

Аспекты разработки конструктивно-технологических устройств для безопасной работы водозаборов мелиоративных систем

Елгуджа Демулович Хецуриани, Сергей Михайлович Васильев

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, г. Новочеркасск, Россия
e-mail: goodga@mail.ru

Аннотация. В статье сформулированы основные аспекты разработки защитных устройств в виде мягких наплавных конструкций в качестве водозаборных сооружений оросительных систем. На основе проведенных исследований конструирования водозаборных сооружений с системами водоочистки предложен специализированный алгоритм по созданию конструктивно-технологических разработок для мелиоративных водозаборов в составе водохозяйственного комплекса. Полученные результаты конструкторско-изобретательских задач для мягкой наплавной конструкции, используемой в качестве водозаборного сооружения, позволяют сделать отбор расчетных расходов оросительной воды (Q , м³/с) в требуемом количестве и качестве с обеспечением экологической безопасности мелиоративной системы. Для решения задач по обеспечению экологической безопасности мелиоративной системы весь комплекс входящих в состав ВТК конструктивных сооружений, защитных устройств и технологического оборудования был разделен на три взаимосвязанные между собой конструктивно-технологических блока – «Водный объект – Водозаборные сооружения – Мелиоративная система». В мягких наплавных биопозитивных конструкциях водозаборного сооружения предлагается использовать для очистки оросительной воды защитное средство в виде ершовой фильтрующей загрузки – экологически безопасное средство защиты мелиоративных систем от механических и биологических загрязнений. Показана экономико-математическая модель специализируемого типа природно-технической системы «Водный объект – Водозаборные сооружения – Мелиоративная система», которая представляет собой элемент мелиоративного водозабора со свойствами экологической безопасности, направленными на повышение плодородия почвы и экономический эффект всего аграрного комплекса.

Ключевые слова: мелиоративный водозабор; плодородие почвы; ершовая загрузка; оросительная вода; аграрный комплекс; конструктивно-технологические решения; экономико-математическая модель.

Для цитирования: Хецуриани Е. Д., Васильев С. М. Аспекты разработки конструктивно-технологических устройств для безопасной работы водозаборов мелиоративных систем // Аграрный научный журнал. 2022. № 5. С. 96–100. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp96-100>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

The main aspects of the development of structural and technological devices to ensure the safe operation of water intakes of reclamation systems

Yelguja D. Khetsuriani, Sergey M. Vasiliev

Russian Research Institute for Land Reclamation Problems, Novocherkassk, Russia
e-mail: goodga@mail.ru

Abstract. In the article, in order to solve various design problems of the hydraulic engineering and reclamation class, taking into account the conditions of functional operation of soft floating structures as water intake structures, the main aspects of the development of protective devices for irrigation water are formulated. As a result of the conducted research, based on the experience of designing water intake structures with water treatment systems, a specialized algorithm for solving problems of creating constructive and technological developments for reclamation water intakes in the water management complex was developed. The obtained results of the design and inventive tasks for a soft surfaced structure used as a water intake structure make it possible to select the estimated irrigation water costs (Q , м³/s) in the required quality and quantity and ensure the environmental safety of the reclamation system. In order to solve the tasks of ensuring the environmental safety of the reclamation system, the entire complex of structural structures, protective devices and technological equipment included in the water management complex was divided into three interconnected structural and technological schemes as part of a specialized type of natural-technical system “Water object – Water intake structures – Meliorative system”. Soft surfaced biopositive structures of a water intake structure as part of a reclamation system have been developed, in which the main protective agent is the first proposed by the author for the purification of irrigation water – a ruff filtrating load, which is an environmentally safe means of protecting the reclamation system from mechanical and biological contamination. An economic and mathematical model of a specialized type of natural-technical system “Water object – Water intake structures – Meliorative system” is presented, which represents the final stage of ensuring environmental safety of reclamation water intake, which is the main factor in increasing soil fertility and, accordingly, economic efficiency in the whole agricultural complex.

Keywords: reclamation water intake; soil fertility; soil loading; irrigation water; agricultural complex; structural and technological solutions; economics-mathematical model.

