

**ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ
ВОДОПРИЕМНОГО ОТВЕРСТИЯ ЗАПАНИ В СОСТАВЕ
КОМПЛЕКСНЫХ РЫБОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Абраменко С.Ю. – аспирант,
Крылова Н.Н. – доцент, к. т. н.,
Хаджиди А.Е. – доцент, к. т. н.

Кубанский государственный аграрный университет

Предложено теоретическое решение оптимизации конструкции запани головного мелиоративного водозабора Петровско-Анастасиевской оросительной системы при строящемся Тиховском вододелительном гидроузле на р. Кубань, позволяющее увеличить рыбозащитный эффект сооружения.

Воспроизводство и сохранение ценных видов рыб в Азово-Кубанском бассейне является одной из актуальных проблем экологической и продовольственной безопасности региона. Строительство нового вододелительного Тиховского гидроузла, где в составе головного мелиоративного водозабора будет функционировать рыбозащитное сооружение, внесет определенные коррективы в режим стока р. Кубань. Поэтому данная работа посвящена вопросу совершенствования конструкции запани для повышения эффективности защиты молоди рыб, попавших в водозаборное сооружение ПАОС.

В результате экспериментальных исследований на физической модели головного мелиоративного водозаборного сооружения ПАОС в лаборатории кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения КубГАУ установлено, что для увеличения эффективности рыбозащитного

сооружения (РЗС) типа запань необходимо дополнительное водоприемное отверстие для отвода скопившейся перед забральной стенкой сеточной камеры молоди рыб, транспортируемых потоком воды под полкой запани в месте примыкания к береговым устоям сеточных камер. В отверстии создается эжекционный эффект, при помощи которого пассивная молодь рыб потоком увлекается в рыбоотвод и попадает в водоприемник.

Для оптимизации геометрических размеров водоприемного отверстия были выполнены теоретические исследования с помощью уравнения баланса энергии в месте слияния потоков. При решении задачи сделаны следующие допущения. Считаем, что движение жидкости в сечениях до и после отверстия установившееся. Живые сечения потока остаются плоскими в месте слияния потоков. Давление в жидкости по глубине распределяется по закону гидростатики. Запишем уравнение баланса энергии для слияния потоков:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{a_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{a_2 V_2^2}{2g} + h_{1-2}, \quad (1)$$

где $Z_1; Z_2$ – геометрический напор в сечениях 1–1 и 2–2;

$p_1; p_2$ – гидростатическое давление в сечениях 1–1 и 2–2;

$V_1; V_2$ – средние скорости потока в сечениях 1–1 и 2–2;

h_{1-2} – потери энергии между сечениями 1–1 и 2–2.

1–1 и 2–2 – живые сечения, соответственно, до и после слияния потоков.

Проанализируем каждый член уравнения баланса энергии. Полка запани имеет уклон, равный 0, поэтому $Z_1 = Z_2$. Будем считать, что гидростатическое давление в сечениях изменяется незначительно [1], так как приток из аванкамеры через отверстия в запань составляет менее 10 % от расхода самой запани и около 1 % от забора воды на орошение. Поэтому

глубина потока в запани у водоприемного отверстия возрастает незначительно вследствие большой ширины по отношению к глубине потока отводящей части РЗС. Следовательно, можно принять $p_1 = p_2$.

Скорости потока в сечениях 1–1 и 2–2 заменим через соответствующие им расходы:

$$V_1 = Q_1 / \omega_1; V_2 = Q_2 / \omega_2 = (Q_1 + Q_0) / \omega_2, \quad (2)$$

где ω_1 – площадь живого сечения потока в сечении 1–1;

ω_2 – площадь живого сечения потока в сечении 2–2.

Потери энергии h_{1-2} в месте слияния потоков для установившегося движения жидкости найдем по формуле:

$$h_{1-2} = \xi V_2^2 / 2g, \quad (3)$$

где ξ – коэффициент сопротивления в месте слияния потоков, зависящий от соотношения расходов сливающихся потоков и угла слияния [2], [3].

