

УДК 626.824

РАСЧЕТ ПОДПОРНО-ПЕРЕГОРАЖИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ "КУБАНЬ"

Луговой А.А.– ст. преподаватель

Кубанский государственный аграрный университет

В статье приведены параметры и методика расчета подпорно-перегораживающего устройства (ППУ) для открытых оросительных каналов дождевальных машин. Эмпирические коэффициенты формул для расчета пропускной способности ППУ получены в результате исследования его масштабной модели в гидравлическом лотке научной лаборатории КубГАУ.

Засушливое кубанское лето в последние годы возродило спрос на дождевальную технику. Только на полях Динского района и города Краснодара в 2003 году эксплуатировалось 11 дождевальной машины (ДМ) "Кубань", орошавших за сезон овощные культуры и десертную кукурузу на площади более 1600 га. В 2004 году число машин увеличится ещё на шесть единиц.

Восстановление каналов-оросителей старых систем требует расчистки, ремонта облицовки, ликвидации просадок. При этом не каждый из них после 10 безнадзорных лет способен обеспечить рабочие глубины по всей длине канала. В некоторых случаях для сокращения затрат целесообразно воспользоваться внедренной в 1987 году на оросительной системе Крымского района конструкцией подпорно-перегораживающего устройства – ППУ (А. с. СССР №1445638, БИ №47, 1988). Устройство разработано для регулирования перепада уровня воды в бьефах оросителя и для автоматического пропуска из бьефа в бьеф всасывающего патрубка ДМ

"Кубань". Простые приспособления позволяют при необходимости переоборудовать сооружение в авторегулятор уровня верхнего бьефа с прекращением подачи воды в нижний бьеф через водопропускное отверстие, т. е. использовать его как подпорную перемычку.

ППУ может быть установлено в каналах-оросителях со следующими параметрами:

- строительная глубина, м $H_s \geq 1,0$;
- коэффициент заложения откосов $m \geq 1,0$;
- ширина канала по дну, м $b_k \geq 0,8$.

Геометрические размеры поперечного сечения оросителя определяют габариты неподвижной наклонной стенки и тип поплавка-затвора. Наиболее простой случай – расчет поплавка-затвора прямоугольного поперечного сечения.

В расчетах приняты обозначения, изображенные на рисунке 1.

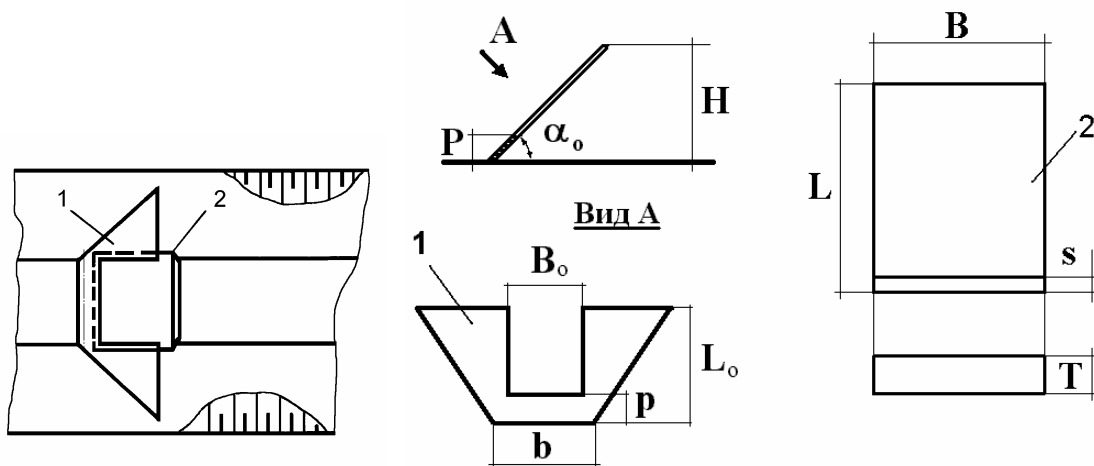


Рисунок 1 – План размещения ППУ в канале, наклонная стенка и поплавок прямоугольного сечения

При подборе размеров ППУ следует учитывать ограничения:

$$b = b_k \geq B,$$

где b – ширина наклонной стенки по дну, м;

B – ширина поплавка, м;

$$B \geq B_0 + 2u$$

где u – ширина уплотнительного контура;

B_0 – ширина отверстия в наклонной стенке, м;

$B_0 \geq 0,6$ – условие беспрепятственного пропуска всасывающего патрубка ДМ "Кубань",

$$P = T,$$

где P – высота порога наклонной стенки, м;

T – высота поплавка в горизонтальном положении, м;

$$H \leq H_s - H_z,$$

где H_z – сухой запас (защита от переполнения верхнего бьефа), м.

