развитие [4, с. 39-41].

В настоящей статье приведены результаты исследований гидравлических условий работы косонаправленных ( $\beta = 30^\circ$ ) донных циркуляционных порогов переменной высоты применительно к оценке эффективности возбуждения ими искусственной поперечной циркуляции.

Запроектированная и построенная нами для проведения лабораторных исследований экспериментальная установка представляла собой гидравлический лоток прямоугольного сечения шириной 1 м и длиной рабочей части 9 м (рис. 1). Учитывая сложность изучаемых явлений,

оценка эффективности работы порогов проводилась «в чистом виде» – в условиях недеформированного отводом потока.



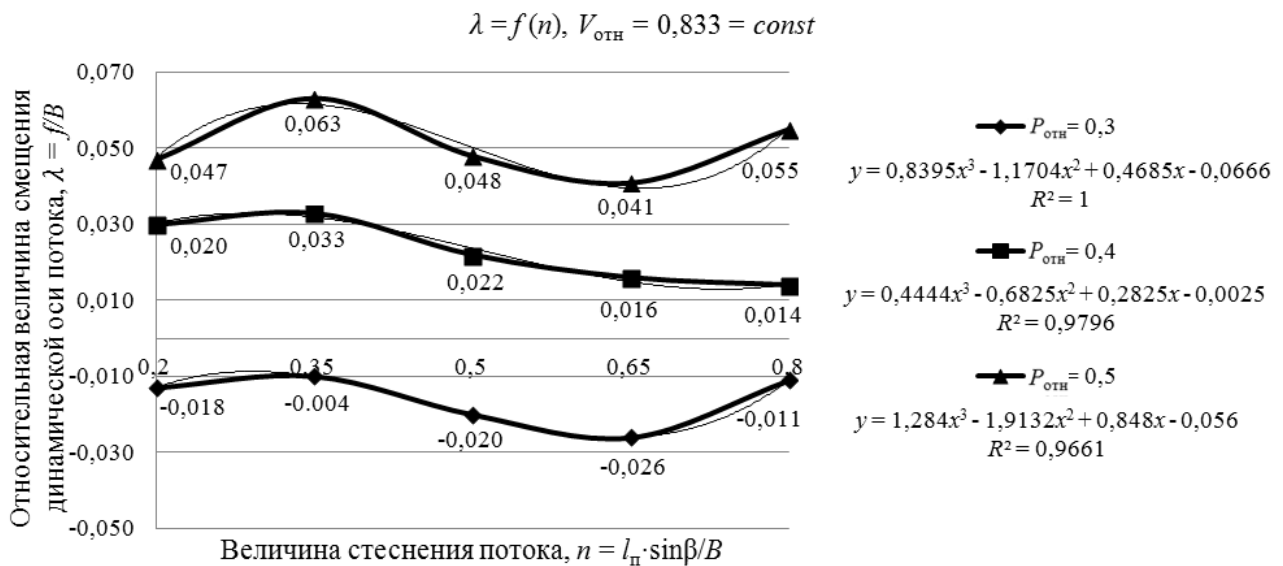
1 – водоприемный бак, 2 – успокоительная решетка, 3- шпигенмасштаб, 4 – мерный водослив, 5 – успокоительная конструкция, 6 – лоток, 7 – подвижные шпигенмасштабы, 8 – микровертушка, 9 – косонаправленный донный циркуляционный порог, 10 – область установки порогов, 11 – жалюзный затвор, 12 – сбросной колодец

**Рис. 1. Схема экспериментальной установки**

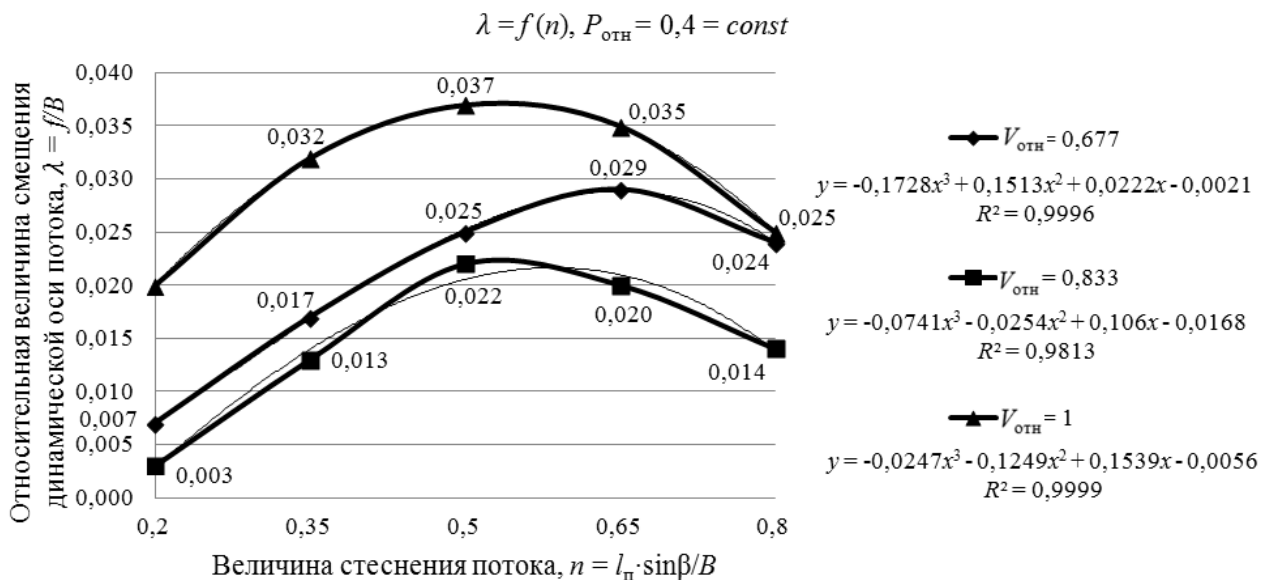
Ввиду отмеченного предыдущими исследователями диапазона эффективности работы донных циркуляционных порогов  $P/H_0 = (0,25...0,5)$ , возможностей лабораторной установки и необходимости оценки объективности полученных результатов нами были исследованы 5 режимов работы каждого типа порога, где  $Q$  – расход, л/с:

