

**МЕТОДЫ РАСЧЁТА КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕШЁТОК И
СЕТЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ И
ИХ АНАЛИЗ**

Шониёзов Шахзод Абдусамадович

Независимый исследователь

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем

shoniyozovsh1995@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-1741-1119>

Казаков Эргаш Ахмадович

Старший научный сотрудник, PhD

Ташкентский архитектурно-строительный университет

ergash-kazakov@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0008-2819-2098>

Рўзиев Музаффар Ортик ўғли

Старший научный сотрудник, PhD

Директор Кашкадарьинского регионального центра НИИИВП

muzaffar.ruziyev33@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-8901-9735>

Улугбеков Бобур Бобомуротович

Старший научный сотрудник, PhD

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем

ulugbekov.bobur77@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9723-9477>

Аннотация

В статье проанализированы методы расчёта коэффициента сопротивления потока воды решётчатых и сетчатых конструкций, применяемых в гидротехнических сооружениях. Рассмотрено пять методических подходов и их аналитические зависимости, учитывающие различные геометрические формы кромок отверстий конструкций и значения числа Рейнольдса. В результате проведённого анализа отмечено, что задача расчёта динамического воздействия водного потока на конструкцию в настоящее время является одной из актуальных проблем данного научно-технического направления.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, решётчатая конструкция, сетчатая конструкция, коэффициент сопротивления, число Рейнольдса, гидравлическое сопротивление, водный поток.

Introduction

Аннотация

Мақолада гидротехника иншоотларида қўлланиладиган панжарали ва тўрсимон конструкцияларнинг сув оқимиға қаршилик коэффициентини ҳисоблаш усуллари таҳлил қилинган. Конструкция туйнук қирраларининг турли геометрик шакллариға ва Рейнольдс сони қийматлариға боғлиқ бешта услубий ёндашув ҳамда уларнинг аналитик ифодалари кўриб чиқилган. Таҳлил натижасида конструкцияға сув оқимининг динамик таъсирини ҳисоблаш масаласи ҳозирги кунда ушбу илмий-техник соҳанинг долзарб муаммоларидан бири сифатида кўрсатиб ўтилган.

Калит сўзлар: гидротехника иншоотлари, панжарали конструкция, тўрсимон конструкция, қаршилик коэффициенти, Рейнольдс сони, гидравлик қаршилик, сув оқими.

METHODS FOR CALCULATING THE DRAG COEFFICIENT OF GRIDS AND MESH STRUCTURES IN HYDRAULIC STRUCTURES AND THEIR ANALYSIS

Abstract

The article analyzes methods for calculating the flow resistance coefficient of water flow through grating and mesh structures used in hydraulic engineering structures. Five methodological approaches and their analytical relationships are considered, taking into account various geometric shapes of the edges of the openings in the structures and different Reynolds number values. The analysis demonstrates that the problem of determining the dynamic effect of water flow on structures is currently one of the pressing issues in this scientific and technical field.

Keywords: hydraulic engineering structures, grating structure, mesh structure, flow resistance coefficient, Reynolds number, hydraulic resistance, water flow.

Введение

В настоящее время в водном хозяйстве нашей страны на крупных насосных станциях, гидроэлектростанциях, а также на ряде магистральных и внутрихозяйственных оросительных сетей используется более 270 конструкций различных конфигураций для задержания плавающего мусора с целью обеспечения безопасной и надёжной эксплуатации гидротехнических сооружений. В частности, в каналах, аванкамерах насосных станций и деривационных каналах ГЭС применяются решётчатые, сетчатые и другие конструкции различной конфигурации, предназначенные для задержания различных предметов (мусора, растительности и др.), переносимых водным потоком и способных негативно влиять на безопасные и надёжные режимы эксплуатации гидротехнических сооружений (рис. 1).

Данные конструкции, наряду с задержанием различных видов мусора, переносимого водным потоком, оказывают влияние на гидравлические параметры потока. При

прохождении водного потока через решётчатые или сетчатые конструкции поток при подходе к решётке стесняется, а при прохождении через отверстия решётки или сетки разделяется на отдельные струи, в результате чего скорость потока резко увеличивается.