Из рисунка 1 видны геометрические зависимости:

$$P = p \sin a_0 \quad \text{и} \quad H = L_0 \sin a_0 \quad (1)$$

где p – расстояние от линии пересечения стенки и дна канала до порога стенки, м;

a_0 – угол наклона, рад;

H – высота гребня наклонной стенки над дном канала, м;

L_0 – длина наклонной стенки, м.

В расчетах поплавок-затвора трапецеидального сечения приняты обозначения, изображенные на рисунке 2.

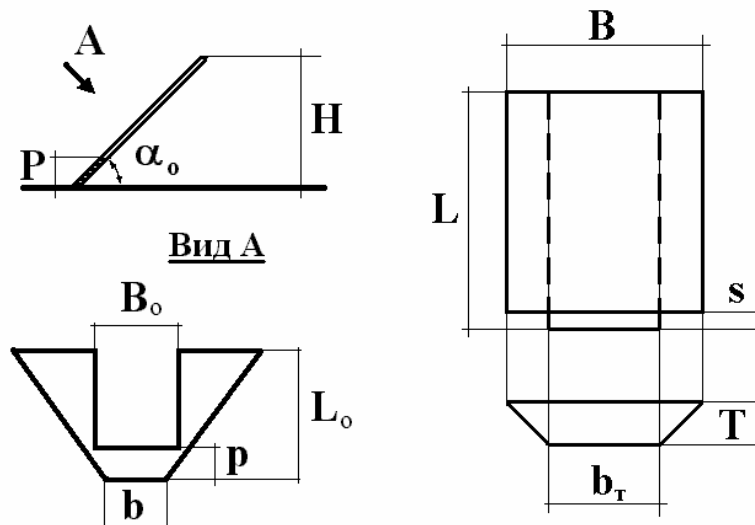


Рисунок 2 – Наклонная стенка и поплавок трапецидального сечения

При подборе размеров ППУ с трапецидальным поплавком-затвором следует учитывать ограничения:

$$b_t \leq b_k;$$

где b_t – ширина меньшего основания трапецидального поплавка, м;

$B \geq B_0 + 2u$, где u – ширина уплотнительного контура, м;

$B \leq b_k + 2Tm$, – условие горизонтальности нижнего положения поплавка,

где m – коэффициент заложения откоса канала;

(иначе поплавок-затвор ляжет не на дно канала, а на его откосы).

После выбора геометрических параметров устройства необходимо произвести гидравлический расчет.

В работе ППУ можно условно выделить два гидравлических режима пропуска расхода воды:

- а) наполнение канала (затвор-поплавок лежит на дне или приподнят);
- б) поддержание заданного уровня воды в нижнем бьефе.

В первом случае пропускная способность ППУ определяется параметрами неподвижной наклонной стенки. Работа дождевальной машины начинается лишь после наполнения канала оросителя, и поэтому пропускная способность ППУ в этом режиме не является ограничивающим фактором. Кроме того, расходная характеристика ППУ в открытом положении может быть выше, чем параметры подающего в ороситель сооружения.

Во втором случае пропускная способность ППУ определяется параметрами отверстия, образуемого неподвижной наклонной стенкой и затвором-поплавком. Второй режим в наибольшей степени определяет свойства системы регулирования водораспределения, такие как: точность поддержания уровня воды в нижнем бьефе, величина перепада, динамические параметры.

Пропуск воды через ППУ можно представить как истечение через два асимметричных противоположащих подтопленных водослива треугольного профиля с изменением направления потока на 90° . Поскольку в литературных источниках рекомендации для расчета подобных водосливов в трапецидальном канале автором не обнаружены, формула пропускной способности ППУ выведена преобразованием известных гидравлических зависимостей. В основу расчета положено предположение о независимости подтопленной и неподтопленной частей струи.

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (2)$$

где Q – общий расход через ППУ, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q_1 – расход неподтопленной части струи, $\text{м}^3/\text{с}$;

Q_2 – расход подтопленной части струи, $\text{м}^3/\text{с}$.