For citation: Khetsuriani Ye. D., Vasiliev S.M. The main aspects of the development of structural and technological devices to ensure the safe operation of water intakes of reclamation systems // Agrarny nauchny zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(5):96–100 (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp96-100>.

Введение. В условиях глобализации мировой экономики важнейшей задачей государства является сохранение паритета его продовольственной безопасности, причем большую роль играет функциональная работа мелиоративного водозабора – как основного звена между источником водоснабжения и мелиоративной системой. Аграрный комплекс России – это один из наиболее развивающихся секторов национальной экономики. На первом этапе требуется снижение показателя импортозамещения до 15–20 % вместо имеющихся в настоящее время в Российской Федерации 38 % и снижение зависимости промышленности и сельского хозяйства от иностранного оборудования и импорта сырья [3–7].



Методика исследований. Для решения различных конструкторских задач гидротехнического и мелиоративного класса, учитывая условия функциональной работы мягких наплавных конструкций (МНК) в качестве водозаборных сооружений в составе водохозяйственного комплекса мелиоративной системы, сформулированы основные аспекты разработки конструктивно-технологических устройств.

1. Прием разделения: разделить элементы конструкции на части.
2. Прием совмещения: совместить в одной конструкции разные принципы защитных мероприятий.
3. Принципы упрощения: сложные функциональные взаимосвязи между конструктивными элементами и водного объекта заменить на простые; ввести оптимальную координацию.
4. Приемы преобразования формы: оценить влияние формы конструкции на эффективность работы.
5. Прием нарушения симметрии: использовать запасы линейных размеров тканевых полотнищ на изменение формы при взаимодействии с водным потоком.
6. Прием «наоборот» с переориентацией: сделать движущиеся части в конструкции неподвижными, а неподвижные – движущимися.
7. Прием количественного изменения: изменить традиционные величины параметров конструкции или технологического процесса.
8. Прием изменения среды: окружающую водную среду дополнить другими факторами (пузырьками воздуха, химическими элементами, фильтрующими элементами и т. п.).

Результаты исследований. Полученные результаты конструкторско-изобретательских задач для мягкой наплавной конструкции, используемой в качестве водозаборного сооружения, позволяют сделать отбор расчетных расходов оросительной воды (Q , м³/с) в требуемом качестве и количестве и обеспечивают экологическую безопасность мелиоративной системы [1–7]. В настоящее время, учитывая санкции, предъявляемые к нашей стране, задача по совершенствованию имеющихся конструктивных решений и созданию новых с использованием современных отечественных материалов, к примеру, высокопрочных синтетических тканевых материалов, как никогда актуальна и требует дополнительных исследований, теоретических и конструкторских проработок.

При решении комплекса задач по обеспечению современных требований экологической безопасности на действующих и создаваемых водозаборах мелиоративных систем за методологическую основу был принят системный анализ процессов формирования, использования водных ресурсов и системный подход, как способ создания специализируемого типа природно-технической системы «Водный объект – Водозаборные сооружения – Мелиоративная система» (ПТС «ВО – ВС – МС»). Исходя из обобщенного понятия «Система» в создании научных основ методологии в мелиоративных системах, рассматривались основные базовые вопросы водисточника – река Дон: анализ функциональной работы действующих (порядка 44) водозаборных сооружений в нижнем течении данной реки; разработка научных основ по созданию специализируемого типа ПТС «ВО – ВС – МС» и расчетно-конструктивных методов экологически приемлемых конструктивных решений.

В методологии обеспечения экологической безопасности мелиоративных водозаборов одним из важных вопросов, требующих неотъемлемого решения, являются определение и оценка границ зон влияния водозаборов, которые осуществляются на основе анализа инженерно-экологических изысканий, системного экологического мониторинга и оценки функциональной работы действующих водохозяйственных систем.

В результате проведенных исследований на основе опыта конструирования водозаборных сооружений с системами водоочистки [7–14] разработан специализированный алгоритм решения задач по созданию конструктивно-технологических разработок (КТР) для мелиоративных водозаборов в составе водохозяйственного комплекса (ВТК) и представлен на рис. 1. Последовательное осуществление этапов алгоритма направлен на поиск конструктивных вариантов решений поставленных задач.