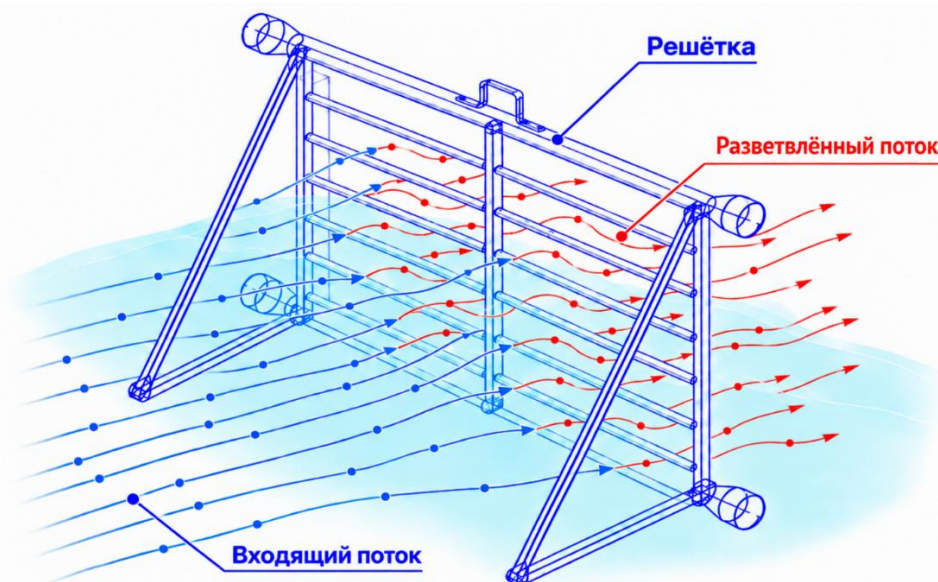


Рис. 1. Решётчатая конструкция, применяемая в гидротехнических сооружениях.

Таким образом, вследствие резкого сужения водного потока на входе в решётчатую или сетчатую конструкцию и его последующего резкого расширения на выходе возникают потери напора. В данном случае коэффициент сопротивления плоской решётчатой конструкции зависит от площади живого сечения потока, геометрической формы и размеров кромок отверстий решётки, а также от числа Рейнольдса.

Согласно научному анализу методов расчёта коэффициента сопротивления водного потока решётчатых и сетчатых конструкций:

1. Расчётные зависимости для определения коэффициента сопротивления элементов конструкций, образованных отверстиями в металлических листах, при прохождении через них водного потока представлены на диаграмме 1.

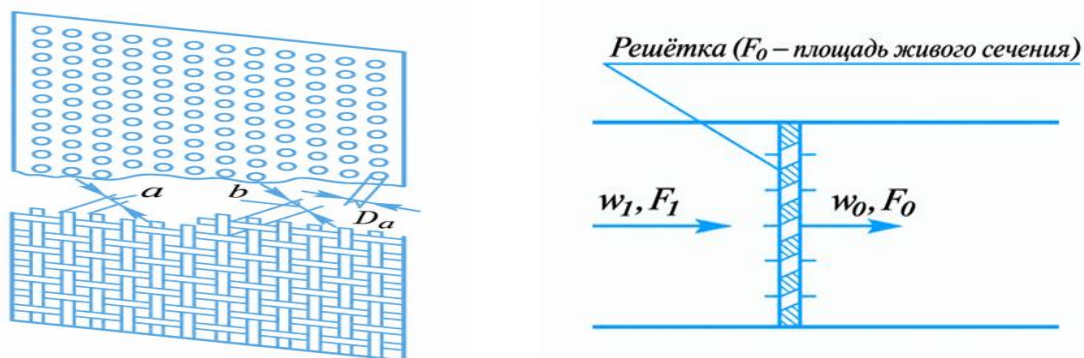


Диаграмма 1. Случай отверстий с острыми кромками.

Для случая, когда отверстия имеют острые кромки, справедливо следующее соотношение:

$$\frac{l}{d_r = 0 \div 0,015; \quad Re = \frac{w_0 d_r}{\nu}} > 10^5$$

Коэффициент сопротивления потоку для конструкций данного типа определяется по следующему выражению:

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = [0,707(1 - \bar{f})^{0,375} + 1 - \bar{f}]^2 \frac{1}{\bar{f}^2} = f(\bar{f}) \quad (1)$$

$$d_r = \frac{4f_{\text{теш}}}{\Pi_0}; \quad \bar{f} = \frac{F_0}{F_1} = \frac{\Sigma f_{\text{теш}}}{F_1}$$

Здесь: $f_{\text{теш}}$ — площадь одного отверстия; F_0 — площадь живого сечения решётчатой конструкции, состоящей из отверстий; Π_0 — периметр отверстия.