- 1)  $P = P_{cp} = 0,5 \cdot H_0$ ;  $H_0 = 12$  см;  $V_0 = 25$  см/с =  $0,833 \cdot V_{0,max}$ ;  $Q = 30$  л/с;
- 2)  $P = P_{cp} = 0,4 \cdot H_0$ ;  $H_0 = 15$  см;  $V_0 = 20$  см/с =  $0,667 \cdot V_{0,max}$ ;  $Q = 30$  л/с;
- 3)  $P = P_{cp} = 0,4 \cdot H_0$ ;  $H_0 = 15$  см;  $V_0 = 25$  см/с =  $0,833 \cdot V_{0,max}$ ;  $Q = 37,5$  л/с;
- 4)  $P = P_{cp} = 0,4 \cdot H_0$ ;  $H_0 = 15$  см;  $V_0 = 30$  см/с =  $V_{0,max}$ ;  $Q = 45$  л/с;
- 5)  $P = P_{cp} = 0,3 \cdot H_0$ ;  $H_0 = 20$  см;  $V_0 = 25$  см/с =  $0,833 \cdot V_{0,max}$ ;  $Q = 50$  л/с.

Величина стеснения потока  $n$  в условиях проведения эксперимента принимала значения 0,2; 0,35; 0,5; 0,65; 0,8. В зависимости от  $n$  менялись и значения  $i_n$ , находившиеся в пределах от 0,0154 до 0,05.



а)



б)

а) – функциональные зависимости  $\lambda = f(n)$  для рассматриваемых значений  $P_{отн}$  при  $V_{отн} = 0,833 = const$ ;

б) – функциональные зависимости  $\lambda = f(n)$  для рассматриваемых значений  $V_{отн}$  при  $P_{отн} = 0,4 = const$ .

**Рис. 2. Косонаправленные ( $\beta = 30^\circ$ ) донные циркуляционные пороги переменной высоты**

В соответствии с принятой методикой проведения экспериментальных исследований в створе порога выделялось 11 промерных вертикалей с шагом 10 см в поперечном направлении. Для величин стеснения потока  $n = 0,35$  и  $n = 0,65$  и вводилась дополнительная 12 промерная вертикаль на удалении 35 см и 65 см соответственно от места примыкания порога к борту лотка.

Для определения величины смещения динамической оси потока  $f$  микровертушкой промерялись скорости на промерных вертикалях в створе порога. Глубины в расчетных точках промерялись при помощи подвижного шпигенмасштаба. По полученным данным были построены эпюры удельных расходов в створе порога, имевшие в каждом случае смещение центра тяжести относительно оси симметрии подводящего русла. После для каждого расчетного случая определена относительная величина смещения динамической оси потока  $\lambda = f/B$  как один из основных показателей интенсивности возбуждаемой в потоке поперечной циркуляции.

На рис. 2 представлены полученные графики и разработанные на их основе зависимости, характеризующие интенсивность формируемой в потоке ИПЦ порогами рассматриваемой конструкции.

## Выводы

Дальнейшее уменьшение угла установка порога  $\beta$  вызывает снижение интенсивности формируемой в потоке искусственной поперечной циркуляции для значений  $n > 0,4$ ; вместе с тем для малых величин стеснения потока  $n \leq 0,4$  происходит некоторое увеличение значений  $\lambda$ .

Для угла установки порога  $\beta = 30^\circ$  при  $P_{отн} = 0,3$  для всех рассматриваемых значений  $n$  величина  $\lambda$  принимает отрицательные значения, что свидетельствует о возникновении в потоке ИПЦ обратного направ-



ления. Отмеченное обстоятельство снижает защитные свойства порога при данном гидравлическом режиме работы преграды.

Графики зависимостей  $\lambda = f(n)$  для донных циркуляционных порогов рассматриваемой конструкции свидетельствуют о влиянии факторов  $P_{отн}$  и  $V_{отн}$  на интенсивность возбуждаемой ИПЦ, причем степень влияния  $V_{отн}$  на характер изучаемых явлений весьма значительна.

### **Список использованных источников**

1. Румянцев И.С., Кловский А.В. Научный обзор изученности вопросов проектирования и безнаосной эксплуатации бесплотинных водозаборных гидроузлов // Международный технико-экономический журнал. 2014. № 2. С. 101-106.
2. Кловский А.В. Результаты исследований гидравлических условий работы фронтальных донных циркуляционных порогов // Международный научный журнал. 2014. № 3. С. 77-83.
3. Румянцев И.С., Кловский А.В. Результаты исследований скоростного режима защитных винтовых течений в створе фронтальных донных порогов // Приволжский научный журнал. 2014. № 2. С. 96-100.
4. Кловский А.В., Румянцев И.С. Результаты исследований гидравлических условий работы косонаправленных ( $\beta = 75^\circ$ ) донных циркуляционных порогов переменной высоты // Приволжский научный журнал. 2014. № 3. С. 36-42.