Анализом функциональной работы на действующих мелиоративных водозаборных сооружениях в пределах бассейновой геосистемы Нижнего Дона в Ростовской, Волгоградской областях, Ставропольском и Краснодарском краях и Республике Калмыкии было установлено, что наряду с проблемой по сохранению многообразия ихтиофауны, важными вопросами является защита мелиоративной системы от механических и биологических загрязнений, поступающих из водного объекта. Для решения задач по обеспечению экологической безопасности мелиоративной системы весь комплекс входящих в состав ВТК конструктивных сооружений, защитных устройств и технологического оборудования был разделен на три взаимосвязанные между собой конструктивно-технологические схемы в составе специализируемого типа ПТС «ВО – ВС – МС» (рис. 2).

Специализируемый тип ПТС «ВО – ВС – МС» представляет собой функциональную работу мелиоративного водозабора, включающий три взаимосвязанных между собой конструктивно-технологических решения (КТР) – КТР-1, КТР-2, КТР-3. Каждая конструктивно-технологическая разработка обеспечивает защиту объекта, где под объектом защиты выступает оросительная вода через водозаборное сооружение, обеспечивающая экологическую безопасность мелиоративной системы.

По результатам научного обоснования принято, что экологически устойчивое функционирование специализируемого типа ПТС «ВО – ВС – МС» в составе которой тесная взаимосвязь, взаимодействия и взаимоотношения между тремя конструктивно-технологическими разработками (КТР-1, КТР-2 и КТР-3), обеспечивает экологическую безопасность мелиоративных систем на уровне 90–95 % [7–14].

Формируемое экологическое состояние в зонах влияния водозаборов мелиоративных систем в составе специализируемого типа ПТС «ВО – ВС – МС» обуславливается комплексом защитных мероприятий. Эти мероприятия определяют направление развития достигнутых результатов по обеспечению экологической безопасности водозаборов мелиоративных систем.

Для разработки конструктивно-технологических устройств из современных отечественных материалов по обеспечению





Рис. 1. Блок-схема синтеза КИЗ по созданию МНК водозаборного сооружения в составе ВТК

