

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

ФГБОУ ВПО Кубанский государственный
аграрный университет

**МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
РЫБОЗАЩИТНОГО СООРУЖЕНИЯ НА ВОДОЗАБОРАХ
ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Методическое пособие
для магистров техники и технологий по направлению
280400 «Природообустройство»**

Методика исследований

Краснодар 2012

УДК 626.882(076)
ББК 38.77
К 89

Рецензент: канд. техн. наук, профессор Крылова Н.Н.

Кузнецов Е.В., Хаджиди А.Е.

Методика разработки физической модели рыбозащитного сооружения на водозаборах для оптимизации водопользования: Методическое пособие для магистров техники и технологий по направлению 280400 «Природообустройство»/Е.В. Кузнецов, А.Е. Хаджиди. – Краснодар, 2012. – 23 с.

Пособие предназначено для разработки физических моделей элементов конструкций водозаборных сооружений при выполнении гидравлических исследований. Пособие позволяет методически обосновать размеры модели исследуемой конструкции водозабора методом математического анализа. В качестве основного метода исследований приняты гидравлические критерии подобия физических величин.

Методическое пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения (протокол № 5 от 16.01.12г.)

Методическое пособие одобрено, рекомендовано и использовано в учебном процессе методической комиссией факультета Водохозяйственное строительство и мелиорация (протокол № 5 от 30.01.2012г.)

© ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», 2012

СОДЕРЖАНИЕ

	С.
ВВЕДЕНИЕ	4
1 Конструктивные особенности головного мелиоративного водозабора ПАОС	5
2 Обоснование для разработки физической модели	8
3 Моделирование РЗС «Запань» при водозаборе ПАОС	9
3.1 Обоснование расхода физической модели	9
3.2 Обоснование масштаба физической модели	10
3.3 Обоснование эквивалентной шероховатости физической модели	14
4 Методика проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях на физической модели	18
5 Оценка точности измерения гидравлических параметров	19
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	22

ВЕДЕНИЕ

Для решения научных и практических задач для народного хозяйства необходимо овладеть методиками выполнения исследований отдельных элементов или комплекса элементов различных типов гидротехнических сооружений.

Моделирование гидравлических явлений на сооружениях позволяет оптимизировать размеры конструкций сооружений, оценить воздействие потока на состояние гидробионтов водной среды, подобрать состав сооружений и их тип, проверить работоспособность сооружений во время чрезвычайных ситуаций при пропуске максимальных расходов. А так же физическое моделирование позволяет решать множество различных инженерных задач, связанных с проблемами водопользования.

В данном пособии рассмотрена методика гидравлического моделирования рыбозащитного сооружения типа «Запань».

Методика исследований адаптирована с использованием критериев гидравлического подобия физических величин к рыбозащитному сооружению Петровско – Анастасиевской оросительной системы (ПАОС).

Физическая модель рыбозащитного сооружения была разработана и построена в лаборатории кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения, на которой были проведены комплексные исследования по защите молоди рыб. Результаты исследований были рекомендованы к внедрению на водозаборе Петровско – Анастасиевской оросительной системе в Краснодарском крае.

На вододелительном Тиховском гидроузле построено головное мелиоративное водозаборное сооружение ПАОС, где в его составе имеется рыбозащитное сооружение – Запань.

Методика исследований посвящена совершенствованию конструкции запани в составе рыбоохранного комплекса для повышения эффективности защиты молоди рыб, попадающей в водозаборное сооружение ПАОС.

Данный подход по оптимизации задачи защиты молоди рыб можно использовать при модернизации и проектировании аналогичных сооружений в составе гидротехнических гидроузлов такого типа.

