

УДК 626.28

DOI: 10.31774/2658-7890-2020-1-105-122

А. И. Тищенко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

МЕТОДИКА НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЗНАПОРНЫХ ТРУБЧАТЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА КАНАЛЕ Р-2 ГЕОРГИЕВСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Цель: на основании собранных материалов натурных исследований безнапорных трубчатых гидротехнических сооружений на канале Р-2 Георгиевской оросительно-обводнительной системы в Ставропольском крае разработать методику натурных исследований этих сооружений и краткие рекомендации по улучшению их работы. **Материалы и методы.** На всех исследуемых сооружениях выполнялись все виды работ, предусмотренные программой исследований, и в намеченном порядке. При проведении натурных исследований применены некоторые методические материалы для выполнения натурных исследований гидравлических явлений в потоке за гидротехническими сооружениями, при обработке данных натурных исследований состояния гидротехнических сопрягающих сооружений на канале Р-2 использованы методы, представленные в классических разработках ученых в области гидравлики, гидрометрии и гидрологии, с применением математических зависимостей. **Результаты.** Собраны сведения о конструктивных характеристиках сооружений на канале Р-2. Обработка полученных материалов натурных исследований с помощью математических зависимостей позволила разработать упрощенную методику исследования безнапорных трубчатых сопрягающих сооружений и выдать краткие рекомендации по улучшению работы гидротехнических сооружений на канале Р-2 Георгиевской оросительно-обводнительной системы в Ставропольском крае. **Заключение.** Рекомендованные мероприятия позволят значительно улучшить работу гидротехнических сооружений на канале Р-2 и продлить срок их жизнедеятельности. Предлагаемая конструкция сопрягающего сооружения открытого типа исключает все негативные явления, возникающие при эксплуатации трубчатых сопрягающих сооружений.

Ключевые слова: рекомендации; работа; сооружение; канал; исследования; natura; зависимость; гидравлические явления; жизнедеятельность; гидротехнические сооружения.

A. I. Tishchenko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

FIELD STUDY TECHNIQUE OF GRAVITY FLOW TUBE-TYPE HYDRAULIC STRUCTURES AT THE P-2 CANAL OF THE GEORGIEVSK IRRIGATION SYSTEM

Purpose: to develop a methodology for field studies of gravity (free) flow tube-type hydraulic structures and brief recommendations for improving their performance on the basis of collected materials of such structures at the P-2 canal of the Georgievsk irrigation system in Stavropol Territory. **Materials and methods.** All types of work activities provided for by the research program were performed in the prescribed manner at all hydraulic structures un-



der study. When conducting field studies, some methodological material for carrying out field studies of hydraulic phenomena in the flow below hydraulic structures were used, while processing the field data on the state of hydraulic conjugate structures on P-2 canal, the methods presented in scientists' classical developments in the field of hydraulics, hydrometry and hydrology with mathematical dependencies were used. **Results.** Information on the structural characteristics of the hydraulic structures on the P-2 canal was collected. Processing the field studies data with the help of mathematical dependencies made it possible to develop a simplified method for studying gravity flow tube-type conjugate structures and provide brief recommendations on improving the hydraulic structures operation on the P-2 canal of the Georgievsk irrigation system in Stavropol Territory. **Conclusion.** The recommended measures will significantly improve the operation of hydraulic structures on the P-2 canal and extend their life. The proposed design of the conjugate structure of the open type excludes all negative phenomena that occur during the operation of the tubular conjugate structures.

Key words: recommendations; work; construction; canal; research; nature; dependence; hydraulic phenomena; life activity; hydraulic structures.

Введение. Исследования состояния сооружений на канале Р-2 Георгиевской оросительно-обводнительной системы были выполнены с целью выдачи методики натурных исследований и кратких рекомендаций по улучшению работы безнапорных трубчатых сопрягающих сооружений.

Исследованиям типовых трубчатых сооружений посвящено достаточно много работ, некоторыми из которых являются работы В. Г. Иванова [1], А. И. Костина [2], И. Х. Овчаренко [3], З. Х. Хусан-Ходжаева [4], Г. А. Сенчукова (мл.) [5]. Отличие настоящих исследований от исследований предшествующих авторов заключается в том, что эти авторы изучали гидравлический режим потока, протекающего через сооружение, в отрыве от движения потока в русле нижнего бьефа. Часть авторов проводила исследования, посвященные изучению местных размывов в нижнем бьефе сооружений трубчатых и открытых, однопролетных и многопролетных [6–9], с разработкой мероприятий по предотвращению образования местных воронок размыва.

Целью тех и других исследований являлось обеспечение надежности и долговечности работы сопрягающих сооружений [10–18]. Для достижения этой цели многими авторами разработаны конструкции гасителей избыточной кинетической энергии потока и устройства для равномерного распределения скоростей по живому сечению. Наиболее верное решение принято С. М. Васильевым [19, 20], которым предлагается усовершенство-

ванная конструкция сопрягающего сооружения открытого типа, исключая негативные явления трубчатых сооружений.