Разность пьезометрических напоров, входящих в уравнение (1), будем вычислять по выражению:

$$\Delta H = \frac{p_1 - p_2}{\rho g}. \quad (4)$$

Заменим через $A_1 = 2g\omega_1^2$ и $A_2 = 2g\omega_2^2$. Далее будем считать, что $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ (где α – коэффициент неравномерности распределения скоростей по живому сечению потока), так как скорости потока до и после отверстия практически не изменяются или изменяются, но незначительно, вследствие малого притока расхода к запани.

С учетом всех допущений и подстановок параметров в уравнение (1) получим:

$$\Delta H = \frac{V_2^2}{2g} + x \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}. \quad (5)$$

Произведя замену скоростей потоков через соответствующие им расходы, $V_1^2 = \frac{Q_1^2}{w_1^2}$, $V_2^2 = \frac{Q_2^2}{w_2^2}$, преобразуем уравнение (5):

$$\Delta H = \frac{Q_2^2}{A_2} - x \frac{Q_2^2}{A_2} - \frac{Q_1^2}{A_1}, \quad (6)$$

$$\Delta H = Q_2^2 \left(\frac{1}{A_2} + \frac{x}{A_2} \right) - \frac{Q_1^2}{A_1}, \quad (7)$$

где $Q_2 = Q_1 + Q_0$;

Q_2 – расход запани после слияния потоков;

Q_1 – расход запани до слияния потоков;

Q_0 – расход водоприемного отверстия.

В уравнении (7) расход прямоугольного отверстия неизвестен. Для того, чтобы найти его, воспользуемся формулой расхода для больших прямоугольных отверстий в тонкой стенке при истечении под уровень. Для указанного случая зависимость будет иметь вид:

$$Q_0 = \mu \omega_0 \sqrt{2g\Delta H}, \quad (8)$$

где μ – коэффициент расхода прямоугольного отверстия;

ω_0 – площадь живого сечения водоприемного отверстия в стенке запани мелиоративного водозабора;

ΔH – перепад уровней воды перед отверстием запани в аванкамере водозабора.

При этом считаем, что приток через боковое отверстие запани происходит под действием перепада уровней ΔH . Отверстие подтоплено, следовательно, при расчете ширины водоприемного отверстия будем

учитывать степень его подтопления. В этом случае коэффициент подтопления будет зависеть от относительного перепада уровня над отверстием, то есть $\sigma_n = f(\Delta H / H_0)$, где H_0 – напор с учетом скорости подхода. Из формулы (8) найдем перепад уровней ΔH :

$$\Delta H = \frac{Q_0^2}{s_n \cdot m^2 \cdot w_0^2 \cdot 2g}. \quad (9)$$

Решая совместно уравнения (7) и (9), считая, что коэффициент расхода учитывает степень подтопления отверстия, получим выражение:

$$\frac{Q_0}{m^2 w_0^2 2g} = Q_2^2 \left(\frac{1}{A_2} + \frac{x}{A_2} \right) - \frac{Q_1^2}{A_1}. \quad (10)$$

Из полученного выражения найдем площадь водоприемного отверстия:

$$w_0^2 = \frac{Q_0^2}{m^2 2g Q_2^2 \left(\frac{1}{A_2} + \frac{x}{A_2} \right) - \frac{Q_1^2}{A_1}} \quad (11)$$

и

$$w_0 = \sqrt{\frac{Q_0^2}{m^2 2g Q_2^2 \left(\frac{1}{A_2} + \frac{x}{A_2} \right) - \frac{Q_1^2}{A_1}}}, \quad (12)$$

где $w_0 = b \cdot h_{cp}$.