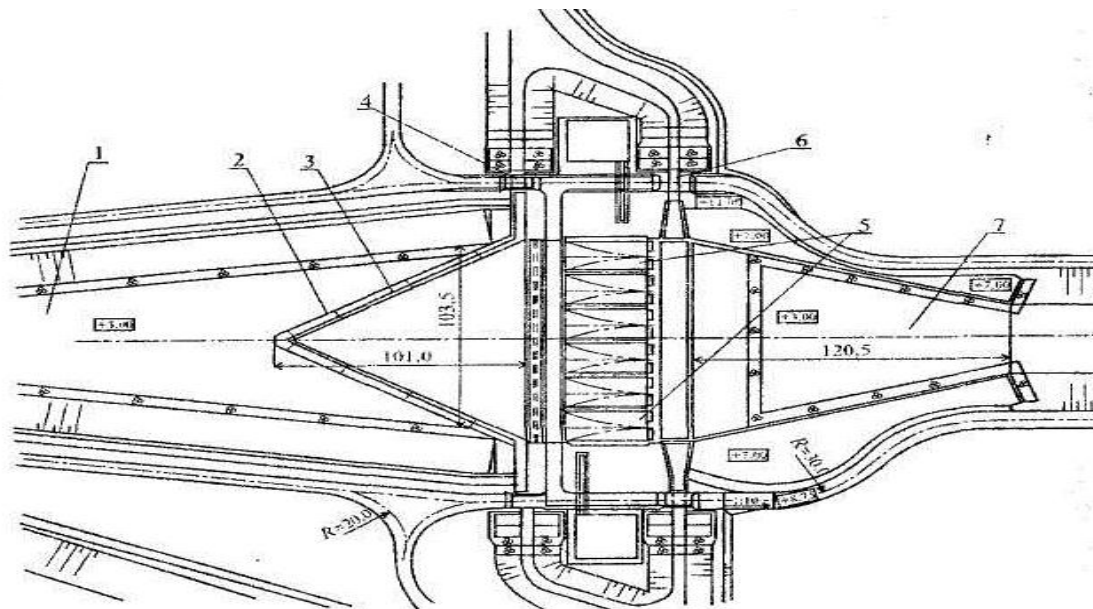
На территории Краснодарского края наблюдается дефицит водных ресурсов в вегетационный период риса. Для покрытия дефицита воды на Нижней Кубани введен в эксплуатацию Тиховский гидроузел, в состав которого входит головной мелиоративный водозабор ПАОС с проектным максимальным забором воды на орошение риса $120 \text{ м}^3/\text{с}$.

Совершенствование конструкции сооружения «Запань» позволит оптимизировать водопользование и повысить эффективность рыбозащитных мероприятий.

1 Конструктивные особенности головного мелиоративного водозабора ПАОС

Для разработки физических моделей сначала необходимо изучить современное состояние окружающей среды, исследовать основные факторы, которые будут воздействовать на водные объекты и ресурсы. В качестве примера методики разработки физической модели для исследований основных факторов был выбран головной водозабор Петровско-Анастасиевской оросительной системы.

Институтом «Кубаньводпроект» в начале 80-х гг. прошлого столетия был разработан проект водозабора Петровско – Анастасиевской оросительной системы в составе Тиховского вододелительного гидроузла на р. Кубань (рисунок 1).



1 – подводящий канал; 2 – воздуховод ВПЗ; 3 – рыбозащитная запань; 4 – рыбоотвод запани; 5 – сетчатые модули РЗУ; 6 – рыбоотвод сетчатого РЗУ, 7 – отводящий канал на ПАОС

Рисунок 1- Компоновка рыбозащитного комплекса водозабора ПАОС

Максимальный расход водозабора – 120 м³/с. Водозабор располагается в стрежневой части потока р. Кубань в месте ее деления на 2-а рукава – Кубань и Протоку. В нижнем течении р. Кубань происходит скат молоди таких ценных рыб как севрюга, осетр, шемая, рыбец и др., поэтому рыбозащитный комплекс представляет собой многоступенчатую рыбозащиту.

В голове водозабора непосредственно перед регулятором в верхнем бьефе гидроузла предусмотрен V-образный порог высотой 1 м и длиной стороны 12 м каждая. Отметка порога 3 м. Его назначение – отведение молоди донных рыб в сторону от водосливных плотин с последующим ее скатом в рукав Кубань и рукав Протоку. От головного регулятора вода поступает по железобетонному лотку прямоугольной формы шириной 25 м к рыбозащитному комплексу. В состав рыбозащиты входят:

- донный порог;
- сетчатый W-образный заградитель с самотечным рыбоотводом;
- запань с полкой;
- воздушно-пузырьковая завеса, устройство которой предусмотрено на входной части сеточных камер.