Канал Р-2 числится в номенклатуре Георгиевского районного управления оросительно-обводнительной системы. Вода в этот канал подается из распределителя «Широкого». Местоположение головного сооружения канала ПК 0 + 20 от распределителя «Широкого». Основные характеристики канала Р-2 следующие: максимальный расход воды по каналу $Q_{\text{макс}} = 3 \text{ м}^3/\text{с}$, протяженность канала $l = 18,2$ км. Трасса канала извилистая, содержит несколько поворотов. Вдоль всей трассы канала устроена инспекторская дорога, позволяющая в любое время года наблюдать за состоянием сооружений или подвозить материал для проведения их ремонта. Вдоль канала посажена лесная полоса, защищающая канал от занесения пылеватыми частицами земли при пыльных бурях. По трассе канала размещено около 40 гидротехнических сооружений, в основном типовых трубчатых быстротоков с уступом и с переездами. На отдельных пикетах имеются отводы в участковые распределители. Почти все сооружения оборудованы плоскими затворами с винтоподъемным механизмом. Грунты по трассе канала – тяжелые суглинки.

Сооружения, выбранные для исследований, отличались от других тем, что в их нижних бьефах наблюдался неудовлетворительный гидравлический режим потока (сбойные течения, водоворотные зоны и др.). Такой режим способствовал возникновению недопустимых местных размывов отводящего земляного русла. За некоторыми сооружениями произошло почти полное разрушение гибкого крепления из наброски камнем. На некоторых сооружениях произошел подмыв последнего ряда жесткого крепления из железобетонных плит.

Материалы и методы. Материалами явились результаты натуральных исследований состояния гидротехнических сооружений на канале Р-2 Георгиевской оросительно-обводнительной системы в Ставропольском крае. На всех исследуемых сооружениях выполнялись все виды работ, предусмотренные программой исследований, и в намеченном порядке. При про-

ведении натуральных исследований применены некоторые методические материалы для выполнения натуральных исследований гидравлических явлений в потоке за гидротехническими сооружениями, при обработке данных натуральных исследований состояния гидротехнических сопрягающих сооружений на канале Р-2 использованы методы, представленные в классических разработках ученых в области гидравлики, гидрометрии и гидрологии, с применением математических зависимостей.

В конструктивном отношении все сооружения идентичны друг другу, так как выполнены по одному и тому же проекту, разница между ними состоит в небольших отличиях геометрических характеристик отдельных элементов в конструкции каждого сооружения. Схема типового сооружения представлена на рисунке 1.

Результаты и обсуждение. Сведения о конструктивных характеристиках сооружений по трассе канала Р-2 приведены в таблице 1.

По некоторым сооружениям сведения дополнены текстом.

Сооружения на пикетах 18,2 и 21,2 однотипны с сооружением, представленным на рисунке 1 (ПК 69,2). Исследованиями установлено, что в пределах понура (в верхнем бьефе) при входе в трубу происходит увеличение скорости потока за счет стеснения его образовавшимися водоворотными зонами перед входной порталной стенкой. Начало левого водоворота находится на расстоянии 8,5 м от входа в трубу. Этот водоворот наиболее интенсивный. Величины скоростей обратного течения достигают в нем 1 м/с. Начало правого водоворота расположено в 8,0 м от порталной стенки входа. Вход трубы затоплен. Щит поднят на взмет. Явно наблюдается резкий переход потока из ламинарного режима в турбулентное состояние. Низ трубы в выходной порталной стенке расположен на высоте 0,45 м от дна водобойной части. Выход трубы не затоплен (сопряжение бьефов происходит посредством падающей струи). Глубина воды в трубе 0,6 м. Внутренний диаметр трубы $d = 0,95$ м. Длина отлета струи 1,25 м, гидравлический прыжок донный.

Таблица 1 – Сведения о сооружениях на канале Р-2 Георгиевского районного управления оросительно-обводнительной системы

