

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Аналитическая статья

УДК 626/627

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ВОЗНИКНОВЕНИЯ, РАЗВИТИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

✉ Смолякова Анастасия Сергеевна.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ an.ser76@ya.ru

Аннотация. В настоящее время немаловажной как для общества, так и для экономики страны в целом остается проблема безопасности водных объектов, особенно плотин и иных гидротехнических сооружений. На сегодняшний день в Российской Федерации насчитывается более 29 тыс. гидротехнических сооружений. Разрушение таких объектов представляет как оборонную и экономическую значимость, так и угрозу для проживающих вблизи данных объектов. В зоне риска проживает около 100 млн чел. Исходя из этого, можно сделать вывод, что существует необходимость минимизации вероятности таких событий.

В последнее время интенсивно развивается использование новых инновационных методов мониторинга гидротехнических сооружений, в том числе математических методов. В данной работе проведен анализ подходов к моделированию процессов возникновения, развития и ликвидации чрезвычайных ситуаций на гидротехнических объектах. Проанализированы методы математического моделирования и прогнозирования обстановки при возникновении чрезвычайных ситуаций на гидротехнических объектах. Рассмотрена технология ситуационного моделирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Показаны особенности использования различных расчетных методов для оценки последствий и динамики опасных ситуаций на гидротехнических сооружениях.

Ключевые слова: анализ, гидротехническое сооружение, методы, подходы, моделирование, чрезвычайная ситуация, математическое моделирование, модель, управление

Для цитирования: Смолякова А.С. Анализ подходов к моделированию возникновения, развития и ликвидации чрезвычайных ситуаций на гидротехнических объектах // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2023. № 1 (45). С. 42–50.

Analytical article

ANALYSIS OF APPROACHES TO MODELING THE OCCURRENCE, DEVELOPMENT AND ELIMINATION OF EMERGENCY SITUATIONS AT HYDRAULIC ENGINEERING FACILITIES

✉ Smolyakova Anastasiya S.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ an.ser76@ya.ru

Abstract. Currently, an important problem, both for society and for the economy of the country as a whole, remains the problem of the safety of water bodies, especially dams and other hydraulic structures. To date, there are more than 29 thousand hydraulic structures in the Russian Federation. The destruction of such facilities is of both defense, economic and social significance for the country, as well as a potential danger to the health and life of the population, as well as the entire natural environment. About 100 million people live in the zone of possible impact of damaging factors. Based on this, we can conclude that there is a need to minimize the probability of such events.

Recently, the use of new innovative methods of monitoring hydraulic structures, including mathematical methods, has been intensively developing. In this paper, an analysis of approaches to modeling the occurrence, development and elimination of emergencies at hydraulic engineering facilities is carried out. Methods of mathematical modeling and forecasting of the situation in case of emergency situations at hydraulic engineering facilities are considered. The technology of situational modeling of natural and man-made emergencies is considered. The features of using various calculation methods to assess the consequences and dynamics of hazardous situations at hydraulic structures are shown.

Keywords: analysis, hydraulic engineering structure, methods, approaches, modeling, emergency situation, mathematical modeling, model

For citation: Smolyakova A.S. Analysis of approaches to modeling the occurrence, development and elimination of emergency situations at hydraulic engineering facilities // *Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty)* = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2023. № 1 (45). P. 42–50.

Введение

С началом в XX в. научно-технической революции, наряду с усовершенствованием технологий, производством новой техники, открытием новых методов производства, с повышением уровня жизни в целом, вырос и риск возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций (ЧС) на объектах гидроструктуры, которые относятся к потенциально опасным объектам.

Ежегодно из-за аварий на потенциально опасных объектах гибнут десятки тысяч людей. Для решения данной проблемы помимо оперативного реагирования на ЧС требуется также высокая подготовка специалистов, принимающих участие в локализации и ликвидации.