Сетка РЗУ имеет размеры ячеек в свету 2х2 мм. Конструкция устройства для установки, промывки и очистки сеток принята по аналогии с проектом рыбозащитного сооружения на Донском магистральном канале.

Запань предусмотрена для перехвата и отвода молоди рыб, скатывающейся в верхних слоях потока, и представляет собой железобетонный лоток V-образной формы в плане с центральным углом 60°, длиной ветви 102 м. Лоток имеет переменную ширину от 0,745 до 3,745 м. Дно лотка расположено на отметке 6,0 м. Лоток имеет входные отверстия шириной 0,745 ÷ 1 м.

Воздушно-пузырьковая завеса (ВПЗ) предназначена для защиты икры, предличинки, личинки и ранней молоди рыб как элемент перераспределяющего устройства, обеспечиваю-

щий вертикальную сепарацию рыб за счет эффекта флотации (прилипания мелких пузырьков воздуха) и создания восходящих токов воды при всплытии воздушных пузырьков. Воздушно-пузырьковый эффект является основным рабочим элементом рыбозащитного устройства типа ВПЗ, который создается с помощью перфорированного трубопровода, уложенного на дне подводящего канала. К трубопроводу от компрессора подается сжатый воздух. В варианте «Кубаньводпроект» предусмотрено место возможной прокладки перфорированного трубопровода на входе в модуль сетчатого РЗУ.

Имеются самотечные рыбоотводы в р. Протоку и в р. Кубань от запани и сетчатого W-образного рыбозаградителя.

2 Обоснование для разработки физической модели

Рыбозащитное сооружение обеспечивает сохранение молоди рыбы, икру, личинок от воздействия водозаборных сооружений. Поэтому для обоснования разработки физической модели необходимо проводить натурные исследования по скату молоди рыб в наиболее напряженные периоды.

Ввиду отсутствия данных за последние годы по концентрации молоди рыб различных возрастных групп и видов в р. Кубани в створе Тиховского гидроузла, а также по ее пространственно – временному распределению были выполнены натурные гидравлично – биологические исследования на близлежащем водозаборе – аналоге, т.е. в подводящем канале ранее построенного головного водозабора ПАОС.

Для проведения гидравлично – биологических исследований в подводящем канале ПАОС был оборудован поперечный створ на прямолинейном участке русла, на котором производились замеры скоростей и устанавливались ихтиологические ловушки ИКС – 80. Ловушки устанавливались на трех вертикалях (у левого, правого берегов, в центральной части канала). Отбор проб проводился круглосуточно, экспозиция составляла 15 минут. Скорость потока измерялась гидрометрической вертушкой.

В указанный период наблюдался интенсивный скат молоди судака и сазана, а также плотвы, уклеи, бычка, карася, леща, пескаря и др. Размеры молоди рыб были разнообразны и находились в пределах от 6 до 95мм.

Установлено, что в подводящем канале ПАОС преобладает сумеречно – ночной скат молоди рыб, большая часть молоди скатывается в поверхностных слоях потока.

Натурные исследования показали, что с наступлением сумерек часть молоди перемещается из поверхностных слоев в толщу потока. Личинки осетровых рыб перемещаются в донных слоях потока.

Следовательно, при строительстве и эксплуатации водозаборов необходимо учитывать сложившуюся ситуацию по миграции молоди рыб при водопользовании, что наблюдается в районе Тиховского гидроузла.

Поэтому необходимо провести гидравлико – биологические исследования на физической модели водозабора ПАОС для оптимизации конструкции рыбозащитного сооружения.

Для проведения таких исследований необходимо разработать физическую модель рыбозащитного сооружения.

3 Моделирование РЗС «Запань» при водозаборе ПАОС

3.1 Обоснование расхода физической модели

В лаборатории кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения КГАУ была разработана и построена модель запани в составе комплексного РЗС при головном мелиоративном водозаборе. Модель РЗС «Запань» была исследована без изменения параметров элементов её конструкции.

В основу гидравлико – биологических исследований по оптимизации геометрических параметров конструкции РЗС при водозаборе ПАОС были положены пассивные миграции молоди рыб.