Пикетаж	Сооружение	Геометрическая характеристика водопроводящей части, м			Размер водобойной части, м			Длина крепления нижнего бьефа, м	
		длина трубы	вид сечения	толщина стенки сечения	длина	ширина	глубина колодца	жесткого	гибкого
ПК 13,2	быстроток с уступом в 0,45 м	19,5	круглое, $d_e = 1,1$	0,075	10,0	2,25	0,05	6,20	4,80
ПК 18,2	быстроток с уступом в 0,45 м	19,0	круглое, $d_e = 1,1$	0,075	9,0	2,30	0,05	6,80	5,20
ПК 21,2	быстроток с уступом в 0,45 м	20,2	круглое, $d_e = 1,1$	0,075	4,8	2,25	0,05	4,20	4,50
ПК 27,7	быстроток с уступом в 0,60 м	21,5	круглое, $d_e = 1,1$	0,075	8,9	2,25	0,85	6,20	4,80
ПК 36,7	быстроток с уступом в 0,55 м	20,7	круглое, $d_e = 1,1$	0,075	8,1	2,30	0,05	8,20	4,30
ПК 69,2	быстроток с уступом в 0,60 м	21,5	круглое, $d_e = 1,1$	0,075	9,25	2,25	0,23	7,30	5,70
ПК 71,2	быстроток с уступом в 0,45 м	19,45	круглое, $d_e = 1,1$	0,075	11,30	2,25	0,60	19,10	7,30
ПК 75,7	быстроток с уступом в 0,55 м	20,44	круглое, $d_e = 1,1$	0,075	10,17	2,25	0,45	4,55	6,56
ПК 81,3	быстроток с уступом в 0,35 м	20,05	круглое, $d_e = 1,1$	0,075	8,50	2,28	0,54	7,50	6,05
ПК 85,3	быстроток с уступом в 0,50 м	20,30	круглое, $d_e = 1,1$	0,075	9,55	2,33	0,50	5,60	8,00
ПК 114,3	быстроток с уступом в 0,50 м	20,30	круглое, $d_e = 1,1$	0,075	9,55	2,33	0,50	5,60	8,00
ПК 120,3	быстроток с уступом в 0,50 м	20,30	круглое, $d_e = 1,1$	0,075	9,55	2,33	0,50	5,60	8,00
ПК 182,0	быстроток с уступом в 0,50 м	20,30	круглое, $d_e = 1,1$	0,075	9,55	2,33	0,50	5,60	8,00

* d_e – внешний диаметр трубы.

Сжатая глубина потока 0,3 м, а в начале ныряющих стенок 0,6 м. Режим потока в пределах водобойной части бурный. На выходе из нее поток расплывается по ширине, напоминая листовидную форму растекания. В то же время на выходе из водобойной части наблюдается сбйность течения с отклонением динамической оси вправо от продольной оси канала.

В пределах каменной наброски образуется вторичный перепад, где происходит отклонение динамической оси потока на 0,3 м влево от про-

дольной оси отводящего канала. За креплением каменной наброской образуются две водоворотные зоны. Справа шириной 2,0 м и длиной 10 м, слева шириной до 4 м и длиной до 36 м. Правый откос отводящего канала круче левого. На расстоянии 70 м от выхода трубы по левому откосу имеются заросли камыша. Правый откос с 8 м от конца крепления каменной наброской имеет подмывы длиной 55 м, потому что динамическая ось, начиная с 10 м от конца наброски, прилегает к правому откосу. Левый откос имеет обрыв высотой до 1,5 м на протяжении 16 м, начиная от конца наброски.

Сооружения на канале Р-2 расположены близко друг от друга (через 300–500 м). Сооружения, которые находятся в удовлетворительном состоянии, не подвергались детальным исследованиям. Ограничились визуальными наблюдениями и краткой записью конструктивных и гидравлических характеристик сооружения и потока.

Сооружение на ПК 27,7. Это водопроводящее сооружение выполняет, кроме того, функции подпорного сооружения для создания необходимого уровня воды с целью забора ее в лотковый канал, головное сооружение которого устроено на правом откосе канала Р-2.

В сравнении с земляным руслом сечение канала из железобетона на входе сужено на $1/3 d$. Особенно заметно это с правой стороны, где наблюдается сбойное течение, которое в середине крепления имеет симметричное расположение относительно оси русла. Входное сечение трубы затоплено на $2/3 d$. Внутренний диаметр трубы 0,95 м, внешний 1,1 м.

Сопряжение потока в нижнем бьефе происходит с помощью падающей струи. Высота падения струи 0,6 м. Длина отлета струи 1,2 м. Глубина воды на водобое 1,2 м, поэтому гидравлический прыжок донный, затопленный. Длина водобойного колодца 8,9 м, глубина его 0,85 м. Поток в водобойной части «клокочет», имеет бурный режим. На выходе из водобойной части он как бы «взбугривается» и растекается веерообразно с высотой стрелы дуги до 0,7 м. За водобойным колодцем образуется вторичный поверхностный прыжок.

Отводящее русло в пределах водобойной части имеет поворот вправо. Распределение скоростей потока до поворота равномерное. После поворота, в конце железобетонного крепления, в пределах каменной отсыпки образуется вторичный перепад и происходит сбой течения с направлением динамической оси потока к левому откосу.

Динамическая ось распространяется от створа 5 до 7,9 м за створом 8. Общая ее длина 30,10 м. Начиная от створа 5 (в 18 м от конца крепления из железобетонных плит) по правому берегу растет камыш. На левом берегу заросли камыша начинаются от створа 8, или в 38,5 м от конца крепления из железобетонных плит. Распределение скоростей потока по ширине в этом створе равномерное.

