

УДК 626.823.8: 001.8

## **НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ**

Карпенко А.В., – аспирант  
Тищенко А. И., – к. т. н., доцент  
*ЗАО НИПИ "ИнжГео"*

В статье приводятся объекты исследований, которые находятся в эксплуатации более 50 лет. Для гидротехнических сооружений оросительно-обводнительных систем отводится срок долговечности до 50 лет, но как указывают авторы, сооружения, находящиеся в длительной эксплуатации могут прослужить еще некоторый срок, если к ним своевременно применить необходимые меры для продления срока службы.

Объектами исследования выбраны стыковые соединения и состояние защитного слоя арматуры плоских и объемных железобетонных и бетонных элементов открытых и трубчатых гидротехнических сооружений на пересечениях Азовской оросительной системы Ростовской области, а также Терско-Кумской обводнительно-оросительной системы (ТКООС) Ставропольского края. Азовская оросительная система является одной из самых старых в Ростовской области, введена в эксплуатацию в 1954 году на базе Цимлянского гидротехнического комплекса.

Терско-Кумская обводнительно-оросительная система является одной из старейших систем России и первой инженерной системой на Северном Кавказе [2]. Начало ее уходит к середине XIX века. А в 1926 году по решению Совнаркома РСФСР положено начало строительству водохозяйственных объектов в междуречье Терека и Кумы, выросших впоследствии в первый крупный ирригационный объект на Северном Кавказе – Терско-Кумскую обводнительно-оросительную систему.

Для исследований на этих системах были выбраны: трубчатые проезды, открытые и трубчатые быстротоки с уступом и перепады, акведуки, дюкеры, которые пробыли в эксплуатации 50 и более лет.

Натурным исследованиям было подвергнуто около 20 сооружений на пересечениях, и было обследовано состояние стыковых соединений и толщины защитного слоя бетона более чем на 40 гидротехнических сооружениях на пересечениях.

Надежность работы стыковых соединений элементов гидротехнических сооружений на пересечениях зависит от правильности выбора конструктивных параметров и правильно подобранного композиционного состава герметика. Также от формы герметика и полости шва, глубины его размещения в шве, от способности герметика сохранять прочность и эластичность в процессе длительной эксплуатации, и от деформативных качеств материала подосновы шва (например, цементного раствора), от адгезионной и когезионной характеристики герметика и материала подосновы. Надежная работа швов наблюдается в случаях, когда силы адгезии больше или значительно превышают (примерно в 2-3 раза) силы когезии, т. е. силы, необходимой для разрыва герметика.

В жестких стыковых соединениях механическая прочность материалов омоноличивания после затвердевания должна быть на одну ступень выше, чем прочность материала стыкуемых элементов.

Долговечность стыковых соединений при проектировании сооружений назначается в зависимости от капитальности сооружений.

Долговечность работы арматуры зависит от качества защитного слоя бетона, толщины этого слоя, его водопроницаемости, характера действующей нагрузки (динамическое воздействие, статическое, знакопеременное).

При сборе проектно-технических материалов и патентных исследований основное внимание обращалось на физико-механические свойства материалов, используемых при устройстве стыковых соединений элементов гидротехнических сооружений на пересечениях (таблица 1).

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели по стыковым соединениям элементов гидротехнических сооружений на пересечениях