Была выполнена статистическая обработка расходов за 10 летний период эксплуатации действующего мелиоративного водозабора ПАОС. Максимальный расход на водозаборе достигает $70 \text{ м}^3/\text{с}$. Средний расход в голове водозабора в период вегетации риса составляет $30 \div 45 \text{ м}^3/\text{с}$. Но с учетом повышения водообеспеченности рисовой системы разработка физической модели запани проводилась на максимальный расход $120 \text{ м}^3/\text{с}$. Гидравлические и биологические исследования РЗС «Запань» проводились на пропуск расходов 70 и $120 \text{ м}^3/\text{с}$.

Целью физического моделирования РЗС являлась совершенствование конструкции запани для оптимизации водопользования, снижения гибели личинок и пассивной молодежи ценных видов рыб.

3.2 Обоснование масштаба физической модели

Необходимо было выбрать масштаб физической модели РЗС, который позволил бы установить все основные закономерности движения молодежи рыб (имитаторов) в потоке без значительного искажения натуральных условий. Для решения задачи использовался метод гидродинамического подобия физических величин.

При этом устанавливались процессы одинаковой физической природы, а одноименные параметры (например, скорости течения в сходственных точках, расходы жидкости и т.п.) имели постоянные соотношения. Необходимыми условиями гидродинамического подобия при исследовании РЗС «Запань» при водозаборе ПАОС являлись:

- геометрическое подобие, из которого следует пропорциональность сходственных линейных размеров натуре и модели;
- кинематическое подобие, то есть подобие линий тока и пропорциональность скоростей в сходственных точках натуре и модели;
- динамическое подобие, означающее пропорциональность сил, действующих на сходственные элементы, и равенство углов, характеризующих направление сил.

В лотках запани во время экспериментальных исследований наблюдалось установившееся неравномерное движение. При установившемся неравномерном движении воды в открытых руслах основными действующими силами являются силы трения и тяжести. Подобие сил трения в лотке запани будет обеспечено при равенстве чисел Рейнольдса на модели и натуре:

$$Re = \frac{V \cdot l}{\nu} = idem, \quad (1)$$

где V – средняя скорость потока;
 l – геометрический параметр;
 ν – кинематическая вязкость воды.

В исследованиях на модели преобладающими силами являются силы тяжести. Геометрически подобные потоки, в которых преобладают силы тяжести, считаются динамически подобными, если

$$Fr_m = Fr_n = \frac{V^2}{g \cdot l} = idem \quad (2)$$

С учетом масштабных коэффициентов по числу Фруда (Fr) определяются соотношения между модельными и натурными значениями: длин конструктивных элементов мелиоративного водозабора и запани l , скоростей потока V в отдельных характерных точках живого сечения, времени t , расходов на водозаборе Q .

Из соотношения линейных размеров природы и модели можно получить соотношения физических параметров РЗС:

$$\text{для линейных размеров } l_n = l_m a_l; \quad (3)$$

$$\text{для скорости } V_n = V_m a_l^{0.5}; \quad (4)$$

$$\text{для времени } t_n = t_m a_l^{0.5}; \quad (5)$$

$$\text{для расхода водозабора } Q = Q_m a_l^{2.5} \quad (6)$$

Так как исследуемые потоки в натуральных условиях на сооружении являются турбулентными, они должны быть турбулентными и на модели. В этом случае должно выполняться условие

$$Re_{min} > Re_g, \quad (7)$$

где Re_{min} – минимальное число Рейнольдса на модели;
 Re_g – допустимое число Рейнольдса, $Re_g = 5000$.

Минимальный геометрический масштаб модели определялся по формуле

$$a_l = \left(\frac{Re_n}{Re_g} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (8)$$

где Re_n – число Рейнольдса в натуральных условиях на водозаборе.

Минимальный расход водозабора составляет $Q = 70 \text{ м}^3/\text{с}$. При условии пропуска этого расхода устанавливаются параметры потока:

- уровень воды $\nabla_{пов} = 7,46\text{м}$;
- отметка дна сооружения $\nabla_{дна} = 3,00\text{м}$;
- глубина потока $h = \nabla_{пов} - \nabla_{дна} = 7,46 - 3,00 = 4,46\text{м}$.

Поперечное сечение имеет форму трапеции с размерами: ширина по дну $b_n = 103,56\text{м}$, заложение откосов $m = 3$.