Графическое представление расчёта коэффициента сопротивления конструкции с отверстиями, имеющими острые кромки, приведено на рис. 2.

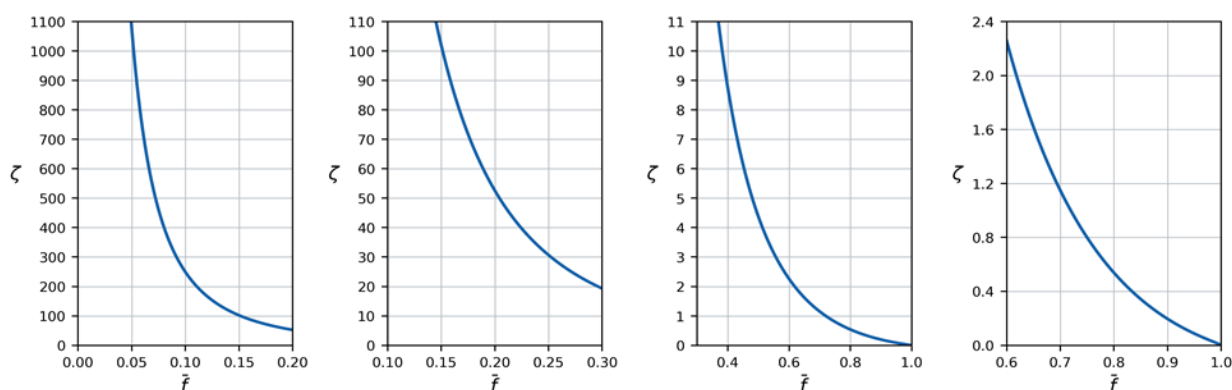


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента сопротивления сооружения от относительного живого сечения.

2. Решётка с кромками отверстий, скошенными по направлению потока, или решётка, у которой вершины уголков ориентированы навстречу потоку (диаграмма 2). Для конструкции данного типа число Рейнольдса удовлетворяет следующему условию:

$$Re = \frac{w_0 d_r}{\nu} > 10^4$$

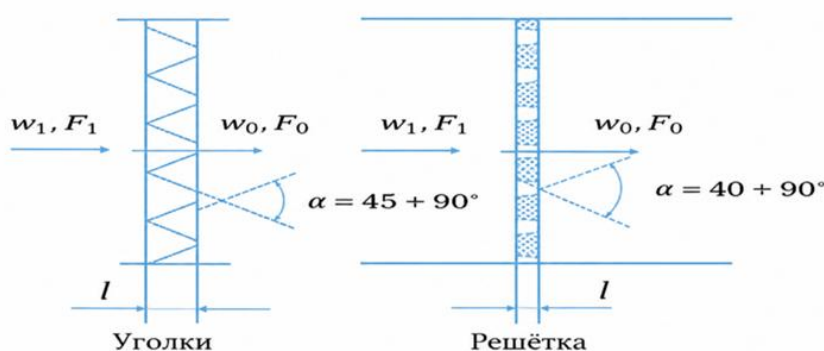


Диаграмма 2. Решётка с кромками отверстий, скошенными по направлению потока, или решётка с вершинами уголков, ориентированными навстречу потоку.

Коэффициент сопротивления конструкции данного типа водному потоку определяется по выражению (2).

$$\zeta = \frac{\Delta p}{\frac{\rho w_1^2}{2}} = \frac{[\sqrt{\zeta'}(1-\bar{f})^{0,375} + (1-\bar{f})]^2}{\bar{f}^2} \quad (2)$$

Здесь: $\zeta' = f\left(\frac{l}{d_r}\right)$, $\zeta = f\left(\bar{f}, \frac{l}{d_r}\right)$, $d_r = \frac{4f_{отв}}{\Pi_0}$; $\bar{f} = \frac{F_0}{F_1} = \frac{\Sigma f_{отв}}{F_1}$