Сооружения на ПК 36,7 – трубчатый переезд и трубчатый быстроток-переезд. Сооружения объединены небольшим резервуаром, в котором имеется водозаборное сооружение в лотковый канал, расположенный справа от трассы Р-2. В верхнем бьефе трубчатого переезда (в 3 м от входного оголовка трубы) устроен головной водозабор в участковый распределитель, расположенный слева от Р-2. Труба переезда горизонтальна. Длина ее 17,5 м. Длина переходного резервуара 14,5 м. В нем размещены оголовки трубы переезда и входной оголовок быстротока-переезда. Истечение потока из трубы переезда происходит в виде ниспадающей струи. Длина растекания струи 1,1 м. В переходе наблюдается турбулентный режим потока с расположением динамической оси вдоль продольной оси резервуара. В период исследований в переходе зафиксирован сбой течения.

В верхнем бьефе трубы переезда в подводящем канале зарегистрировано плавное втекание потока в трубу диаметром $d = 1,0$ м. Режим потока ламинарный. Сечение трубы затоплено на $1/2 d$. Входной оголовок не оборудован затвором. Истечение воды в трубу свободное, и она работает как водослив с широким порогом.

Вход быстротока-переезда оборудован плоским щитом шириной

0,45 м. Средняя скорость потока около 1,5 м/с. При входе в трубу течение бурное. Труба круглого поперечного сечения с диаметром $d = 0,9$ м (внутренним) и $d = 1,1$ м (внешним). Головное сооружение участкового лоткового канала, берущего воду из перехода, устроено в «кармане», ширина которого 3 м, а глубина 4 м. Железобетонные плиты на откосах ребристые.

Длина трубы быстротока-переезда 20,7 м. Истечение потока в трубу на входе происходит из-под щита. В порталльной стенке на выходе в нижний бьеф высота уступа 0,55 м. Поперечное сечение водобойной части прямоугольное. Ширина ее в начале 2,3 м, а в конце 2,6 м – дефект, допущенный строителями. Высота стенок водобойной части 1,6 м, длина – 8,1 м, глубина водобойного колодца 0,05 м. Крепление из каменной наброски на левом откосе разрушено на 50 %. За пределами каменной наброски образуются две водоворотные зоны: левая шириной 1,5 м и длиной 8,0 м, правая шириной 3 м и длиной 18 м.

Сбойное течение распространяется на длину до 21 м от конца каменной наброски левого откоса. Далее в отводящем русле распределение поверхностных скоростей по ширине канала равномерное. Откосы русла в створе б и далее спланированы с заложением 1:2. Отдельные камни из наброски присутствуют и в створе б, т. е. отдельности размером 2–3 см отнесены потоком на расстояние до 38 м. Максимальная поверхностная скорость в том сечении 0,45 м/с. В то же время в середине сечения створа б имеются отложения наносов (ила) толщиной 5 см.

Сооружение на ПК 69,2 входит в состав узла сооружений. В верхнем бьефе сооружения на данном пикете устроены два отвода в хозяйственные распределители. Все сооружения оборудованы плоскими щитами. Режим течения на входе в трубу быстротока-переезда ламинарный. Труба круглого сечения диаметром 0,9 м, на входе затоплена и снабжена воздухоотсасывающей трубой.

На выходе (низовая порталльная стенка) верх трубы расположен

на 0,5 м ниже верха стенок береговых устоев водобойной части. У дна сделан отлив (в виде плинтусов) при сопряжении дна с вертикальными стенками. До верха отлива от верха вертикальных стенок водобойной части 1,7 м, от верха трубы до уровня воды в ней 0,24 м, т. е. труба затоплена на выходе почти на $2/3 d$. Высота отлива – 0,4 м. Заложение откоса $m = 1,0$.

Сопряжение потока происходит с помощью поверхностного гидравлического прыжка. Режим течения в пределах водобойной части бурный. Ширина водобойной части 2,25 м. Глубина водобойного колодца 0,23 м, длина его 9,25 м. За водобойной частью растекание потока по ширине равномерное, но сохраняется бурный режим течения, происходят большие колебания и волнообразование поверхности воды (высотой до 0,6 м).

На протяжении всего крепления из железобетонных плит наблюдаются две динамические оси у правого и левого откосов. При этом у правого откоса скорости потока больше. В конце железобетонного крепления динамические оси смещаются друг к другу и сливаются в одну в конце каменной наброски или в начале воронки размыва. Длина участка слияния динамических осей 11 м. Этот процесс напоминает «косые волны».

В пределах воронки размыва, длина которой 9 м, отмечены две водоворотные зоны: правая шириной до 2,0 м и длиной до 15,0 м, левая шириной 1,5 м и длиной 8,0 м. Дно воронки размыва устлано камнями, вынесенными из каменной наброски. За воронкой размыва покрытие дна выброшенными фракциями камней продолжается на длине до 30 м от конца крепления каменной наброской. В конце воронки размыва откосы на протяжении 3 м обрывистые. Высота обрыва левого откоса 0,4 м, правого – 0,9 м.

В последнем створе 7 (на расстоянии 34,5 м) откосы спланированы с заложением 1:2. У левого откоса отмечено на дне отложение ила толщиной слоя в 0,1 м. У левого откоса зафиксировано обратное течение со скоростями 0,1–0,05 м/с.