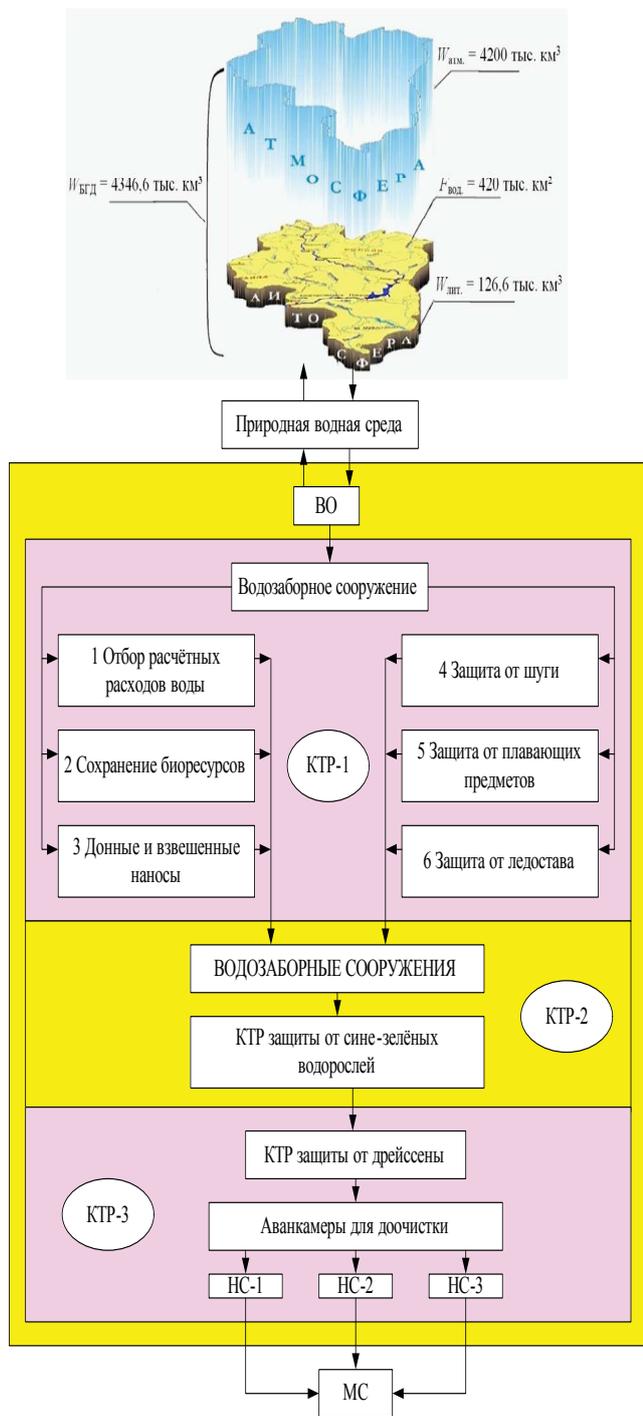


Рис. 2. Специализируемый тип ПТС «ВО – ВС – МС»

печению безопасной работы водозаборов мелиоративных систем за основу приняты МНК водозаборного сооружения, разработанные В. Л. Бондаренко и другими авторами (рис. 3).

На основе базовых МНК были разработаны мягкие наплавные биопозитивные конструкции водозаборного сооружения в составе мелиоративной системы, в которых основным защитным средством является предложенный автором в первые для очистки оросительной воды – ершовая фильтрующая загрузка, являющаяся экологически безопасным средством защиты мелиоративной системы от механических и биологических загрязнений (рис. 4, 5).

В зависимости от конструкции и материала ерша защитные функции конструкции биопозитивного устройства меняются. Мягкий шерстяной ерш выполняет функцию очистки оросительной воды от сине-зеленых водорослей. Жесткие ерши, изготовленные из леси, являются орудием отпугивания (раздражителем после контакта с рыбой) мальков рыб, т. е. рыбозащитным устройством. А если конструкцию ершового фильтра подключить к электроимпульсному устройству, предложенного автором, тогда мягкая наплавная биопозитивная конструкция становится еще и устройством электрокупирования дрейссены. В целом переоборудование водоприемника такой конструкцией обеспечивает экологическую безопасность мелиоративного водозабора путем предочистки оросительной воды от поверхностных и донных наносов, от сине-зеленых водорослей и дрейссены с целью сохранения рыбных запасов в источнике.

На рис. 6 представлена экономико-математическая модель специализируемого типа природно-технической системы «ВО – ВС – МС», которая представляет собой завершающий этап обеспечения экологической безопасности мелиоративного водозабора, являющимся основным фактором повышения плодородия почвы и соответственно экономической эффективности в целом аграрного комплекса.

Заключение. Сформулированы основные аспекты разработки конструктивно-технологических устройств.

В результате проведенных исследований разработан специализированный алгоритм решения задач по созданию конструктивно-технологических разработок для мелиоративных водозаборов в составе водохозяйственного комплекса.

Разработаны мягкие наплавные биопозитивные конструкции водозаборного сооружения в составе мелиоративной системы из высокопрочных отечественных материалов, в которых основным защитным средством является предложенный автором впервые для очистки оросительной воды – ершовая фильтрующая загрузка, являющаяся экологически безопасным средством защиты мелиоративной системы от механических и биологических загрязнений.

Представлена экономико-математическая модель специализируемого типа природно-технической системы «ВО – ВС – МС».