Наименование и единица измерения	Значение технико-экономических показателей						
	лучшие отечественные и зарубежные промышленные объекты		на данный момент времени	базовый образец (Украина. Материал шва - битумные маты, резиновые профили)	объект по стандарту или техническим условиям	объект разработки (производства аттестации)	Перспективный образец
	предшествующего поколения						
	отечественного (материал шва – полимер-бетон)	зарубежного (США) (материал – бетон и профильная лента)	Россия (материал – бетон и отечественная герметизация на проймающих составах)				
1. Физико-механические показатели материалов шва: - сопротивление сжатию - сопротивление изгибу - сопротивлений разрыву - прочность адгезионной связи к сухому и влажному бетону - усадка бетона, %	110-130 35-40 18-20 5 0,3-0,5	110-130 35-40 20 5 -	возрастание адгезионных связей	130 40 20 4 -		0,2	130 40 20 6 0,3
2. Показатель снижения прочности и эластичности герметиков после 5 лет эксплуатации	2-2,5 раза	не установлено	-	2	-	-	1,5
3. Показатель относительной линейной деформации герметиков, %	20-30	-	-	-	-	-	10-15
4. Осадка конуса бетонной смеси, см	0-1	5-6	5-6	3-4			*
5. Водонепроницаемость шва (воздухопроницаемость) коэффициент воздухопроницаемости	удовлетворительно	удовлетворительно	резко возрастает	удовлетворительно			

\*- В последней графе п.4 следует читать “в зависимости от условий выполнения не ниже, чем при оклеечной герметизации”.

Выбор перечня показателей, отражающих физико-механические свойства швов и их составляющих, определялись в соответствии с

требованиями нормативно-технической и проектной документации: СНиП 3.09.01 – 85 (с изм. 1 1988, 2 1994) “Производство сборных железобетонных конструкций и изделий”, СНиП 3.06.03 – 85 “Автомобильные дороги”, СНиП 3.06.04 -91 “Мосты и трубы”, СНиП 3.06.07 – 86 “Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний” ВСН 012 – 88 “Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Контроль качества и приемка работ”, ВСН 32 – 81 “Инструкция по устройству гидроизоляции конструкций мостов и труб на железных, автомобильных и городских дорогах”, ВСН 4 – 81 “Инструкция по проведению осмотра мостов и труб на автомобильных дорогах”.

Дальнейшее совершенствование способов устройства стыковых соединений предполагает:

- возможность улучшить механические свойства швов за счет использования более совершенных машин механизмов и приспособлений по качественной укладке герметизирующего материала, повышение плотности омоноличивающей смеси;

- повышение технологичности процесса;

- повышение ремонтпригодности швов.

Ведущее место в разработке конструкций стыковых соединений железобетонных и крупных бетонных гидротехнических сооружений занимает Проектно-изыскательский научно-исследовательский институт им. С. Я. Жука. Предлагаемые указанным институтом технические решения направлены на совершенствование конструкции стыковых соединений за счет введения в полость стыка различного рода компенсаторов и обеспечения их совместной работы со стыкуемыми элементами.

В конструкциях стыковых соединений, предлагаемых проектными организациями Украины, превалирует использование различного рода герметиков. Повышение эксплуатационной надежности в предлагаемых

стыковых соединениях достигается за счет улучшения адгезионных и когезионных показателей герметика, совершенствования форм профилей герметиков, выбора наиболее рациональных мест размещения профилей в полости стыка. Перспективным направлением в конструкциях стыковых соединений являются стыки с использованием пластмассовых профилей, обеспечивающих высокую степень герметизации и надежную совместную работу со смесью омоноличивания.

Для выяснения влияния потока, проходящего через сооружения на пресечениях, на работу стыковых соединений на исследуемых сооружениях были выбраны участки, на которых выполнялись гидравлические исследования по выяснению скоростной структуры потока при входе, в водопроводящей части и на выходе из сооружения, выполнялось описание и фотосъемка состояния сооружений на период исследований.

Для определения дефектов и нарушений в железобетонных элементах длительно эксплуатирующихся сооружений использовался радиотехнический прибор поверхностного зондирования «ОКО-2» производства фирмы «Логис» г. Жуковский (сертификат соответствия № 03.01.0075).

Трубы под каналами в насыпи невозможно заменить, т. к. работу больших каналов районного значения нельзя остановить, поэтому вопрос по реконструкции труб на пересечениях стоит так остро.