Сооружение на ПК 71,2. Во время исследований сечение трубы

на входе было затоплено на $2/3 d$. Ввиду большого продольного уклона трубы $i = 0,12$ на входе ее происходит резкое сужение потока с увеличением скоростей в трубе до 2,0–2,5 м/с. На выходе истечение потока происходит под уровень нижнего бьефа без образования явно выраженного вальца гидравлического прыжка. Режим течения в водобойной части бурный. Водобойный колодец выполнен с напорной наклонной гранью. Глубина водобойного колодца 0,6 м, длина напорной грани 1,0 м.

Сооружение на ПК 75,7 входит в состав узла из трех сооружений. Два головных водозаборных сооружения устроены на правом и левом откосах в 3 м от порталльной стенки входного оголовка. Трассы участков каналов перпендикулярны трассе канала Р-2. Движение потока на входе в сооружение спокойное. Истечение потока происходит из-под щита, высота поднятия щита в период исследований составила 0,5 м. Длина трубы быстротока 20,5 м. Геодезический перепад 2 м.

На выходе глубина наполнения трубы 0,25 м. Сопряжение потока происходит свободно падающей струей. Длина отлета струи 1,2 м. Глубина водобойного колодца 0,45 м. Длина водобойной части 10,0 м. Ширина ее 2,3 м, а глубина 2,1 м. Величина геодезического перепада между дном трубы на выходе и дном водобойного колодца 0,7 м. В конце водобойного колодца поток в пределах жесткого крепления имеет свободное растекание. Глубина воды на железобетонном креплении не превышает 0,3 м.

В пределах крепления из каменной наброски на протяжении около 2 м образуется явно выраженный валец поверхностного гидравлического прыжка и происходит сбойность течения с расположением динамической оси ближе к левому откосу. Левый откос зарос камышом на протяжении 8,5 м. Справа, сразу за креплением каменной наброской, зафиксирована водоворотная область длиной 10 м и шириной около 2 м. За пределами воронки размыва (в створе б) на расстоянии 23 м от конца железобетонного крепления мокрые откосы спланированы с заложением 1:2. На дне имеют-

ся галька и дресва размером до 2 см, вынесенные потоком из крепления каменной наброской. У левого откоса отмечено отложение слоя ила толщиной 0,05 м. В последнем створе (7) на расстоянии 35 м от конца железобетонного крепления очертание поперечного сечения канала параболическое. На дне образовался слой ила толщиной 0,1–0,15 м. Ширина слоя 3,5 м. На этом сооружении базис разбит на правой дамбе канала. Длина базиса составила 75 м.

Сооружение на ПК 81,3 – трубчатый быстроток с переездом с внешним диаметром трубы 1,1 м, геодезическим перепадом дна трубы 1,4 м. Высота вертикального уступа в выходном оголовке 0,35 м. На входе труба быстротока снабжена воздухоотсасывающей вертикальной трубой. Входное сечение трубы затоплено более чем на $2/3 d$. Захват воздуха потоком на входе и выбросы его в виде выхлопов и всплесков на выходе сооружения приводят к образованию волн в нижнем бьефе и раскачке уровня воды нижнего бьефа. Обратные течения в верхнем бьефе не зафиксированы.

В створе порталной стенки выходного оголовка сечение трубы затоплено на 50 %. Истечение потока происходит под уровень воды нижнего бьефа. На расстоянии 3,4 м от выхода трубы в водобойной части образуется прыжок-волна. Размеры водобойной части следующие: длина водобойного колодца 8,5 м, ширина 2,28 м, глубина 0,54 м, высота боковых стенок водобойной части 2,0 м. Длина крепления из железобетонных плит 7,5 м.

За водобойным колодцем зафиксированы сбойные течения у обоих откосов. Динамическая ось у правого откоса в середине длины железобетонного крепления имеет скорости, достигающие 1,5–1,7 м/с, а в левой части в том же створе они не превышают 1,2 м/с.

Для устранения выявленных недостатков рекомендуется:

- на сооружениях, где глубина водобойного колодца недостаточна (меньше 0,2 м), положить перпендикулярно течению в конце водобоя железобетонную балку с размером сечения больше 0,3 м;

- для устранения подсечек и обрушений откосов (до 1 м) рекомендуется вдоль откосов устроить заграждения в виде стенки из плетня. С течением времени произойдет заиление дефектов в откосах дамб;

- при строительстве новых каналов и сооружений на них рекомендуется устройство усовершенствованной конструкции сопрягающего сооружения.

Методика натуральных исследований заключается в следующем.

1 За каждым сооружением пробивается базис – прямая линия (по левой или правой, наиболее прямолинейной, стороне канала) с применением трех вех.

2 Базисы назначаются в зависимости от участков перехода потока из бурного состояния в спокойное и имеют длину в пределах 70–150 м.

3 Перпендикулярно базису намечаются створы в верхнем и нижнем бьефах сооружения в количестве от 7 до 9 шт.

4 Первый створ назначается в верхнем бьефе (в начале крепления железобетонными плитами) длиной до начального створа входного отверстия трубы.