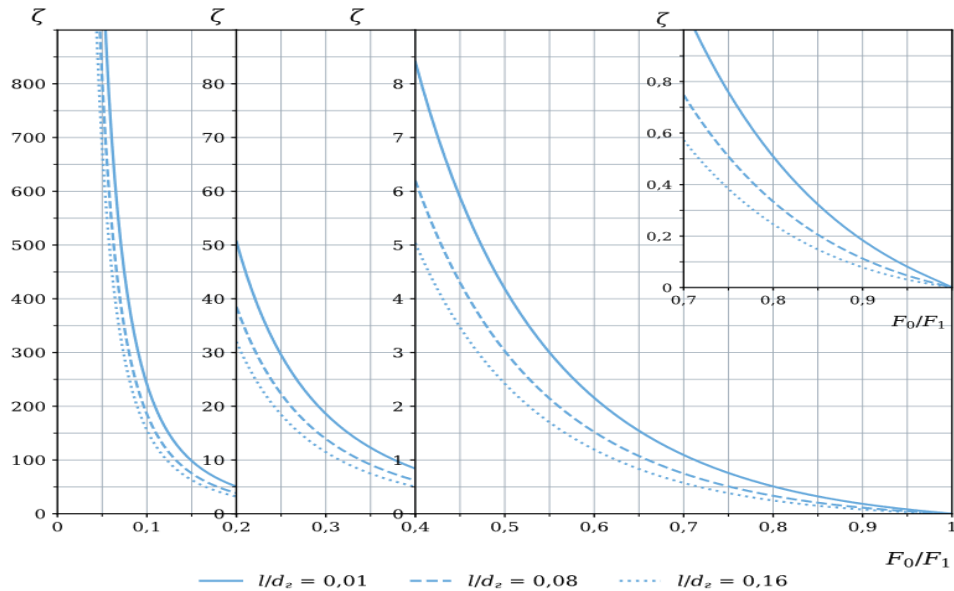


Рис. 3. Относительный диаметр отверстия

3. Решётчатая конструкция, выполненная из реек и перфорированной плиты. Относительный диаметр отверстий данной конструкции и значения числа Рейнольдса, характеризующего структуру водного потока, удовлетворяют следующим условиям:

$$\frac{l}{d_r} > 0,015; \quad Re = \frac{w_0 d_r}{\nu} \geq 10^5$$

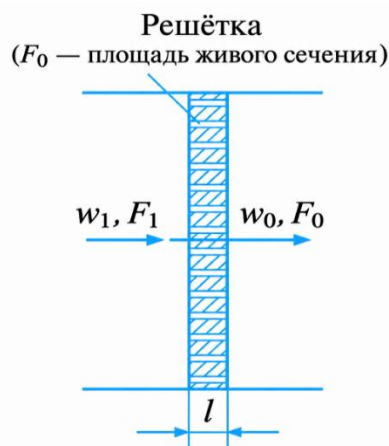


Диаграмма 3. Решётчатая конструкция, выполненная из перфорированной плиты

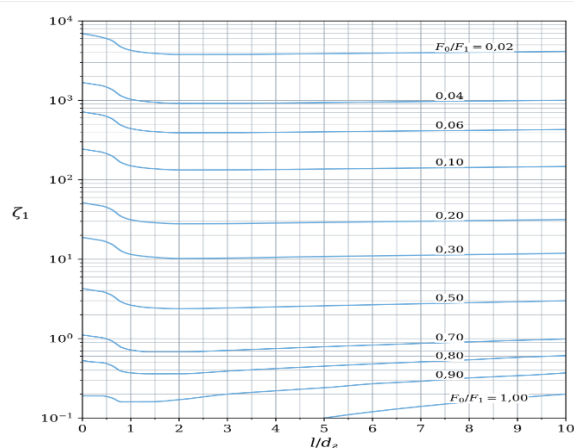


Рис. 4. График коэффициента сопротивления

Коэффициент сопротивления конструкции данного типа водному потоку определяется по следующему выражению:

$$\zeta_1 = \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = \frac{[0,5(1-\bar{f})^{0,75} + \tau(1-\bar{f})^{1,375} + (1-\bar{f})^2 + \lambda \frac{l}{d_r}]}{\bar{f}^2} \quad (3)$$

Здесь: $\tau = (2,4 - \bar{l})^{-\varphi(\bar{l})}$, $\varphi(\bar{l}) = 0,25 + \frac{0,535\bar{l}^9}{0,05 + \bar{l}^8}$, $d_r = \frac{4f_{\text{отв}}}{\Pi_0}$; $\bar{f} = \frac{F_0}{F_1} = \frac{\Sigma f_{\text{отв}}}{F_1}$; $\bar{l} = \frac{l}{d_r}$, $\lambda = 0,02$; $\zeta_1 = f(\bar{l}, \bar{f})$.