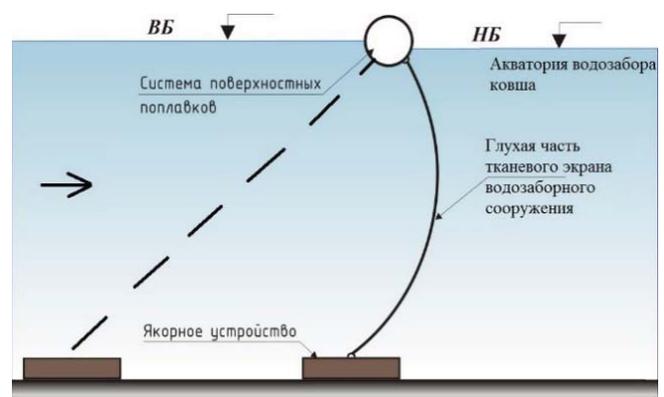
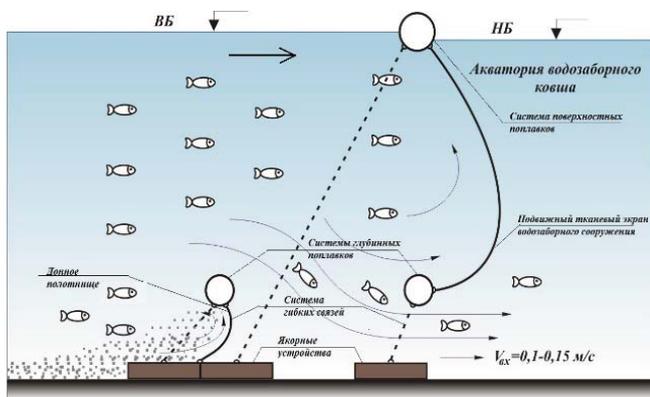


Рис. 3. Базовые мягкие наплавные конструкции водозаборного сооружения

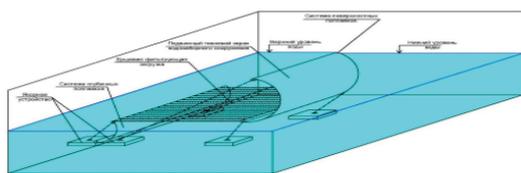


Рис. 4. Разработанные мягкие наплавные биопозитивные конструкции с горизонтальным приемом оросительной воды

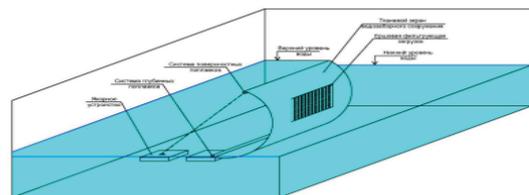


Рис. 5. Разработанные мягкие наплавные биопозитивные конструкции с вертикальным забором оросительной воды