5 Второй створ назначается в начале водобойной части сооружения, в выходном сечении трубы.

6 Третий створ назначается в конце водобойной части, в начале жесткого крепления рисбермы.

7 Четвертый створ – в конце жесткого крепления из железобетонных плит, в начале крепления из каменной наброски.

8 Пятый створ – в конце крепления из каменной наброски (начало воронки местного размыва).

9 Шестой створ – в середине участка размыва с максимальной шириной поверхности воды.

10 Седьмой створ – в конце воронки размыва с минимальной шириной поверхности воды.

11 Восьмой и последующие створы назначаются в характерных местах отводящего канала.

12 Каждый створ закрепляется кольями по обеим сторонам канала.

13 Начало каждого створа «привязывается» к базису (измеряется расстояние от базиса до колышка – начала створа).

14 В каждом створе к кольям привязывается веревочный трос с номерками, привязанными к нему через каждый метр. Нулевой номерок должен находиться на начальном колышке (со стороны базиса).

15 Измерение скоростей в створах производится на трех-восьми вертикалях (в зависимости от ширины воды между урезами), детальным (пять точек на вертикали) или сокращенным (три точки на вертикали) способами.

16 В створах, где глубина воды не превышает 0,25 м, измерение скоростей выполняется одноточным или двухточечным способами. Глубины в створах измеряются на каждой вертикали. Это нужно для получения более полного и детального очертания поперечного сечения канала.

17 Глубины воды в створах замеряются с помощью металлической штанги с подпятником, с градацией делений через 10 см. Единицы сантиметров добираются с помощью масштабной линейки. Погрешность измерения глубин должна составлять не более 0,01 м.

Выводы

1 Трубчатые сетевые сооружения, которыми армированы каналы мелиоративных систем Северного Кавказа, обладают рядом недостатков, приводящих к образованию негативных ситуаций, угрожающих устойчивости сооружений.

2 В результате динамических нагрузок в водопроводящей части трубчатых сооружений происходит расстройство стыковых соединений между звеньями труб, отчего вымывается грунт засыпки с боков труб, что в конечном счете приводит к разрушению водопроводящей части.

3 Захват воздуха потоком на входе и выбросы его в виде выхлопов и

всплесков на выходе сооружения приводят к образованию волн в нижнем бьефе и раскачке уровня воды нижнего бьефа. Следствием такого режима сопряжения является подсечка откосов земляного русла, приводящая к обрушению грунта и образованию обрывов, угрожающих устойчивости крепления нижнего бьефа и самого сооружения.

4 Изложенные выше факты свидетельствуют о том, что в типовых проектах имеются недоработки, касающиеся гидравлического режима работы сетевых мелиоративных сооружений. Исправить эти погрешности можно путем исследования работы сооружений на их моделях в лабораторных условиях. Средства, затрачиваемые на эксперименты (как показала практика научных исследований), полностью окупаются со значительным экономическим эффектом.

Список использованных источников

1 Иванов, В. Г. Гидравлические исследования низконапорных трубчатых сооружений при их совместной работе с сопрягаемыми бьефами: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Иванов Виктор Георгиевич. – Л., 1982. – 20 с.

2 Костин, А. И. Исследование гидравлического режима трубчатых сооружений на оросительных системах Дона: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Костин А. И. – Новочеркасск, 1955. – 25 с.

3 Овчаренко, И. Х. Натурные исследования типовых гидротехнических сооружений на мелиоративных системах Ставропольского края / И. Х. Овчаренко, А. Ф. Чуйко // Научные исследования по гидротехнике в 1973 г. – Л.: Энергия, 1974. – С. 180–182.

4 Хусан-Ходжаев, З. Х. Методика гидравлического расчета трубчатых быстротоков круглого сечения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Хусан-Ходжаев З. Х. – М., 1960. – 24 с.

5 Сенчуков, Г. А. Оценка потерь напора перспективной деривационной оросительной системы Большого Ставропольского канала / Г. А. Сенчуков, А. И. Тищенко, В. Д. Гостищев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2017. – № 3(27). – С. 179–198. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=491&id=504>.

6 Леви, И. И. О местном размыве за сооружениями / И. И. Леви // Гидротехническое строительство. – 1956. – № 1. – С. 42–567

7 Вызго, М. С. Эксплуатационные мероприятия, прогнозы и способы уменьшения местных размывов за гидротехническими сооружениями / М. С. Вызго. – Ташкент: Наука, 1966. – 292 с.

8 Гунько, Ф. Г. Гасители энергии и маневрирование затворами как мероприятие по борьбе со сбойными течениями в нижних бьефах гидроузлов / Ф. Г. Гунько // Труды координационных совещаний по гидротехнике. – М. – Л., 1964. – Вып. 15. – С. 183–200.

9 Дмитриев, А. Ф. Определение глубины воронки размыва в нижнем бьефе лесосплавных плотин / А. Ф. Дмитриев // Первоначальный сплав древесины. Труды ВНИИ лесосплава. – М.: Леспромиздат, 1972. – С. 134–140.