При этом ширина водного потока по верху составит:

$$B_n = b_n + 2 \cdot m \cdot h_n = 103,56 + 2 \cdot 3 \cdot 4,46 = 130,32 \text{ м}.$$

Площадь поперечного сечения будет равна:

$$\omega_n = \frac{(b_n + B_n)}{2} \cdot h_n = \frac{(103,56 + 130,32)}{2} \cdot 4,46 = 521,55 \text{ м}^2.$$

Минимальная скорость потока в аванкамере будет:

$$V_n = \frac{Q_n}{\omega_n} = \frac{70}{521,55} = 0,134 \text{ м/с}.$$

Число Рейнольдса в натуральных условия при защите молоди рыб от попадания в водозабор составит:

$$\text{Re}_n = \frac{V_n \cdot l_n}{\nu_n} = \frac{0,134 \cdot 4,46}{1,25 \cdot 10^{-6}} = 478878,$$

где $\nu = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – кинематическая вязкость воды при данной температуре.

Минимальный геометрический масштаб модели РЗС при водозаборе ПАОС и расходе $70 \text{ м}^3/\text{с}$ будет равен:

$$a_l = \left(\frac{478878}{5000} \right)^{2/3} = 21.$$

Если принимать во внимание проектный расход $120 \text{ м}^3/\text{с}$, то при физическом моделировании получаем масштаб модели больше, чем при расходе $70 \text{ м}^3/\text{с}$, так как числитель дроби (8) будет больше значения 478878. С учетом размеров лаборатории принимаем масштаб модели РЗС, равным – 20 (размер модели лимитируется размером лаборатории).

Натурные параметры рыбоотводящего лотка, необходимые для обоснования масштаба модели, следующие (рисунок 2):

- отметка поверхности воды $\nabla_{\text{пов}} = 7,46 \text{ м}$;
- отметка дна лотка $\nabla_{\text{дна}} = 6,00 \text{ м}$;
- глубина потока $h = \nabla_{\text{пов}} - \nabla_{\text{дна}} = 7,46 - 6,00 = 1,46 \text{ м}$;
- скорость в рыбоотводящем лотке запани равна $0,5 \text{ м/с}$.

Число Рейнольдса в натуре составит:

$$\text{Re}_n = \frac{V_n \cdot l_n}{\nu_n} = \frac{0,5 \cdot 1,46}{1,25 \cdot 10^{-6}} = 584000.$$

Минимальный масштаб модели рыбоотводящего лотка запани:

$$a_l = \left(\frac{584000}{5000} \right)^{2/3} = 24.$$

Принимаем масштаб модели рыбоотводящего лотка запани $a_l = 20$.

При масштабном коэффициенте $a_l = 20$ число Рейнольдса на модели РЗС составит:

- для аванкамеры водозаборного сооружения:

$$Re_m = \frac{V_m \cdot l_m}{\nu_m} = \frac{1}{\nu_m} \cdot \frac{V_H \cdot l_H}{a_l^{1,5}} = \frac{0,134 \cdot 4,46}{1,25 \cdot 10^{-6} \cdot 20^{1,5}} = 5354 \geq Re_g = 5000,$$

- для рыбоотводящего лотка запани:

$$Re_m = \frac{V_m \cdot l_m}{\nu_m} = \frac{1}{\nu_m} \cdot \frac{V_H \cdot l_H}{a_l^{1,5}} = \frac{0,5 \cdot 1,46}{1,25 \cdot 10^{-6} \cdot 20^{1,5}} = 6529 \geq Re_g = 5000$$

При этом соотношении чисел Рейнольдса можно сделать вывод о соответствии гидравлических явлений модели и природы РЗС при головном мелиоративном водозаборе.

3.3 Обоснование эквивалентной шероховатости физической модели

Для достижения геометрического подобия элементы шероховатости модели и природы РЗС «Запань» должны воспроизводиться в том же масштабе, что и другие размеры, поэтому масштаб высоты элемента эквивалентной шероховатости определяется из соотношения:

$$\frac{k_M}{k_H} = \frac{L_M}{L_H}, \quad (9)$$

Коэффициент шероховатости можно вычислять по формуле Маннинга:

$$\frac{n_M}{n_H} = \left(\frac{k_M}{k_H} \right)^{\frac{1}{6}} = \left(\frac{L_M}{L_H} \right)^{\frac{1}{6}}, \quad (10)$$

Из формулы Шези, где средняя скорость $V = C \cdot (R_i)^{\frac{1}{2}}$, следует:

$$\frac{C_M}{C_H} = 1. \quad (11)$$

На модели РЗС «Запань» при головном мелиоративном водозаборе должно соблюдаться любое из этих соотношений (9 - 11).