Но необходимо знать, что и как реконструировать. Для этого следует провести обследование сооружений на пересечениях. Нужно знать прочность бетона трубы, состояние стыковых соединений, состояние напряженной арматуры, величину защитного слоя бетона с внешней и наружной стороны трубы.

В связи со спецификой сооружений отбор образцов бетона и арматуры невозможен. Поэтому актуальна, проблема определения

характеристик бетона и состояния арматуры производить неразрушающими методами контроля.

Следует учесть, что получение реальных физико-механических и структурных характеристик бетона непосредственно в сооружении и их изменение во времени и от воздействия различных факторов возможно только с помощью неразрушающих методов контроля.

Оперативная оценка фактического состояния бетона, выявление дефектных зон и параметров дефектов с применением НМК и последующие расчетные оценки состояния конструкции и сооружения в целом совместно с условиями последующей эксплуатации позволяют оптимизировать форму ремонтов и реконструкции или внести коррекцию в характер дальнейшей эксплуатации сооружений. Это особенно важно в условиях сокращения объемов нового строительства и увеличения количества модернизируемых объектов, стремления максимально эффективно использовать существующие сооружения. Кроме того, своевременно выявленные с помощью НМК скрытые дефекты позволяют предотвратить потенциально аварийные ситуации.

Многие исследователи [5, 7, 8] считают, что при проектировании гидротехнических сооружений на пересечениях необходимо соблюдать следующие условия: выход сооружения должен быть симметричным продольной оси канала, ширина водобойной части должна быть равна ширине канала по дну. Если первое условие зачастую выполняется, то второе (особенно за трубчатыми переездами, быстротоками, перепадами, ливнеспусками и др.) вообще не соблюдается.

Натурные исследования выполнялись на трубчатых переездах Азовской оросительной системы (АОС) в Ростовской области, на шахтных перепадах и трубчатых быстротоках Дивенского распределителя, быстротоках с уступом, переездах – перепадах Большого Левобережного и Малого Левобережного каналов, распределителей “Советского” и 1

Сухопадинского Курского отделения, каналов Р-1 и Р-2 Георгиевского отделения ТКООС в Ставропольском крае.

**Дивенский распределитель** (введен в строй с 1955 г). Общая длина распределителя — 87,9 км. Головное сооружение расположено на ПК 2520 левой ветви Право-Егорлыкского канала. Расчетные проектные расходы  $Q_{\text{норм}}=1,3 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $Q_{\text{форс}}=1,69 \text{ м}^3/\text{с}$ .

В большинстве случаев грунты, слагающие ложе канала, — средние суглинки.

Канал армирован трубчатыми переездами типа ТП-75 – 100 с расходом  $Q=0,2 - 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ , трубчатыми водовыпусками типа РТВ-75-100 с переездом. Также на нем построены: трубчатые переезды типа ТП-125-150, рассчитанные на расходы  $Q=1,15 - 1,69 \text{ м}^3/\text{с}$ ; шахтные перепады типа Бп-V с расходом  $Q = 0,9 \text{ м}^3/\text{с}$  и геодезическим перепадом  $P=1,52, 1,76, 2,1 \text{ м}$ .

Состояние сооружений, как показали обследования, является неудовлетворительным.

**Обсуждение результатов исследований сооружений.** Водомер Вентури расположен в головной части канала. Построен гидропост уже при эксплуатации канала. Кинематические характеристики потока снимались при расходе  $Q=2,38 \text{ м}^3/\text{с}$ . На основании визуальных наблюдений и замеров можно констатировать, что в нижнем бьефе динамическая ось потока смещена к левому берегу, наблюдается сбойность течения.

Длина водопроводящей части на этом сооружении 4м с нулевым уклоном дна. По результатам измерения скоростей в трех створах выяснено, что скорости в придонном слое (при данном расходе) распределились следующим образом: в начальном створе 3,3 м/с, в среднем створе – 3,2 м/с и в конечном створе - 3,1 м/с.