4. Решётка с закруглёнными кромками отверстий. Конструкция данного типа представлена на диаграмме 4.

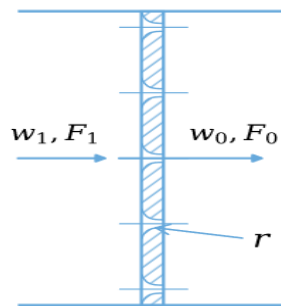


Диаграмма 4. Решётка с закруглёнными кромками отверстий.

$$Re = \frac{w_0 d_r}{\nu} > 3 \cdot 10^3$$

$$\zeta_1 = \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = \frac{[\sqrt{\zeta'}(1-\bar{f})^{0,75} + (1-\bar{f})]^2}{\bar{f}^2} \quad (4)$$

$$\zeta' = 0,03 + 0,47 \cdot 10^{-7,7\bar{r}}; \quad \bar{r} = \frac{r}{d_r}$$

$$d_r = \frac{4f_{\text{отв}}}{\Pi_0}; \quad \bar{f} = \frac{F_0}{F_1} = \frac{\Sigma f_{\text{отв}}}{F_1}$$

Здесь: $f_{\text{отв}}$ — площадь одного отверстия; F_0 — площадь живого сечения решётки; Π_0 — периметр отверстия.

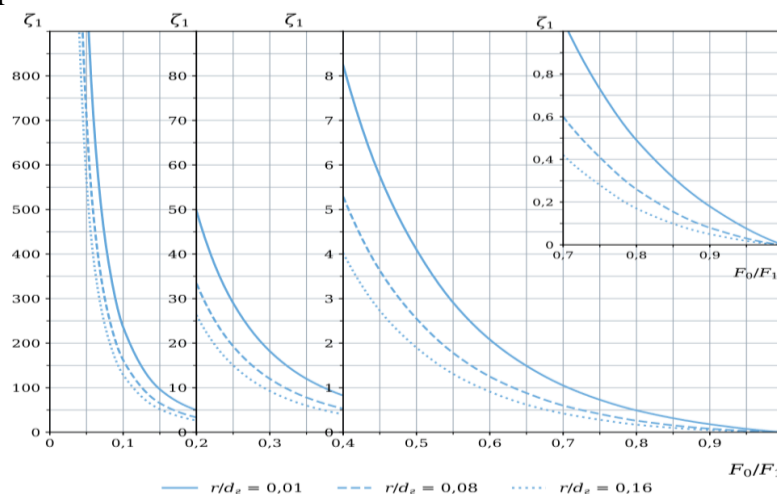


Рис. 5. График зависимости коэффициента сопротивления от относительного диаметра отверстия

5. Решётки с различной формой кромок отверстий. Для конструкций данного типа число Рейнольдса изменяется в следующем интервале.