Коэффициент шероховатости в натуре для бетона водозаборного сооружения составляет $n=0,017$. Используя формулу (10), получаем:

$$n_M = \left(\frac{L_M}{L_H} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot n_H = \left(\frac{1}{20} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot 0,017 = 0,011.$$

Согласно справочным материалам, для полученной шероховатости соответствует: оргстекло; бетонная поверхность, заглаженная цементным раствором; остроганные доски, покрытые эмалью.

Модель аванкамеры, где размещалась запань, была построена из железобетона, покрытого заглаженным цементным раствором, а рыбоотводящий лоток запани смонтирован из оргстекла и обработанных досок, покрытых эмалью, что соответствует ранее сделанным выводам и расчетам по эквивалентной шероховатости.

Результаты моделирования геометрических и гидравлических параметров РЗС «Запань» представлены в таблице.

Таблица – Гидравлические параметры натурального и модельного потоков

Параметры	Расход $Q_n, \text{ м}^3/\text{с}$	Натура		Модель	
		вход	выход	вход	выход
расход $Q, \text{ м}^3/\text{с}$	70	70		0,0391	
	120	120		0,0671	
глубина потока $h, \text{ м}$	70/120	4,460		0,223	
ширина по дну $b, \text{ м}$	70/120	35	103,56	1,75	5,18
ширина по верху $B, \text{ м}$	70/120	61,76	130,32	3,09	6,52
площадь поперечного сечения $\omega, \text{ м}^2$	70/120	215,77	521,55	0,54	1,30
скорость $V, \text{ м/с}$	70	0,324	0,134	0,073	0,03
	120	0,556	0,230	0,124	0,052
число Рейнольдса, Re	70	1157503	478878	12941	5354
	120	1811321	789733	20251	8829
визуальный масштаб модели	70	-	-	37,7	20,9
	120	-	-	50,8	29,2

Данную методику моделирования рыбозащитного сооружения можно применять к исследованиям аналогичных мелиоративных и гидротехнических сооружений для оптимизации геометрических и гидравлических параметров.

На физической модели были проведены 4 серии опытов, которые имитировали условия работы физической модели по защите виртуальной молоди рыбы.

Методика выбора серий опытов состояла в оценке поведения молоди рыбы при её миграции вниз по течению к водозабору.