Гидротехнические сооружения (ГТС) – одни из опаснейших объектов, представляющих угрозы для населения. На сегодняшний день в Российской Федерации насчитывается более 29 тыс. ГТС. Известно что, срок эксплуатации 30 и более лет имеет решающее значение в вопросах безопасности. Согласно мировой статистике, именно при эксплуатации сооружений более 30–40 лет значительно возрастает вероятность аварий на ГТС. В последнее время все чаще возникают случаи незаконной застройки периодически затопляемых участков ГТС, что создает предпосылки для создания ЧС в этих зонах, особенно в период паводка или в случае гидродинамической аварии [1].

Свыше 90 млн жителей страны проживает в зонах возможного воздействия поражающих факторов при авариях на гидротехнических объектах.

Причинами аварий на ГТС могут быть абсолютно разные обстоятельства, такие как нарушение персоналом правил эксплуатации техники, нарушение правил техники безопасности, конструктивные дефекты, разрушение основания под воздействием сил природы [2].

Целью статьи является проведение обзора подходов к моделированию процессов возникновения, развития и ликвидации ЧС на гидротехнических объектах.

Методы исследования

Некоторые характеристики ЧС, такие как внезапность, скорость распространения, неполнота или полное отсутствие информации, затрудняют их прогнозирование стандартными эмпирическими методами [3].

Учеными из России, такими как: В.А. Акимов, Н.Н. Гусев, В.А. Акатьев, А.М. Алабян, Е.В. Арефьева, В.А. Зеленцов, И.У. Ямалов, по сей день активно изучаются исследования по оценке природного и техногенного риска объектов защиты, организации действий сил и средств (СиС) в условиях ЧС, математическому и имитационному моделированию [4–10]. Из зарубежных ученых в данной области исследования можно выделить работы G. Petaccia [11]. Данные труды содержат в себе подробное описание универсальных подходов к моделированию ЧС для объектов любого типа.

Главной задачей моделирования ЧС, в том числе и на ГТС, является установление зависимостей между масштабом ЧС и количеством жертв. Эти зависимости, исходя из сложившейся ситуации, могут быть заданы с помощью функций распределения вероятностей возникновения опасных событий или функций распределения вероятностей случайных величин поражающих факторов [12].

Исходя из имеющейся информации, на основе вероятностных методов может применяться одна из следующих методик исследования: статистическая, теоретико-вероятностная, эвристическая.

В связи с этим для анализа и прогнозирования ЧС все чаще применяется математическое моделирование, которое является во многих случаях единственно допустимым.

Существуют следующие подходы к прогнозированию ЧС [13, 14]:

- вероятностно-статистический;
- вероятностно-детерминированный.

Комплексное применение вероятностно-статистического и вероятностно-детерминированного подходов позволило разработать математические модели всех основных видов ЧС.

На рис. 1 представлена структура типовой математической модели ЧС и схема ее использования для прогнозирования последствий ЧС.