При осмотре дна сооружения насухо было установлено, что шероховатость дна увеличена за счет каверн и раковин, образовавшихся в бетоне. Для определения фактической величины коэффициента

шероховатости дна, воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии механической системы, выделив отсек жидкости длиной в 1 пог. м. (рисунок 1).

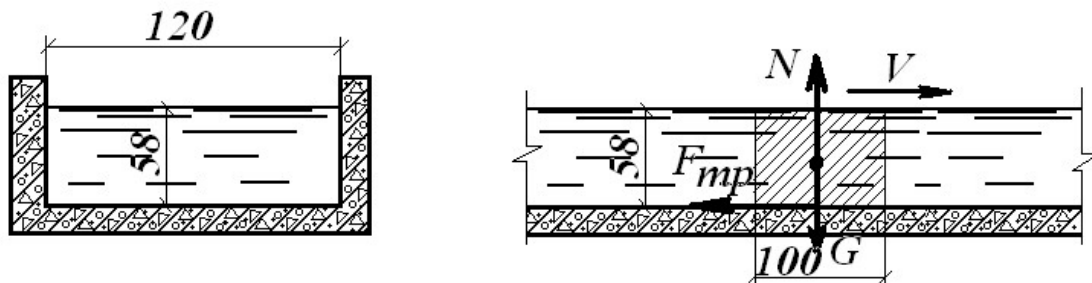


Рисунок 1 – Поперечное сечение и расчетная схема водопроводящей части водомера Вентури

$$\frac{MV^2}{2} - \frac{MV_0^2}{2} = \sum A_i^E = \sum F_i \cdot ds = -F_{mp} \int_0^s ds \quad (2.2)$$

После интегрирования получим

$$\frac{MV^2}{2} - \frac{MV_0^2}{2} = -F_{mp}s \quad (2.3)$$

Подставив  $V = 3,1$  м/с,  $V_0 = 3,3$  м/с,  $s = 4$  м,  $F_{mp} = fN$ , а также  $M = G/g = (b \cdot h \cdot 1 \cdot \gamma_w)/g = 1,2 \cdot 0,58 \cdot 1 \cdot 10/9,81 = 0,71$  т = 710 кг и  $N = G = b \cdot h \cdot 1 \cdot \gamma_w = 6,965$  кН, найдем фактическое значение коэффициента трения скольжения на высоте выступов эквивалентной шероховатости.

$$f = \frac{MV_0^2 - MV^2}{2Gs} = \frac{MV_0^2 - MV^2}{2Mgs} = \frac{V_0^2 - V^2}{2gs} = \frac{3,3^2 - 3,1^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 4} = 0,0163.$$

По рекомендациям Н. Н. Павловского [9], П. Г. Киселева [3], В. М. Маккавеева [4], А. А. Угинчуса [11], Р. Р. Чугаева [13], А. И. Богомоллова [1] этот коэффициент для русел с бетонным покрытием имеет значение 0,011.

Как видим, за период эксплуатации около 50 лет, коэффициент гидравлического сопротивления бетонного покрытия увеличился на 0,0053 за счет дефектов, появившихся в этом покрытии. Увеличение коэффициента сопротивления влечет за собой повышение уровня воды и влияет на искажение фактических измерений расходов воды на данном гидропосту.

**Подпорное сооружение с трубчатым переездом на ПК 254.** В период исследований переезд был разрушен (рисунок 2). В верхнем бьефе



сооружение оборудовано плоским щитом шириной 1,2 м. Водопроводящая часть выполнена из нескольких звеньев железобетонных труб диаметром 1 м. Из стыков труб наблюдалась сильная фильтрация. Из-за этого произошел вымыв и обрушение грунта с боков водопроводящей части. Нижний оголовок выполнен в виде насадка прямоугольного сечения с размерами 1,2×1,35 м (рисунок 3). При пропуске расхода  $Q=1,08 \text{ м}^3/\text{с}$  исследования этого сооружения показали, что в нижнем бьефе динамическая ось потока совпадает с продольной осью отводящего русла.