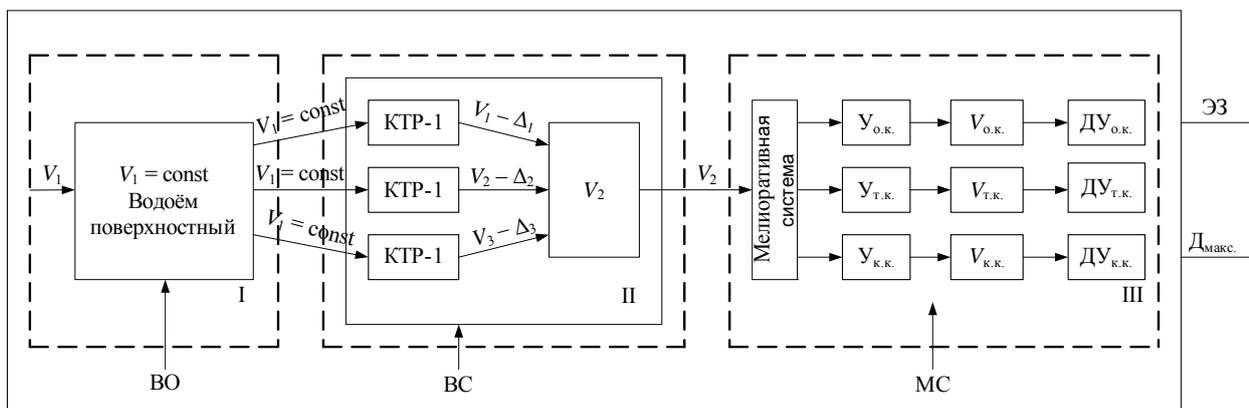


Рис. 6. Экономико-математическая модель специализируемого типа природно-технической системы «ВО – ВС – МС»: I – источник водоснабжения (водный объект); II – система предварительной подготовки оросительной воды (водозаборные сооружения); III – мелиоративная система; Δ_1 – механические загрязнения (мусор, шуга, лед, наносы и др.); Δ_2 – сине-зеленые водоросли; Δ_3 – дрейссена; V_1 – неочищенный объем водоприемника; V_2 – очищенная оросительная вода ($V_2 = V_1 - (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3)$); $У_{о.к.}$ – урожайность овощных культур; $У_{т.к.}$ – урожайность технических культур; $У_{к.к.}$ – урожайность кормовых культур; $V_{о.к.}$ – объем овощных культур; $V_{т.к.}$ – объем технических культур; $V_{к.к.}$ – объем кормовых культур; $DU_{о.к.}$ – доход от овощных культур; $DU_{т.к.}$ – доход от технических культур; $DU_{к.к.}$ – доход от кормовых культур; $D_{макс}$ – доход; ЭЗ – экономические затраты; ВО – водный объект; ВС – водозаборные сооружения; МС – мелиоративная система; КТП-1 – конструктивно-технологическая разработка

1. Природно-технические системы в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем / В. Л. Бондаренко [и др.]. Новочеркасск, 2016. 199 с.

2. Бондаренко В. Л., Бяласов А. И., Хецуриани Е. Д., Научно-методологические основы природно-технических систем в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем. Новочеркасск, 2019. 353 с.

3. Волосухин В. А., Бондаренко В. Л. Строительные системы охраны водных ресурсов с использованием конструкций из тканевых материалов. Новочеркасск, 2008. 164 с.

4. Основные принципы и методы эксплуатации магистральных каналов и сооружений на них / В. Н. Щедрин [и др.]; под общ. ред. В. Н. Щедрина. Новочеркасск, 2015. 361 с.

5. Анализ работы Александровского ковшового водозабора с учетом руслового режима и рыбоводно-биологических показателей реки Дон / Е. Д. Хецуриани [и др.] // Инженерный вестник Дона. 2015. № 4. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_18_Fesenko.pdf_e7bb2e55be.pdf (дата обращения: 02.03.2022).

6. Khetsuriani E. D., Kostyukov V. P., Ugrovatova E. G. Hydrological Studies on the River Don around the Alexandrovsky OSV Water-Intake Facilities // 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016).

7. Хецуриани Е. Д., Хецуриани Т. Е. Мероприятия по борьбе с эвтрофикацией водоемов // Приоритетные задачи и стратегии сельскохозяйственных наук: сб. науч. тр. по итогам Междунар. науч.-практ. конф. Тольятти, 2016. С. 11–13.

8. Khetsuriani E. D., Kostyukov V. P., Khetsuriani T. E. Analysis and Evaluation of Parameters Determining Maximum Efficiency of Fish Protection // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 262(1). 012175. DOI: 10.1088/1757-899X/262/1/012175.

9. Khetsuriani E. D., Bondarenko V. L., Polyansky N. A. Methodological bases of creation and development of a new type of natural



and technical systems of multipurpose water use in urban areas // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 272(2). 022225. DOI: 10.1088/1755-1315/272/2/022225.

10. Хецуриани Е. Д., Бондаренко В. Л., Хецуриани Т. Е. Оценка главенствующей роли системной целостности в обеспечении экологической безопасности в зонах влияния водозаборного технологического комплекса городского хозяйства // Известия вузов. Строительство. 2018. № 9. С. 83–90.

11. Khetsuriani E. D., Bondarenko V. L., Ilyasov A. I., Semenova E. A. The results of the research on the pipelines protection from Dreissena on the water intake technological complexes of multi-purpose water supply systems for urban farms // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698, iss. 5. 055041.

12. Lightweight constructions in technical water supply systems of thermal and nuclear power plants / V. L. Bondarenko, E. D. Khetsuriani, A. I. Ilyasov, E. A. Semenova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 698(5). International Scientific Conference “Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development”, Kislovodsk, Russian Federation. 2019. 055042. DOI: 10.1088/1757-899X/698/5/055042.

13. Хецуриани Е. Д., Бондаренко В. Л., Алиферов А. В. Методологические основы понятия времени в оценке экологического состояния в зонах влияния мелиоративных систем // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 1(73). С. 165–172.