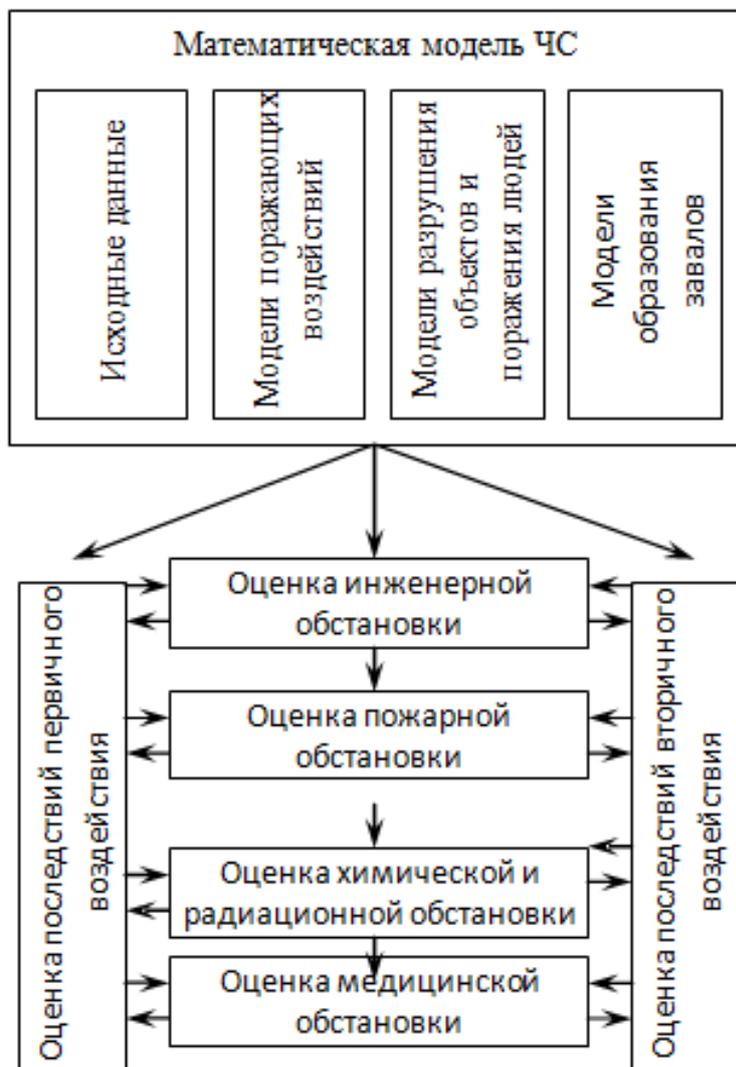


Рис. 1. Структура модели прогнозирования последствий ЧС

По сравнению с известными методами моделирования, с помощью математического моделирования удается получить более объективную и точную оценку рисков, что достаточно важно при проведении мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС [15].

Недостатком является длительное время, необходимое для выполнения вычислительных расчетов.

На сегодняшний день широкое применение в моделировании ЧС также получили нейросетевые технологии с использованием информации, получаемой при дистанционном зондировании поверхности Земли. Так появились геоинформационные системы (ГИС), которые предназначены для оценки риска возникновения ЧС различных видов, анализа их развития и прогнозирования последствий. Структура ГИС представлена на рис. 2.



Рис. 2. Основные компоненты ГИС

С помощью картографической и координатной привязки к объектам и возможности учёта рельефа местности ГИС становится более точной и эффективной в вопросах моделирования ЧС.

Также существует технология ситуационного моделирования ЧС. Данная технология объединяет расчетные методы оценки аварийных ситуаций, методы аналитической обработки и динамического картирования, управляемые экспертной системой [16].

При необходимости оперативного реагирования ситуационный метод применяется в виде сценарного подхода. Этот метод основывается на заблаговременном расчете последствий ЧС и плана ликвидации наиболее вероятных и опасных аварий относительно конкретного объекта.

Достоинство сценарного подхода выражается в высокой степени оперативности реагирования СИС на ЧС ввиду известного сценария действия относительно вида ЧС.

Недостатком является то, что сложившаяся ситуация может кардинально отличаться от предусмотренного сценария, ввиду чего управление осуществляется недостаточно эффективно.

Результаты исследования и их обсуждение

Изучив имеющуюся литературу по данной области исследования, ниже в таблице представлен обзор трудов с известными подходами к моделированию ЧС на гидротехнических объектах.