Крепление из железобетонных плит на откосах полностью разрушилось и сохранилось только на дне. Этим креплением является основание железобетонного насадка. Под ним произошел размыв грунта русла на глубину 0,25 м на длине 0,5 м. Грунт, слагающий дно канала, — легкий суглинок с просадочными свойствами.



Рисунок 2 - Трубчатый переход на ПК 254 Дивенского распределителя и его состояние в период исследований

Надо сказать, что сооружение находится в аварийном состоянии, поток обтекает его с боков, грунт вдоль трубы (особенно со стороны правого берега) вымыт полностью. Стыковые соединения звеньев труб

также нарушены и вода из трубы поступает в основание сооружения и выносит частицы грунта основания в нижний бьеф.

На переднем плане рисунка 2.5 виден стык, который усилен бетонным раствором. Однако это не привело к герметизации стыка. Из него, как и из других стыковых соединений, вода проникает наружу из внутренней полости трубы.

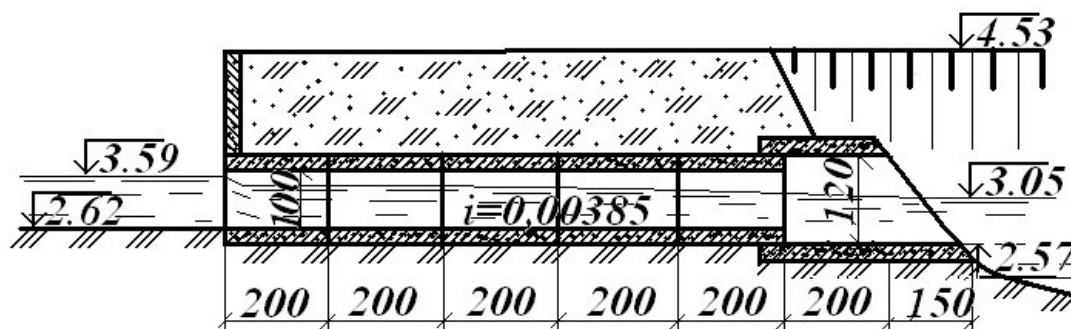


Рисунок 3 – Продольный профиль трубчатого переезда на ПК 254 Дивенского распределителя

На наш взгляд, нарушение стыковых соединений звеньев труб произошло по двум причинам:

- 1) основание под звеньями труб было недостаточно уплотнено;
- 2) толщина слоя засыпки грунта над трубой в среднем составляет 1,2 м, грунт насыпан без уплотнения. При прохождении через переезд колесного и гусеничного транспорта происходила значительная вибрационная нагрузка, от которой и произошло расстройство стыков. Дальнейшее разрушение выполнила вода.

Глубина воды в начале трубы (рисунок 3) составила 92 см, а в конце насадка – 48 см (почти в два раза меньше). При расходе воды  $1,08 \text{ м}^3/\text{с}$  средняя скорость течения в начале трубы (по нашим измерениям) составила 1,5 м/с. На выходе из насадка она составила 2,75 м/с, притом в придонном слое скорость достигала 2,15 м/с. Если учесть, что через стыки проходило воды более 50 л/с, то с этой поправкой скорости имели бы

значения больше измеренных. Значительному увеличению скоростей на выходе из сооружения способствует и то, что дно переезда выполнено с продольным уклоном, показанным на рисунке 3.

**Шахтный перепад № 2 ПК - 355** (рисунки 4). Проектный расход  $Q=0,9 \text{ м}^3/\text{с}$ , геодезический перепад  $P=1,76 \text{ м}$ . Гидравлический перепад составил  $2,8 \text{ м}$ . Исследования проводились при расходе  $Q=1,113 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Измерение гидравлических характеристик потока показало, что динамическая ось потока тяготеет к правому берегу. Гидравлический прыжок выходит за пределы насадка, сооружение работает в безнапорном режиме, насадок не затоплен. Такой режим способствует возникновению в горизонтальном участке трубы волн высотой до 25 см, отчего возникают динамические нагрузки, отрицательно влияющие на состояние стыковых соединений.