Расход неподтопленной части струи определяется по формуле

$$Q_1 = 2 \int_0^z m_1 B \frac{H-z}{H} \sqrt{2gz} dz, \quad (3)$$

где \tilde{m}_1 коэффициент расхода отверстия, учитывающий потери напора и степень сжатия струи;

z – перепад, м;

H – глубина воды в верхнем бьефе, м;

B – ширина поверхности струи, м; в свою очередь она определяется по формуле:

$$B = H(\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \alpha_0), \quad \bullet \bullet$$

где $\tilde{\alpha}$ – угол наклона к горизонту поплавка-затвора, рад;

$\tilde{\alpha}_0$ – угол наклона к горизонту неподвижной стенки ППУ, рад.

Расход через подтопленную часть отверстия с учетом скорости подхода определяется из выражения:

$$Q_2 = 2m_2 w \sqrt{2g \left(z + \frac{aV^2}{2g} \right)}, \quad (5)$$

где m_2 – коэффициент расхода;

w – площадь отверстия, м²;

V – скорость течения воды на подходе к сооружению, м/с.

Интегрируя выражение (3) получим:

$$Q_1 = 2m_1 B \sqrt{2g} \left(\frac{2}{3} z^{\frac{3}{2}} - \frac{2}{5} \frac{z^{\frac{5}{2}}}{H} \right), \quad (6)$$

или с учетом (4):

$$Q_1 = \frac{4}{15} m_1 (ctg a - ctg a_0) \sqrt{2g} (5H - 3z) z^{\frac{3}{2}}. \quad (7)$$

Рассмотрим выражение для определения Q_2 . Полагая, что

$$w = (ctg a - ctg a_0)(H - z)^2.$$

и пренебрегая малой величиной скоростного напора на подходе к сооружению находим:

$$Q_2 = m_2 (ctg a - ctg a_0)(H - z)^2 \sqrt{2gz}. \quad (8)$$

Подставляя полученные значения расходов Q_1 и Q_2 в исходное уравнение (2) определим суммарный расход через ППУ, допуская, что $m = m_1 = m_2$:

$$Q = m(ctg a - ctg a_0) \left[(H - z)^2 + \frac{4}{15} (5H - 3z)z \right] \sqrt{2gz}. \quad (9)$$

Преобразуем далее в вид

$$Q = m(ctg a - ctg a_0) \left(1 - \frac{2}{3} \frac{z}{H} + \frac{1}{5} \frac{z^2}{H^2} \right) H^2 \sqrt{2gz}. \quad (10)$$

Произведение безразмерного коэффициента $\left(1 - \frac{2}{3} \frac{z}{H} + \frac{1}{5} \frac{z^2}{H^2} \right)$ и коэффициента расхода • обозначим новым коэффициентом:

$$m_a = m \left(1 - \frac{2}{3} \frac{z}{H} + \frac{1}{5} \frac{z^2}{H^2} \right). \quad (11)$$

Теперь окончательно:

$$Q = m_a (ctg a - ctg a_0) H^2 \sqrt{2gz}. \quad (12)$$

Таким образом, теоретический расчет позволяет утверждать, что величина расхода через ППУ будет пропорциональна приведенному

коэффициенту расхода m_a , разности котангенсов углов наклона неподвижной стенки и затвора, и величине $H^2 \sqrt{2gz}$.

Следует учитывать, что расход, определяемый по формуле (12) не может превышать расход, пропускаемый отверстием шириной B_0 в неподвижной наклонной стенке ППУ при полностью открытом затворе-поплавке. По исследованиям водослива (подобного наклонной стенке ППУ) Ю. М. Константинова и Е. А. Гижы величина расхода через наклонный (по течению) водослив с боковым сжатием определяется по формуле:

$$Q = Am_0 B_0 H^{\frac{3}{2}} \sqrt{2g}, \quad (13)$$

где A – коэффициент, учитывающий совместное влияние наклона неподвижной стенки и бокового сжатия;

m_0 – коэффициент расхода вертикального водослива.

Экспериментальная проверка пропускной способности модели ППУ при горизонтальном положении поплавка подтвердила возможность использования формулы (13) для расчета расхода с достаточной точностью.

Выявленные зависимости (12) положены в основу экспериментальных гидравлических исследований модели устройства, изготовленной в масштабе 1:4 по критерию гравитационного подобия Фруда.