Таблица

Автор(ы) научный труд	Способ моделирования	Достоинства подхода	Трудности подхода
1	2	3	4
Едаменко А.С., Лежанко В.А. «Диагностика опасностей гидротехнических сооружений на примере белгородского водохранилища» [17]	В работе моделирование ЧС выполняется с помощью «Дерева отказов» Белгородского водохранилища. «Дерево отказов» является частью структурного подхода к моделированию и представляет собой многоуровневую графологическую структуру причинных взаимосвязей, состоящую из последовательностей отказов и неисправностей	– возможность выполнить качественный и количественный анализ надежности системы; – помогает дедуктивно выявлять отказы; – помогает наглядно выявить ненадежные места системы, способные вызвать ЧС	– требует значительных материальных затрат и времени; – требует от специалиста глубокого понимания системы
Белов П.Г., Киселева Ю.В. «Прогнозирование и снижение риска чрезвычайных ситуаций, вызванных разгерметизацией гидротехнических сооружений» [18]	Для исследования процесса возникновения ЧС на гидротехническом объекте автор использует причинно-следственные диаграммы типа «Дерево происшествия» и «Дерево событий», а также программный комплекс АРБИТР	– наглядность; – позволяет учесть большое количество факторов	– от специалиста требуется глубокое понимание системы
Белов П.Г. «Априорная оценка и снижение риска аварии гидротехнического сооружения на основе моделирования» [19]	Для наглядного представления возникновения ЧС на ГТС в работе рассматривается причинно-следственная диаграмма типа «Дерево происшествия». Данная модель позволяет учесть около 50 существенных факторов и негативных последствий, а ее анализ позволяет ранжировать их по степени влияния на показатели оцененного при этом риска. Модель имеет 22 исходных события, способных привести к аварии	– сравнительная простота построения; – легкость преобразования; – наглядность; – способность к декомпозиции	– от специалиста требуется глубокое понимание системы

1	2	3	4
Суворова Е.С. «Моделирование зон затоплений на примере гидротехнической аварии в г. Дубна» [20]	Прогнозирование ЧС производится с помощью имитационного моделирования, а именно с помощью программного обеспечения NEC-RAS. Данная программа специально предназначена для моделирования гидравлических потоков в реках и каналах. Используется для преодоления проблем неустойчивости на водной поверхности	– широко применяется для оценки наводнений, а также для анализа на объектах ГТС; – наглядность модели; – возможна имитация различных сценариев аварии	– отсутствие учета характера движения вод, то есть скорость воды – константа
Василенко А.А. «Гидродинамические аварии и их моделирование» [21]	В работе рассматривается широкий спектр видов моделирования, а именно математическое, физическое, имитационное, с помощью большого количества программных комплексов (SV_1, БОР, Волна). Описан физический смысл и способ реализации каждого моделирования	С учетом стоимости обслуживания, ряда ограничений, недостатков и значительной сложности для прогнозирования аварий на ГТС автор отдает свое предпочтение ППК «Волна»	
Стриганова М.Ю. «Методы оценки и прогнозирования последствий при разрушении гидротехнических сооружений» [22]	Для прогнозирования аварии на ГТС автор использует математическую модель	– возможность заменить физический эксперимент; – дешевизна	– сложный математический аппарат

Заключение

Таким образом, проанализировав информацию по теме исследования из открытых источников, можно сделать вывод, что при всей актуальности проблемы обеспечения безопасности гидротехнических объектов данная область остается недостаточно исследованной. Аварии на гидротехнических объектах способны приобретать достаточно опасный характер, делая непригодными для жизни целые населенные пункты, не говоря уже о многочисленных человеческих жертвах.

На сегодняшний день данная область исследования нуждается в более пристальном изучении и увеличении количества исследователей. С каждым годом все больше гидротехнических объектов приближаются к критическому сроку эксплуатации, тем самым повышая уровень опасности для жизни людей, проживающих в окрестностях данного объекта.