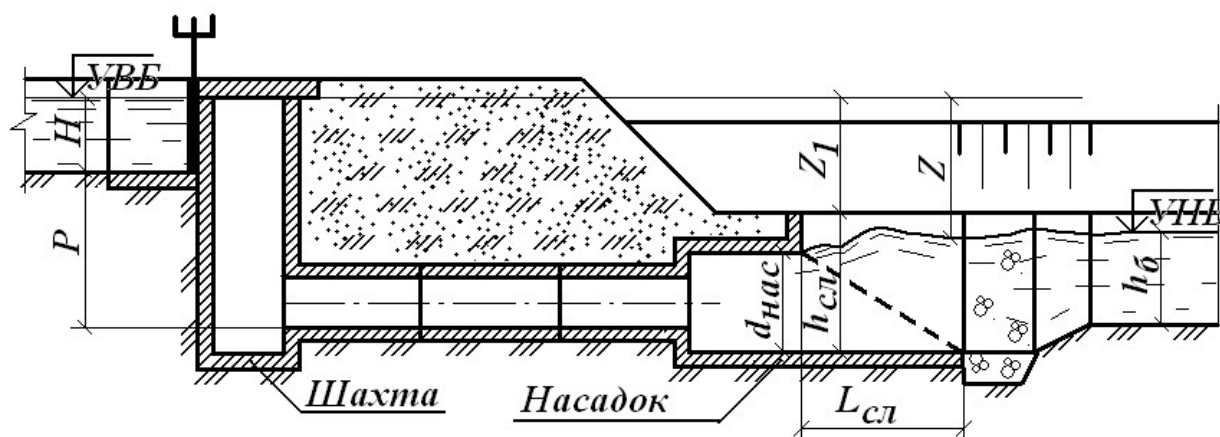


Рисунок 4 – Шахтный перепад конструкции института  
“Южгипроводхоз”

Исследованиями установлено, что в конце железобетонного насадка крепление из железобетонных плит и каменной наброски полностью разрушено. Это произошло в результате того, что придонные скорости, как в насадке, так и на его выходе значительно превышают поверхностные. Например, придонная скорость по замерам с помощью гидрометрической

вертушки составила 1,84 м/с, средняя скорость живого сечения 1,48 м/с, а поверхностная – 0,96 м/с.

## **Выводы**

1. При выборе конструкции гидротехнических сооружений для армирования оросительных каналов проектировщики не учитывали работоспособность трубчатых сооружений в условиях того или иного региона Южного Федерального округа. Например, шахтные перепады при проектном расходе работают не расчетным режимом. При проектировании предполагалось, что захват воздуха в шахту будет незначительным, а поэтому на работу насадка не окажет влияния. Диаметр насадка определялся в предположении, что после внезапного расширения потока в насадке, скорости воды в нем не превысят 1 м/с.

Фактически оказалось, что струя воды, падая в шахту, захватывает значительное количество воздуха. Насыщенный воздухом поток транспортируется по трубе в сторону нижнего бьефа. При движении потока в трубе происходит выделение воздуха.

В насадке воздух образует надпрыжковую полость, из которой под действием избыточного давления он прорывается в нижний бьеф.

В насадке возникает гидравлический прыжок, концевая часть которого выходит из насадка. Размер воздушной полости и положение прыжка в насадке зависят от расхода воды и затопления.

Выход воздуха вызывает колебания уровня воды в шахте, вибрацию сооружения и всплески в нижнем бьефе, а также волнение свободной поверхности воды на значительной длине.

Так как в насадке возникает гидравлический прыжок, на выходе из насадка наблюдается крайне неравномерное распределение скоростей, значение которых в 2,5 – 3,0 раза больше принятых в расчетах.