10 Колганов, А. В. Гидравлическая эффективность и надежность оросительных каналов / А. В. Колганов, Ю. М. Косиченко. – М.: Рома, 1997. – 160 с.

11 Щедрин, В. Н. Стратегия использования орошаемых земель в современных условиях / В. Н. Щедрин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2003. – № 3. – С. 45–51.

12 Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надежность оросительных систем / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2004. – 388 с.

13 Мирцхулава, Ц. Е. О критериях надежности при проектировании гидромелиоративных сооружений / Ц. Е. Мирцхулава // Доклады ВАСХНИЛ. – 1972. – № 2. – С. 39–41.

14 Васильев, С. М. Повышение экологической безопасности способов орошения для формирования устойчивых агроландшафтов в аридной зоне: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 06.01.02 / Васильев Сергей Михайлович. – Волгоград, 2006. – 35 с.

15 Курепина, Н. Л. Проблемы эколого-экономической безопасности аридных территорий юга России / Н. Л. Курепина, М. В. Курепина // Вестник ЮРГТУ (НПИ). – 2012. – № 2. – С. 162–165.

16 Тищенко, А. И. О мероприятиях, обеспечивающих стабильную и надежную работу гидротехнических сооружений мелиоративных систем / А. И. Тищенко // Материалы научно-практической конференции по итогам работы сотрудников НГМА в 1999 году. – Новочеркасск, 2000. – С. 34–36.

17 Panov, S. I. Scientific aspects of hydraulic engineering in the Extreme North / S. I. Panov, N. F. Krivonogova // Power Technology and Engineering. – 2012. – Vol. 45, iss. 6. – P. 417–421.

18 Leschenko, S. V. Vertical hydrodynamic loads on the elements of hydrotechnical constructions / S. V. Leschenko, K. N. Makarov // European Researcher. – 2013. – № 5-1(48). – P. 1189–1193.

19 Усовершенствованная конструкция сопрягающего сооружения для каналов мелиоративной сети предгорной и горной зон / С. М. Васильев, А. И. Тищенко, Г. А. Сенчуков, В. Д. Гостищев // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. – 2019. – № 1(01). – С. 46–63. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=13>.

20 Пат. 2686999 Российская Федерация, МПК Е 02 В 8/06, Е 02 В 13/00. Сопрягающее сооружение для оросительной сети предгорной зоны орошения / Васильев С. М., Тищенко А. И., Гостищев В. Д., Манжина С. А., Пономаренко Т. С., Бреева А. В., Ляшков М. А., Куприянов А. А.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2018128562; заявл. 02.08.18; опубл. 06.05.19, Бюл. № 13. – 9 с.

References

1 Ivanov V.G., 1982. *Gidravlicheskie issledovaniya nizkonapornykh trubchatykh sooruzheniy pri ikh sovmestnoy rabote s sopryagaemymi b'efami*. Avtoreferat diss. kand. techn. nauk [Hydraulic studies of low-pressure tube-type structures during their joined work with conjugate upstream pool. Abstract of cand. techn. sci. diss.]. Leningrad, 20 p. (In Russian).

2 Kostin A.I., 1955. *Issledovanie gidravlicheskogo rezhima trubchatykh sooruzheniy na orositel'nykh sistemakh Dona*. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk [Investigation of the hydraulic regime of tube-type structures on the Don irrigation systems. Abstract of cand. techn. sci. diss.]. Novocherkassk, 25 p. (In Russian).

3 Ovcharenko I.Kh., Chuiko A.F., 1974. *Naturnye issledovaniya tipovykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy na meliorativnykh sistemakh Stavropol'skogo kraya* [Field studies of typical hydraulic engineering structures on reclamation systems in Stavropol Territory]. *Nauchnye issledovaniya po gidrotekhnike v 1973* [Scientific Research in Hydraulic Engineering in 1973]. Leningrad, Energy Publ., pp. 180–182. (In Russian).

4 Khusan-Khodzhaev Z.Kh., 1960. *Metodika gidravlicheskogo rascheta trubchatykh bystrotokov kruglogo secheniya*. Avtoreferat diss. kand. tech. nauk [The method of hydraulic

calculation of tube chutes of circular cross section. Abstract of cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 24 p. (In Russian).

5 Senchukov G.A., Tishchenko A.I., Gostishchev V.D., 2017. [Estimation of the flow head loss of a promising diversion irrigation system of the Big Stavropol Canal]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 3(27), pp. 179-198, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=491&id=504>. (In Russian).

6 Levy I.I., 1956. *O mestnom razmyve za sooruzheniyami* [On local erosion below structures]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical Construction], no. 1, pp. 42-56. (In Russian).

7 Vyzgo M.S., 1966. *Ekspluatatsionnye meropriyatiya, prognozy i sposoby umen'sheniya mestnykh razmyvov za gidrotekhnicheskimi sooruzheniyami* [Operating Measures, Forecasts, and Methods of Decreasing Local Erosion below Hydraulic Structures]. Tashkent, Nauka Publ., 292 p. (In Russian).