Список источников

1. Чугаев Р.Р. Гидротехнические сооружения. Водосливные плотины. М.: Высшая школа, 1978. С. 62–71.
2. Нестеров М.В. Гидротехнические сооружения. Мн.: Новое знание, 2006. С. 327–362.
3. Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций: учеб. пособие / под общ. ред. М.И. Фалеева. Калуга: ГУП «Облиздат», 2001. С. 52–98.
4. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. М.: ЗАО «Деловой экспресс», 2004. С. 14–38.
5. Гусев Н.Н. Методология создания и эксплуатации информационной системы мониторинга безопасности зданий и сооружений опасных производственных объектов и гидротехнических сооружений: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2008. С. 112–132.
6. Обеспечение мероприятий и действий сил ликвидации чрезвычайных ситуаций. Ч. 2. Кн. 2. Оперативное прогнозирование инженерной обстановки в чрезвычайных ситуациях / В.А. Акатьев [и др.] / под общ. ред. С.К. Шойгу. М.: ЗАО «Фирма «Папирус», 1998. С. 76–95.
7. Создание интеллектуальных информационных систем оперативного прогнозирования речных наводнений / А.М. Алабян [и др.] // Вестник Российской академии наук. 2016. Т. 86. № 2. С. 27–44.
8. Арефьева Е.В. Подтопление объектов и застроенных территорий как потенциальный источник чрезвычайных ситуаций // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 10. С. 14–33.
9. Модельно-ориентированная система оперативного прогнозирования речных наводнений / В.А. Зеленцов [и др.] // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 8. С. 831–843.
10. Ямалов И.У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций. М.: Лаборатория базовых знаний, 2013. С. 113–155.
11. An energy and mass model of snow cover suitable for operational and avalanche forecasting / G. Petaccia [et al.] // Journal of Hydroinformatics. 2013. № 15 (1). P. 120–137.
12. Шаптала В.Г., Радоцкий В.Ю., Шаптала В.В. Основы моделирования чрезвычайных ситуаций: учеб. пособие / под общ. ред. В.Г. Шапталы. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. С. 50–77.
13. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. М.: Физматлит, 2002. С. 122–160.
14. Матвеев А.В. Методы моделирования и прогнозирования. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 230 с. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.
15. Перевалов А.С. Математические модели управления поисково-спасательными подразделениями МЧС на внутренних водоемах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2013. С. 20–22.
16. Пospelов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. С. 144–121.
17. Едаменко А.С., Лежанко В.А. Диагностика опасностей гидротехнических сооружений на примере Белгородского водохранилища // Технологии техносферной безопасности. 2020. Вып. 2 (88). С. 63–73.
18. Белов П.Г., Киселева Ю.В. Прогнозирование и снижение риска чрезвычайных ситуаций, вызванных разгерметизацией гидротехнических сооружений // Глобальная и национальные стратегии управления рисками катастроф и стихийных бедствий. 2015. С. 47.
19. Белов П.Г. Априорная оценка и снижение риска аварии гидротехнического сооружения на основе моделирования // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 2. С. 26–34.
20. Суворова Е.С. Моделирование зон затоплений на примере гидротехнической аварии в г. Дубна // Большая студенческая конференция. 2022. С. 69–73.

21. Василенко А.А. Гидродинамические аварии и их моделирование // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2017. № 8. С. 119–125.
22. Стриганова М.Ю. Методы оценки и прогнозирование последствий при разрушении гидротехнических сооружений // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2012. № 1 (15). С. 10–21.