2. Недостатки работы трубчатых гидротехнических сооружений объясняются также несовершенством формул для гидравлического расчета водобойных колодцев. Анализ натуральных исследований, выполненных В. А. Храпковским [12], И. Х. Овчаренко [6] и др. [7] показал, что при пропуске через некоторые сооружения расходов, не превышающих 0,65 – 0,85 расчетных значений гидравлический прыжок выходит за пределы запроектированного водобойного колодца.

3. К негативным явлениям следует отнести и тот факт, что в вегетационный период по многим каналам службой эксплуатации подавался расход воды, превышающий в 1,4 раза максимальный, обусловленный проектными решениями, что влекло за собой прорывы дамб каналов.

4. Помимо недочетов в проектных разработках строителями допускались отклонения от проекта по трассировке дна каналов. На некоторых участках уклон дна превышает проектное значение, а на некоторых (по данным нивелирных съемок) фактические значения уклонов дна занижены. В результате этого фактические скорости течения оказались больше расчетных значений (при уклонах дна больше проектных). И, наоборот, на отдельных участках каналов скорости действительные оказались ниже проектных (при заниженных значениях продольного уклона дна).

5. К дефектам строительства можно отнести еще и то, что на некоторых сооружениях произведена некачественная заделка швов, что также явилось одной из причин размыва грунта и появления пазух. Недостаточное уплотнение насыпи и отсутствие подготовки привело к

частичному или полному разрушению крепления нижнего бьефа ряда сооружений.

### Список использованных источников

1. Богомолов А. И., Михайлов К. А. Гидравлика. – М.: Стройиздат, 1972. – 648 с.
2. Водные ресурсы Ставрополя/Авт. Н. Ф. Блохин, Т. И. Блохина; Под ред. А. А. Кондратенко. – Ставрополь: Департамент “Ставрополькрайводхоз”, 2001. – 288 с.
3. Киселев П. Г. Гидравлика: Основы механики жидкости. Учеб. Пособие для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
4. Маккавеев В. М., Коновалов И. М. Гидравлика. – Л.-М.: Речиздат, 1940. 643 с.
5. Мариупольский А. Л. Опыт применения типовых шахтных перепадов. – «Гидротехника и мелиорация», 1970, № 6.
6. Овчаренко И. Х., Тищенко А. И. Результаты натурных исследований шахтных перепадов на Дивненском распределителе в Ставропольском крае. – В кн.: «Научные исследования по гидротехнике в 1974 г.» - Л., 1975, ч.2, с. 66-67.
7. Овчаренко И. Х., Тищенко А. И. Современное состояние гидротехнических сооружений на Дивненском распределителе в Ставропольском крае. – Труды НИМИ. – Новочеркасск, 1975, т. 17, вып. 5, с. 179 – 180.
8. Овчаренко И. Х., Тищенко А. И., Макаренко Л. Н. Рекомендации по устранению основных недостатков работы гидротехнических сооружений на Дивненском распределителе в Старопольском крае. – Новочеркасск, 1977. – 14 с.
9. Павловский Н. Н. Собрание сочинений в 2-х томах. – М.-Л.: Изд.-во АН СССР, 1955. т. 1 – 547 с.
10. Тищенко А. И. Усовершенствование конструкций сопрягающих сооружений мелиоративных систем. Дис. на соиск. Уч. Ст. канд. техн. наук. – Новочеркасск, 1985. – 139 с.
11. Угинчус А. А., Чугаева Е. А. Гидравлика. – Л.: Госстройиздат, 1971. – 350 с.
12. Храпковский В. А. Опыт применения типовых трубчатых сооружений на оросительных системах Северного Кавказа. Автореф. дис. канд. техн. наук. – Новочеркасск: НИМИ, 1971. – 23 с.
13. Чугаев Р. Р. Гидравлика./Учебник для вузов. – Л.: Энергия, 1975.–600 с.