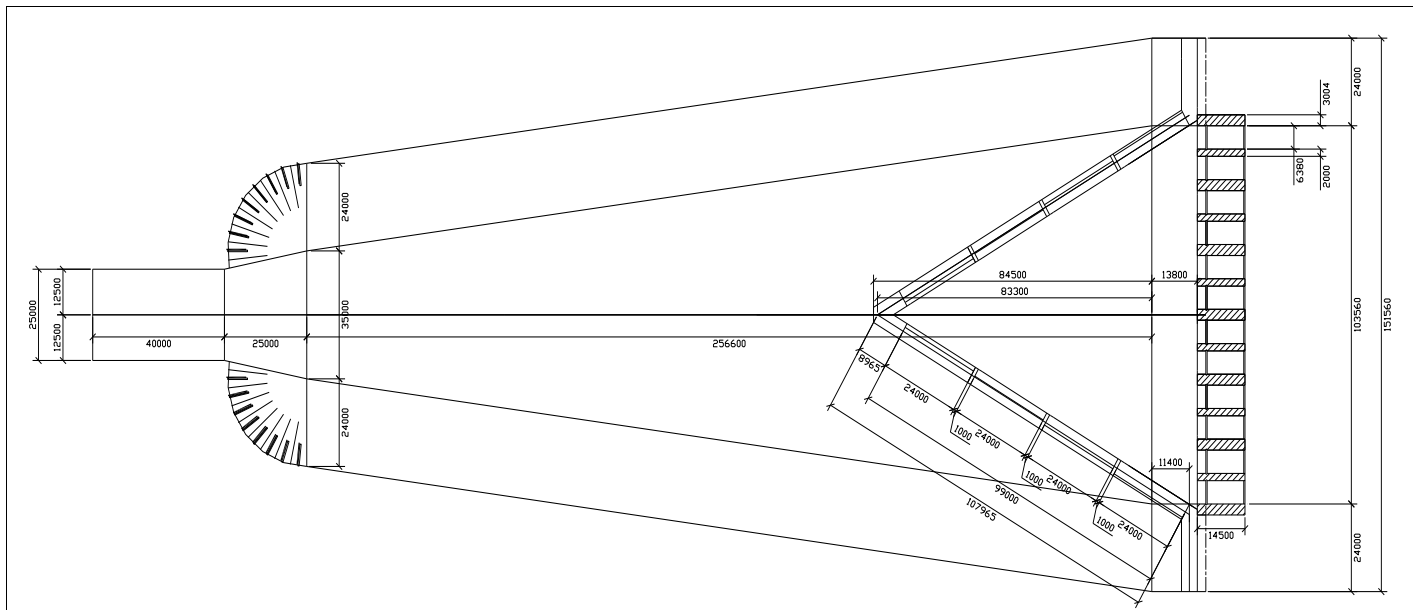


Рисунок 2 - Геометрические параметры физической модели водозабора ПАОС

4 Методика проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях на физической модели

Для оптимизации геометрических параметров запани на физической модели мелиоративного водозабора проводились исследования в следующем порядке. Сначала была выполнена подготовка имитаторов молоди рыб к исследованиям.

Имитаторы изготавливались из пластиковых трубочек длиной 5 ± 1 мм 3 видов, в каждом из которых было по 100 шт. имитаторов. Моделировалось поверхностное, в толще воды и донное перемещение имитаторов с потоком в гидравлическом лотке. Имитаторы могли находиться на поверхности (1 вид), находиться в толще воды (2 вид) и у дна (3 вид). Выполнялось 4 серии опытов.

В первой серии опытов исследовалось рыбозащитная эффективность запани при движении имитаторов каждого вида отдельно и одновременно всех трех видов. Устанавливалась виртуальная картина прохождения каждого вида молоди рыб на физической модели запани, до и после неё.

Эксперименты 1 серии показывали, в каком направлении проводить исследования по совершенствованию конструкции запани при мелиоративном водозаборе с целью повышения рыбозащитной эффективности РЗС.

Во 2 серии опытов отрабатывалась возможность применения донного порога перед запанью с целью оптимизации угла атаки потока на порог для повышения рыбозащитной эффективности запани. При этом использовались донные имитаторы. Подбирался экспериментальным путем угол атаки потока на порог с пассивными имитаторами молоди рыб. Исследовалась траектория движения пассивных имитаторов, при этом учитывалось общее количество имитаторов попавших в РЗС и прошедших мимо запани. По процентному соотношению делали выводы об эффективности донного порога с разными углами атаки.

В 3 серии опытов исследовалось движение трех видов имитаторов на оптимизированной запани в зависимости от угла ата-

ки потока на донный порог. Сравнивались данные в первой серии с результатами третьей серии.

Четвертая серия опытов была направлена на оптимизацию геометрических параметров дополнительного устройства – рыбоподъемника, расположенного между донным порогом и запанью. Рыбоподъемник позволяет защищать донную молодь рыб, увеличивает рыбозащитную эффективность РЗС на мелиоративном водозаборе.

Исследования проводились в следующем порядке. В установившийся поток воды в лоток поочередно опускались партии имитаторов молоди рыб, соответствующих видов. Донные имитаторы по ширине лотка опускались в поток у дна на расстоянии $10H$ от запани по оси потока. Для других видов имитаторов выполнялись те же действия, но с учетом глубины погружения.

Учет имитаторов, прошедших под запанью и задержанных запанью, производился с помощью ловушек. Исследования в каждом опыте выполнялись в пяти кратной повторности. Достоверность полученных результатов, оценивалась методом дисперсионного анализа по критериям Фишера и Стьюдента.

При выполнении исследований необходимо было оценить точность измерения гидравлических параметров скорости потока и расхода воды.