References

1. Chugaev R.R. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Vodostivnye plotiny*. M.: Vysshaya shkola, 1978. S. 62–71.
2. Nesterov M.V. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya*. Mn.: Novoe znanie, 2006. S. 327–362.
3. Zashchita naseleniya i territorij ot chrezvychajnyh situacij: ucheb. posobie / pod obshch. red. M.I. Faleeva. Kaluga: GUP «Oblizdat», 2001. S. 52–98.
4. Akimov V.A., Lesnyh V.V., Radaev N.N. *Osnovy analiza i upravleniya riskom v prirodnoj i tekhnogennoj sferah*. M.: ZAO «Delovoj ekspress», 2004. S. 14–38.
5. Gusev N.N. *Metodologiya sozdaniya i ekspluatacii informacionnoj sistemy monitoringa bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov i gidrotekhnicheskikh sooruzhenij: dis. ... d-ra tekhn. nauk*. SPb., 2008. S. 112–132.
6. *Obespechenie meropriyatij i dejstvij sil likvidacii chrezvychajnyh situacij*. Ch. 2. Kn. 2. *Operativnoe prognozirovaniye inzhenernoj obstanovki v chrezvychajnyh situacijah* / V.A. Akat'ev [i dr.] / pod obshch. red. S.K. Shojgu. M.: ZAO «Firma «Papyrus», 1998. S. 76–95.
7. *Sozdanie intellektual'nyh informacionnyh sistem operativnogo prognozirovaniya rechnyh navodnenij* / A.M. Alabyan [i dr.] // *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. 2016. T. 86. № 2. S. 27–44.
8. Aref'eva E.V. *Podtoplenie ob"ektov i zastroennyh territorij kak potencial'nyj istochnik chrezvychajnyh situacij* // *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2007. № 10. S. 14–33.
9. *Model'no-orientirovannaya sistema operativnogo prognozirovaniya rechnyh navodnenij* / V.A. Zelencov [i dr.] // *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. 2019. T. 89. № 8. S. 831–843.
10. Yamalov I.U. *Modelirovaniye processov upravleniya i prinyatiya reshenij v usloviyah chrezvychajnyh situacij*. M.: Laboratoriya bazovyh znaniy, 2013. S. 113–155.
11. *An energy and mass model of snow cover suitable for operational and avalanche forecasting* / G. Petaccia [et al.] // *Journal of Hydroinformatic*. 2013. № 15 (1). P. 120–137.
12. Shaptala V.G., Radouckij V.Yu., Shaptala V.V. *Osnovy modelirovaniya chrezvychajnyh situacij: ucheb. posobie / pod obshch. red. V.G. Shaptaly*. Belgorod: Izd-vo BGTU, 2010. S. 50–77.
13. Samarskij A.A., Mihajlov A.P. *Matematicheskoe modelirovaniye. Idei. Metody*. Primery. M.: Fizmatlit, 2002. S. 122–160.
14. Matveev A.V. *Metody modelirovaniya i prognozirovaniya*. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. 230 s. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.
15. Perevalov A.S. *Matematicheskie modeli upravleniya poiskovo-spasatel'nymi podrazdeleniyami MCHS na vnutrennih vodoemah: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk*. SPb., 2013. S. 20–22.
16. Pospelov D.A. *Situacionnoye upravleniye: teoriya i praktika*. M.: Nauka, 1986. S. 144–121.
17. Edamenko A.S., Lezhanko V.A. *Diagnostika opasnostej gidrotekhnicheskikh sooruzhenij na primere Belgorodskogo vodohranilishcha* // *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*. 2020. Vyp. 2 (88). S. 63–73.
18. Belov P.G., Kiseleva Yu.V. *Prognozirovaniye i snizheniye riska chrezvychajnyh situacij, vyzvannyh razgermetizaciej gidrotekhnicheskikh sooruzhenij* // *Global'naya i nacional'nye strategii upravleniya riskami katastrof i stihijnyh bedstvij*. 2015. S. 47.
19. Belov P.G. *Apriornaya ocenka i snizheniye riska avarii gidrotekhnicheskogo sooruzheniya na osnove modelirovaniya* // *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2019. № 2. S. 26–34.
20. Suvorova E.S. *Modelirovaniye zon zatoplenij na primere gidrotekhnicheskogo avarii v g. Dubna* // *Bol'shaya studencheskaya konferenciya*. 2022. S. 69–73.

21. Vasilenko A.A. Gidrodinamicheskie avarii i ih modelirovanie // Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy. 2017. № 8. S. 119–125.

22. Striganova M.Yu. Metody ocenki i prognozirovanie posledstvij pri razrushenii gidrotekhnicheskikh sooruzhenij // Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MCHS Respubliki Belarus'. 2012. № 1 (15). S. 10–21.

Информация о статье:

Поступила в редакцию: 20.12.2022

Принята к публикации: 10.01.2023

The information about article:

Article was received by the editorial office: 20.12.2022

Accepted for publication: 10.01.2023

Информация об авторах:

Смолякова Анастасия Сергеевна, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: an.ser76@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8950-682X>

Information about the authors:

Smolyakova Anastasia S., associate professor of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: an.ser76@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8950-682X>