Ширину водоприемного отверстия прямоугольной формы вычислим из выражения:

$$b = \frac{w_0}{h_{cp}}. \quad (13)$$

В полученную формулу (12), служащую для вычисления площади живого сечения водоприемного отверстия запани, входит коэффициент сопротивления ξ . Как видно из проведенного теоретического анализа литературных источников по слиянию потоков [2], [3], [4] и др., величина коэффициента сопротивления будет зависеть от ряда факторов, таких как угол слияния потоков, относительных расходов при слиянии потоков, формы входного отверстия. Е.А. Замарин [3] для безнапорных потоков рекомендует коэффициент сопротивления принимать от 0,4 до 1 в зависимости от условий входа потока на водослив. П.Г. Киселев [2] для напорных потоков рекомендует коэффициент сопротивления в месте слияния потоков принимать 0,5–1. А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров [3] приводят значения коэффициентов сопротивлений в месте слияния потоков в зависимости от относительных расходов, которые в зависимости от условий входа для относительного расхода 0,05–0,1 находятся в диапазоне от 0,5 до 0,8.

Приведем формулу (12) к более удобному виду, после преобразования получим:

$$w_0 = \sqrt{\frac{\bar{Q}_0^2}{m^2 2g \bar{Q}_2 \frac{1}{A_2} (1+x) - \frac{1}{A_1}}}, \quad (14)$$

где $\bar{Q}_0 = Q_0 / Q_1$; $\bar{Q}_2 = Q_2 / Q_1$.

Следовательно, анализируя зависимость (14), можно сделать вывод о том, что ширина водоприемного отверстия запани прямоугольной формы будет зависеть от относительных расходов отверстия до и после слияния потоков, площадей живых сечений 1–1 и 2–2, коэффициентов расхода и сопротивления отверстия прямоугольной формы в месте слияния потоков.

Зависимость (13) служит для вычисления ширины отверстия. Формула (14) определяет площадь живого сечения водоприемного прямоугольного отверстия запани для перехвата скапливающейся молоди рыб в толще потока между откосами аванкамеры и вертикальной её стенкой.

Будем использовать формулы (13), (14) для оптимизации геометрических размеров отверстия. Водоприемное отверстие должно обеспечивать перехват пассивной молоди рыб в наиболее напряженный период эксплуатации мелиоративного водозабора ПАОС. Водозабор ПАОС рассчитан на пропуск максимального расхода $120 \text{ м}^3/\text{с}$. Поэтому все геометрические размеры отверстия запани должны отвечать требованиям нормативной рыбозащиты на головном мелиоративном водозаборе при максимальном заборе воды на орошение риса. Максимальный забор воды ПАОС приходится на период интенсивного ската молоди рыб в р. Кубань.

При максимальном расходе $120 \text{ м}^3/\text{с}$ глубина потока в аванкамере устанавливается 4,46 м. Полка запани располагается на высоте 3 м от дна аванкамеры, поэтому можно считать, что глубина в запани будет постоянной и равной 1,46 м. Данное предположение подтверждается опытными данными, выполненными на физической модели водозабора ПАОС.

Дополнительный относительный расход притока к запани не должен снижать эксплуатационные характеристики водозабора. Назначим приток расхода к отверстию прямоугольной формы для создания эжекционной способности в диапазоне 3–10 % от расхода запани. В абсолютных величинах приток будет составлять $0,3\text{--}1,0 \text{ м}^3/\text{с}$. А по отношению к расходу водозабора ПАОС 0,25–0,83 %.

Следовательно, оптимизация геометрических размеров запани должна проходить при её расходе $11 \text{ м}^3/\text{с}$. Поэтому считаем, что относительный расход притока к водоприемному отверстию, которое

создает эффект эжекции, изменяется в относительных величинах 0,03–0,1 от максимального расхода запани. Гидравлическими расчетами установлено, что перепад уровней до и после водоприемного отверстия составляет в среднем 0,03 м при изменении относительных расходов в данном диапазоне.