Исследования пропускной способности ППУ проводились на экспериментальной установке, изображенной на рисунке 3. На первом этапе в соответствии с теорией математического планирования эксперимента был составлен список факторов, оказывающих влияние на гидравлическую характеристику устройства. Отсеивающим экспериментом установлен единственный существенно значимый для исследуемого диапазона фактор – угол открытия поплавка-затвора. Цель дальнейших исследований заключалась в определении зависимости приведенного коэффициента

расхода m_a от угла наклона поплавок, при фиксированном угле наклона неподвижной стенки.

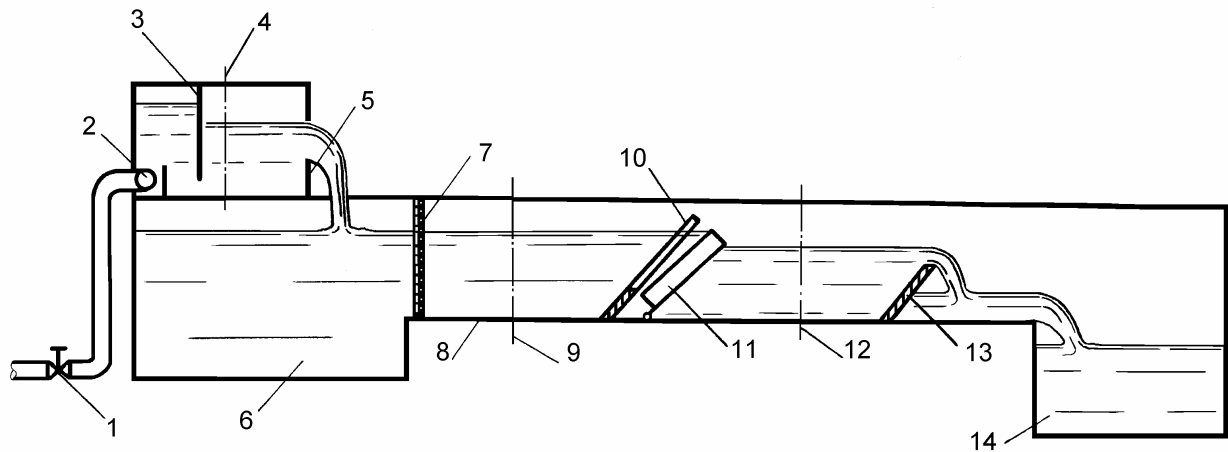


Рисунок 3 – Схема экспериментальной установки

1 – задвижка; 2 – гаситель-флейта; 3 – гаситель-стенка; 4, 9, 12 – створы установки пьезометров; 5 – мерный водослив; 6 – бак-успокоитель; 7 – гаситель; 8 – трапецеидальный лоток; 9 – клапанный затвор; 10 – неподвижная наклонная стенка; 11 – затвор-поплавок; 13 – регулируемая подпорная перемычка; 14 – коллектор.

Данные исследований для угла наклона неподвижной стенки $a_0 = 45^\circ$ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Экспериментальные значения коэффициента m_a

Номер серии	Угол наклона поплавок a , град		
	30	35	40
1	0,420	0,483	0,648
2	0,470	0,489	0,656
3	0,444	0,495	0,658

4	0,449	0,511	0,648
5	0,438	0,497	0,635
6	0,436	0,512	0,636
7	0,436	0,510	0,626
Среднее значение	0,442	0,500	0,645
Стандартное отклонение	0,015	0,012	0,013

С достаточной точностью осредняет экспериментальные значения ($\pm 5\%$) линейное уравнение:

$$m_a = 0,02a - 0,18, \quad (14)$$

где a – угол наклона поплавка-затвора, град.

Таким образом, для расчета расхода, протекающего через ППУ в период поддержания уровня воды в нижнем бьефе, можно пользоваться уравнением:

$$Q = (0,02a - 0,18)(ctga - ctga_0)H^2\sqrt{2gz} . \quad (15)$$

Экспериментальные исследования на модели и действующем образце подпорно-перегораживающего устройства показали, что гидравлические параметры ППУ обеспечивают пропуск расхода дождевальнй машины 180 л/с при угле открытия $\Delta a = 10^0$ и перепаде $z = 0,14$ м.

Имеется комплект рабочих чертежей для изготовления ППУ с расчетными характеристиками.