8 Gun'ko F.G., 1964. *Gasiteli energii i manevrirovaniye zatvorami kak meropriyatiye po bor'be so sboynymi techeniyami v nizhnikh b'efakh gidrouzlov* [Energy dissipators and gate operation as an action against tidal bores in the downstream waterworks facility]. *Trudy koordinatsionnykh soveshchaniy po gidrotekhnike* [Proc. of Coordination Meetings on Hydraulic Engineering]. Moscow – Leningrad, iss. 15, pp. 183-200. (In Russian).

9 Dmitriev A.F., 1972. *Opredelenie glubiny voronki razmyva v nizhnem b'efe lesoplavnykh plotin* [Determination of the depth of the erosion funnel in the downstream of the floating dams]. *Pervonachal'nyy splav drevesiny. Trudy VNII lesosplava* [Spring Floating. Proc. of Research Institute of Timber Floating]. Moscow, Lespromizdat Publ., pp. 134-140. (In Russian).

10 Kolganov A.V., Kosichenko Yu.M., 1997. *Gidravlicheskaya effektivnost' i nadezhnost' orositel'nykh kanalov* [Hydraulic Efficiency and Reliability of Irrigation Canals]. Moscow, Roma Publ., 160 p. (In Russian).

11 Shchedrin V.N., 2003. *Strategiya ispol'zovaniya oroshaemykh zemel' v sovremennykh usloviyakh* [Strategy for the irrigated land use under modern conditions]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 3, pp. 45-51. (In Russian).

12 Shchedrin V.N., Kosichenko Yu.M., Kolganov A.V., 2004. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' orositel'nykh sistem* [The Operational Reliability of Irrigation Systems]. Rostov-on-Don, SKNTs HE Publ., 388 p. (In Russian).

13 Mirtskhulava Ts.E., 1972. *O kriteriyakh nadezhnosti pri proektirovanii gidromeliorativnykh sooruzheniy* [On reliability criteria for designing hydraulic reclamation structures]. *Doklady VASKHNIL* [Reports of the All-Union Agricultural Academy], no. 2, pp. 39-41. (In Russian).

14 Vasiliev S.M., 2006. *Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti sposobov orosheniya dlya formirovaniya ustoychivyykh agrolandshaftov v aridnoy zone. Avtoreferat diss. d-ra techn. nauk* [Improving the environmental safety of irrigation methods for the formation of sustainable agrolandscapes in the arid zone. Abstract of d-r techn. sci. diss.]. Volgograd, 35 p. (In Russian).

15 Kurepina N.L., Kurepina M.V., 2012. *Problemy ekologo-ekonomicheskoy bezopasnosti aridnykh territoriy yuga Rossii* [Problem of arid areas' environmental and economic safety in the south of Russia]. *Vestnik YURGTU (NPI)* [Bull. of SRSTU (NPI)], no. 2, pp. 162-165. (In Russian).

16 Tishchenko A.I., 2000. *O meropriyatyakh, obespechivayushchikh stabil'nuyu i nadezhnuyu rabotu gidrotekhnicheskikh sooruzheniy meliorativnykh sistem* [On measures ensuring stable and reliable operation of hydraulic structures of land reclamation systems]. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii po itogam raboty sotrudnikov NGMA v 1999 godu* [Proc. of Scientific-Practical Conference on the Work Results of NGMA Staff in 1999]. Novocherkassk, pp. 34-36. (In Russian).

17 Panov S.I., Krivonogova N.F., 2012. Scientific aspects of hydraulic engineering in the Extreme North. *Power Technology and Engineering*, vol. 45, iss. 6, pp. 417-421.

18 Leschenko S.V., Makarov K.N., 2013. Vertical hydrodynamic loads on the elements of hydrotechnical constructions. *European Researcher*, no. 5-1(48), pp. 1189-1193.

19 Vasiliev S.M., Tishchenko A.I., Senchukov G.A., Gostishchev V.D., 2019. *Sovershenstvovannaya konstruktsiya sopryagayushchego sooruzheniya dlya kanalov meliorativnoy seti predgornoy i gornoy zon* [Improved design of conjugate structure for reclamation networks of piedmont and mountain zones]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo* [Ecology and Water Management], no. 1(01), pp. 46-63, available: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=13>. (In Russian).

20 Vasiliev S.M., Tishchenko A.I., Gostishchev V.D., Manzhina S.A., Ponomarenko T.S., Breeva A.V., Lyashkov M.A., Kupriyanov A.A., 2019. *Sopryagayushchee sooruzhenie dlya orositel'noy seti predgornoy zony orosheniya* [Conjugate Structure for Irrigation Network of the Piedmont Irrigation Zone]. Patent RF, no. 2686999. (In Russian).

Тищенко Александр Иванович

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: aleks.tishencko2016@mail.ru

Tishchenko Aleksandr Ivanovich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novochoerkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: aleks.tishencko2016@mail.ru