Обработка опытных данных по теоретической формуле (14) выполнялась при гидравлических параметрах: относительный расход был в диапазоне 0,03–0,1; коэффициент сопротивления при входе потока в водоприемное отверстие изменялся от 0,3 до 1 [3]; коэффициент расхода $\mu = 0,25 \div 0,6$. Коэффициент μ в условиях эжекции безнапорного потока недостаточно изучен, поэтому его величину назначали из предположения, что прямоугольное отверстие может работать как большое отверстие на гребне водослива.

Результаты обработки опытных данных представлены на графиках (рис. 1–3). Установлено, что при увеличении относительного расхода водоприемного отверстия от 0,03 до 0,1 увеличивается ширина прямоугольного отверстия от 0,176 до 0,549 м (рис. 1). Данная закономерность описывается уравнением:

$$B = -4,88 \left(\frac{Q_0}{Q_1} \right)^2 + 5,84 \left(\frac{Q_0}{Q_1} \right) + 0,006, \quad (15)$$

где (Q_0 / Q_1) – относительный расход отверстия запани.

Зависимость (15) получена для коэффициента $\xi = 0,7$ [3] и при $\mu = 0,6$ [2]. Форма уравнения (15) сохраняется и для других условий слияния потока.

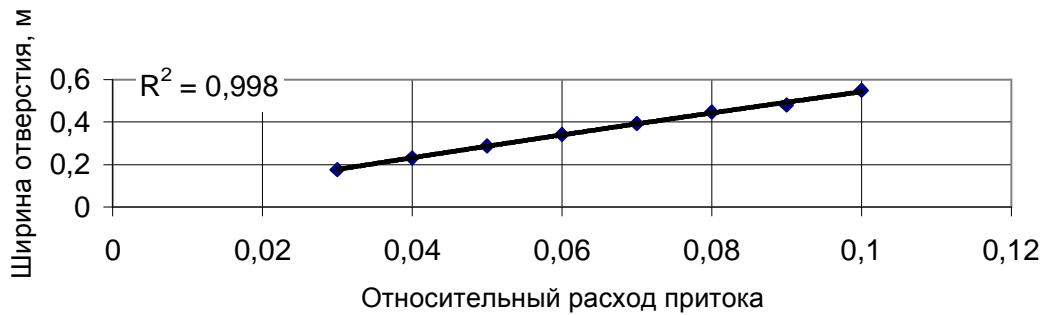


Рисунок 1 – Зависимость ширины водоприемного отверстия запани от относительного расхода

Глубина потока в запани при изменении расхода водозабора ПАОС остается постоянной, форма отверстия не меняется, изменяется ширина прямоугольного отверстия. Установим, как влияет ширина на пропускную способность отверстия. Пропускную способность можно оценить коэффициентом расхода отверстия. Установлено, что при изменении ширины отверстия от 0,549 до 1,246 м коэффициент расхода уменьшается от 0,6 до 0,3 при одном и том же расходе притока к отверстию. При дальнейшем увеличении ширины B (более 1,25 м) происходит обратное истечение потока из отверстия запани. Наблюдается отток расхода из запани в аванкамеру при постоянном относительном расходе 0,1. Следовательно, увеличение размеров отверстия запани приводит к отрицательному эффекту рыбозащиты водозаборного сооружения. На рисунке 2 представлена графическая зависимость $\mu = f(B)$, которая описывается полуэмпирической формулой:

$$m = 0,52B^2 - 1,34B + 1,17. \quad (16)$$

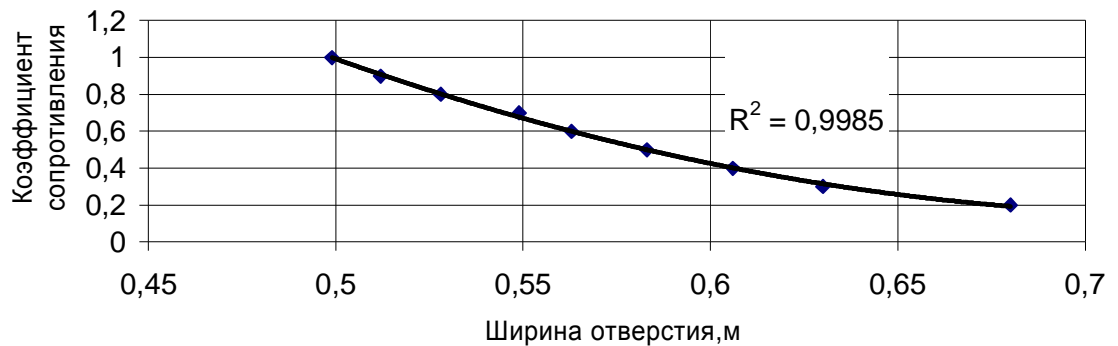


Рисунок 2 – Зависимость ширины водоприемного отверстия запани от коэффициента сопротивления

Установлено, что ширина не оказывает значительного влияния на коэффициент сопротивления отверстия ξ . Эту закономерность описывает график (рис. 3). При возрастании ξ в 5 раз ширина прямоугольного отверстия уменьшается всего в 1,35 раза. Коэффициент ξ при максимальном относительном расходе отверстия 0,1 определяется по полуэмпирической формуле:

$$x = 15,35B^2 - 22,56B + 8,43. \quad (17)$$

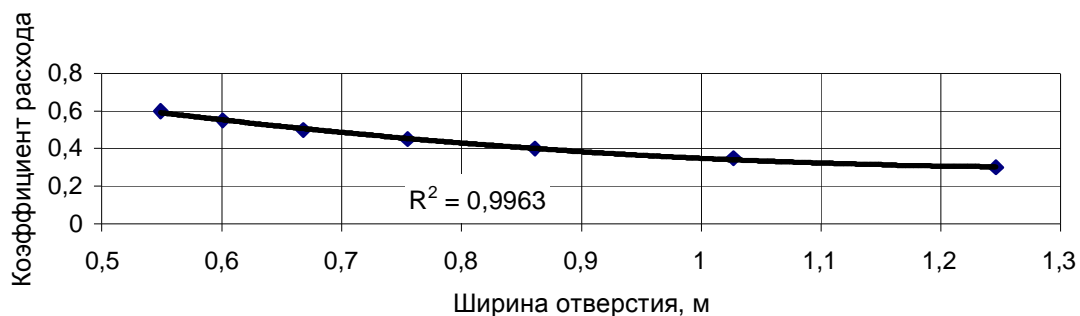


Рисунок 3 – Зависимость ширины одоприемного отверстия запани от коэффициента расхода

Для оптимизации геометрических размеров водоприемного отверстия необходимо учитывать величину притока относительного расхода к отверстию запани водозабора ПАОС и коэффициент расхода отверстия. На ширину водоприемного отверстия менее всего влияет коэффициент сопротивления.

При максимальном относительном расходе притока 0,1 и коэффициенте $\mu = 0,6$ ширина входного отверстия запани составляет 0,55 м.

Эффективность рыбозащиты молоди рыб в толще потока запанью возрастет в среднем на 10–15 %.

Список литературы

1. Крылова Н.Н. Охрана и возобновление гидрофлоры ихтиофауны / Н.Н. Крылова, С.Ю. Абраменко // Труды АВН. – Новочеркасск, 2003. – Вып. 4. – С. 41–46.
2. Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселев, А.Д. Альтшуль, Н.В. Данильченко и др. / Изд. 5-е. – М.: "Энергия", 1974. – 312 с. с ил.
3. Курганов А.М. Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров. – Л.: Стройиздат, 1973. – 408 с. с ил.
4. Гришин М.М. Гидротехнические сооружения. – М.: Гос изд-во лит. по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. – 763 с.