$$Re = \frac{w_0 d_r}{\nu} \in [10^4 \div 10^5]$$

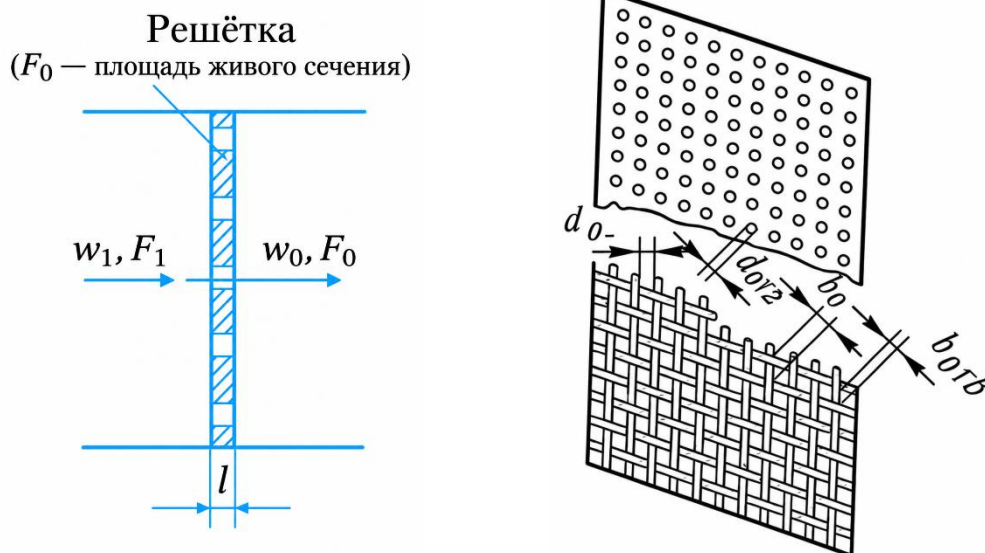


Рис. 6. Диаграмма решётчатой конструкции с различной формой кромок отверстий

Если число Рейнольдса изменяется в интервале $30 < Re < 10^4 \div 10^5$, то коэффициент сопротивления конструкции определяется по следующему выражению:

$$\zeta_1 \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_1^2 / 2} = \frac{\zeta_\varphi}{\bar{f}^2} + \bar{\varepsilon}_{0Re} \zeta_{1кв} \quad (5)$$

$$\text{Если } 10 < Re < 30, \text{ то } \zeta_1 = \frac{33}{Re \bar{f}^2} + \bar{\varepsilon}_{0Re} \zeta_{1кв}.$$

Если $Re > 10^4 \div 10^5$, то коэффициент сопротивления конструкции определяется по следующему выражению:

$$\zeta_\varphi = \left[18,78 - \frac{7,768}{\bar{f}} + \frac{6,337}{\bar{f}^2} \right] \exp \left\{ \left(-0,942 - 7,246 \bar{f} - 3,878 \bar{f}^2 \right) \lg Re \right\} \quad (6)$$

$$\text{Здесь: } \bar{f} = \frac{F_0}{F_1} = \frac{\Sigma f_{отв}}{F_1}.$$

Заключение

В научных исследованиях достаточно хорошо изучены методы расчёта коэффициентов гидравлического сопротивления в местных сопротивлениях и коэффициентов сопротивления конструкций, а также методы определения основных гидравлических параметров установившегося равномерного и неравномерного водного потока, движущегося через местные сопротивления. Однако при расчёте коэффициента сопротивления решётчатых и сетчатых конструкций в гидротехнических сооружениях вопросы определения динамического воздействия водного потока на конструкции, а также расчёта потенциально ускоренных режимов движения водного потока,

возникающих вследствие его стеснения при прохождении через несколько отверстий решётчатой конструкции, требуют проведения отдельных научных исследований.

Использованная литература:

1. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик; под ред. К.Т.М. Штейнберга. - М.: Машиностроение, 1992. - 672 с.
2. Кондратьев А. Г., Магомедов М.М. Исследование прочностных характеристик решетчатых сооружений. // Механизация работ природообустройства и защиты окружающей среды: Сб. науч. тр. / НГМА. - Новочеркасск, 1999. - С.38-40.
3. Кондратьев А.Г., Алексеева Л.А., Магомедов М.М. Экономические проблемы механизации сороочистительных работ на каналах. // Совершенствование рабочих органов машин, технологий и организации производства работ в АПК: Тез. докл. науч.-практ. семинара / НГМА. - Новочеркасск, 2000. - СЮ.
4. Михеев П.А. Оценка состояния сороудерживающего сооружения Донского магистрального канала с целью реконструкции / П.А. Михеев, А.И. Перелыгин // Гидротехническое строительство. — 2007. — № 9. — С. 41–44.
5. Вишневская С.К. Рыбозащитные устройства и сооружения: науч.-техн. обзор / С.К. Вишневская, Л.А. Шмарова. — М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2012. — 144 с.
6. Хецуриани Е.Д. Импульсное гидродинамическое рыбозащитное устройство машинных водозаборов с расходом до 0,5 м³/с: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07 / Хецуриани Елгуджа Демуевич. — Новочеркасск, 2006. — 23 с.