5 Оценка точности измерения гидравлических параметров

Точность экспериментов оценивалась по максимальной относительной погрешности измерений опытных величин приборами, прошедшими метрологическую аттестацию. При выполнении экспериментальных исследований применялись приборы и установки: прибор Пито; гидрометрические вертушки ГР-55М и электронные вертушки для измерения актуальных скоростей в потоке; водомерные рейки для определения уровней воды в аванкамере и запани; нивелир НВ-3 для высотного выставления

затворов водозаборного сооружения; водосливы – водомеры Томсона и Чиполетти.

Точность измерения актуальных скоростей потока прибором Пито оценивалась по уравнению:

$$V = \varphi \cdot (2 \cdot g \cdot H)^{0,5}, \quad (12)$$

где φ – коэффициент скорости.

Найдём наибольшую относительную ошибку при определении актуальной скорости потока опытным путем. Представим уравнение (12) в форме полного дифференциала:

$$\frac{dV}{V} = 0,5 \cdot \left(\frac{dg}{g} + \frac{dH}{H} \right), \quad (13)$$

Считаем, что все ошибки одного знака, тогда относительная погрешность опыта составит:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta g}{2g} + \frac{\Delta H}{2H}, \quad (14)$$

где ΔV , Δg , ΔH – абсолютные ошибки измеряемых величин.

Максимальная ошибка в опыте имеет место, когда величины, входящие в знаменатель выражения (14), минимальны. При $\Delta g = 0,01 \text{ м/с}^2$ и $\Delta H = 0,5 \text{ мм}$ точность измерения будет в пределах:

$$\frac{dV}{V} = 0,5 \cdot \left(\frac{0,01}{9,81} + \frac{0,5}{10} \right) = 0,0255.$$

Максимальная погрешность измерения актуальной скорости потока на вертикали не будет превышать 2,55%.

Оценка точности измерения расхода головного мелиоративного водозабора проводилась при истечении через прямо-

угольный водослив с тонкой стенкой. Во время эксперимента водослив находился в неподтопленном состоянии, уравнение расхода водослива без бокового сжатия имеет вид:

$$Q = m_0 \cdot b \cdot (2g)^{\frac{1}{2}} \cdot H^{\frac{3}{2}}, \quad (15)$$

где m_0 – коэффициент расхода водослива с тонкой стенкой;
 b – ширина водосливного фронта.

Ширина лотка – 0,4м и высота входной части порога находилась в диапазоне $P_1 = 0,24 \div 0,75$ м. Поэтому коэффициент расхода для прямоугольного водослива – водомера определялся по формуле Базена:

$$m = 0,405 + \frac{0,003}{H}, \quad (16)$$

Расходы определялись через треугольные водосливы – водомеры. Для треугольного водослива – водомера с углом 90^0 при вершине коэффициент расхода $m_0 = 0,316$ [1]. Коэффициент расхода по формуле Базена (16) для прямоугольного водослива водомера $m_0 = 0,465$ [1].

Максимальная ошибка опыта при измерении расхода водосливами – водомерами найдется из выражения (16), получим:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta b}{b} + 0,5 \cdot \frac{\Delta g}{2g} + \frac{3}{2} \frac{\Delta H}{H}, \quad (17)$$

Максимальная ошибка в опыте имеет место, когда величины, входящие в знаменатель выражения (4.6) минимальны. При $\Delta b = 1$ мм, $\Delta g = 0,01$ м/с² и $\Delta H = 1$ мм, точность измерения будет в пределах:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 0,033.$$

Максимальная погрешность измерения расхода потока не будет превышать 3,3 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник по гидравлическим расчетам. Под ред. П.Г. Киселева. Изд. 5 – е. М., «Энергия», 1974.

Учебное издание

Кузнецов Евгений Владимирович
Хаджиди Анна Евгеньевна

**МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
РЫБОЗАЩИТНОГО СООРУЖЕНИЯ НА ВОДОЗАБОРАХ
ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

Методическое пособие

Подписано в печать _____ формат _____
Усл. печ. л 1,63 п.л. Тираж 50 экз. Заказ _____

Отпечатано в типографии Куб. ГАУ
350044, г. Краснодар, Калинина, 13