14. Хецуриани Е. Д., Гарбуз А. Ю., Хецуриани Т. Е. Научные основы разработки гидротехнических устройств для обеспечения надежности и безопасной работы водозаборов // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11, № 4. С. 332–345. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1253> (дата обращения: 02.03.2022). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-332-345.

REFERENCES

1. Natural and technical systems in the use of water resources: territories of basin geosystems / V. L. Bondarenko [et al.]. Novocherkassk, 2016. 199 p. (In Russ.).

2. Bondarenko V. L., Ilyasov A. I., Khetsuriani E. D., Scientific and methodological foundations of natural and technical systems in the use of water resources: territories of basin geosystems. Novocherkassk, 2019. 353 p. (In Russ.).

3. Volosukhin V. A., Bondarenko V. L. Building systems for the protection of water resources using structures made of fabric materials. Novocherkassk, 2008. 164 p. (In Russ.).

4. Basic principles and methods of operation of main canals and structures on them / V. N. Shchedrin [et al.]. Novocherkassk, 2015. 361 p. (In Russ.).

5. Analysis of the operation of the Alexander bucket water intake, taking into account the channel regime and fish-breeding and biological indicators of the Don River / E. D. Khetsuriani [et al.]. *Engineering Bulletin of the Don*. 2015; 4. URL: <http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/>. (In Russ.).

IVD_18_Fesenko.pdf_e7bb2e55be.pdf (date of access: 03/02/2022).

6. Khetsuriani E. D., Kostyukov V. P., Ugrovatova E. G. Hydrological Studies on the River Don around the Alexandrovsky OSV Water-Intake Facilities. *2nd International Conference on Industrial Engineering*. 2016.

7. Khetsuriani E. D., Khetsuriani T. E. Measures to combat eutrophication of water bodies. *Priority tasks and strategies of agricultural sciences*. Tolyatti, 2016: 11–13. (In Russ.).

8. Khetsuriani E. D., Kostyukov V. P., Khetsuriani T. E. Analysis and Evaluation of Parameters Determining Maximum Efficiency of Fish Protection. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017; 262(1): 012175. DOI: 10.1088/1757-899X/262/1/012175.

9. Khetsuriani E. D., Bondarenko V. L., Polyansky N. A. Methodological bases of creation and development of a new type of natural and technical systems of multipurpose water use in urban areas. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2019; 272(2): 022225. DOI: 10.1088/1755-1315/272/2/022225.

10. Khetsuriani E. D., Bondarenko V. L., Khetsuriani T. E. Evaluation of the dominant role of systemic integrity in ensuring environmental safety in the zones of influence of the water intake technological complex of the urban economy. *News of universities. Construction*. 2018; 9: 83–90. (In Russ.).

11. Khetsuriani E. D., Bondarenko V. L., Ilyasov A. I., Semenova E. A. The results of the research on the pipelines protection from Dreissena on the water intake technological complexes of multi-purpose water supply systems for urban farms. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 698: 5.055041.

12. Lightweight constructions in technical water supply systems of thermal and nuclear power plants / V. L. Bondarenko, E. D. Khetsuriani, A. I. Ilyasov, E. A. Semenova. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Kislovodsk, 2019: 055042. DOI: 10.1088/1757-899X/698/5/055042.

13. Khetsuriani E. D., Bondarenko V. L., Aliferov A. V. Methodological foundations of the concept of time in assessing the ecological state in the zones of influence of reclamation systems. *Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture*. 2019; 1(73): 165–172. (In Russ.).

14. Khetsuriani E. D., Garbus A. Yu., Khetsuriani T. E. Scientific basis for the development of hydraulic devices to ensure the reliability and safe operation of water intakes. *Melioration and hydraulic engineering*. 2021; 11; 4: 332–345. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1253> (date of access: 03/02/2022). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-4-332-345. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 08.12.2021; одобрена после рецензирования 22.12.2021; принята к публикации 11.01.2022.

The article was submitted 08.12.2021; approved after reviewing 22.12.2021; accepted for publication 11.01.2022.

