



DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-3-317-324

УДК 626/627

## Гидрологическая безопасность и анализ риска аварий гидроузлов

М.А. Стрыгина<sup>1</sup>, И.И. Грицук<sup>2, 1, 3</sup>

<sup>1</sup> Институт водных проблем РАН

*Российская Федерация, 119333, Москва, ул. Губкина, 3*

<sup>2</sup> Российский университет дружбы народов (РУДН)

*Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6*

<sup>3</sup> Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

*Российская Федерация, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64*

Гидротехнические сооружения (ГТС) — инженерные сооружения, предназначенные для использования водных ресурсов и предотвращения негативного воздействия вод и загрязняющих веществ, эксплуатирующиеся десятки или сотни лет и являющиеся в целом надежными сооружениями. Под гидрологической безопасностью понимают устойчивость гидротехнического сооружения при его эксплуатации к экстремальным гидрологическим воздействиям природного и техногенного характера. Большинство гидротехнических сооружений построено по современным проектам в соответствии с действующими нормативными документами, однако вероятность аварий на гидросооружениях имеет тенденцию к росту, особенно после 30-летней эксплуатации. Наиболее тяжелые по последствиям чрезвычайные ситуации возникают при пропуске гидротехническими сооружениями (например, плотинами крупными водохранилищ) сверхрасчетных расходов, особенно если такой пропуск сопряжен с неумелыми действиями службы эксплуатации. Об этом свидетельствуют материалы Международной комиссии по большим плотинам, в соответствии с которыми ежегодно в мире на гидроузлах происходит около 3000 аварий разной степени. Большинство аварий, связанных с прорывом напорного фронта, можно было бы избежать при условии постоянного контроля технического состояния сооружения и наличия необходимой квалификации эксплуатирующего персонала.

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, гидрологическая безопасность, анализ риска аварий, волна прорыва

### Введение

Анализ причин аварий показывает, что собственники гидротехнических сооружений (ГТС) и эксплуатирующие организации не соблюдают законодательство Российской Федерации в области безопасности ГТС:

- не принимаются необходимые меры для обеспечения безопасной эксплуатации ГТС, в том числе по установлению их критериев безопасности;
- не обеспечивается контроль (мониторинг) за показателями состояния ГТС при возрастающих природных и техногенных воздействиях;
- не проводятся регулярные обследования состояния ГТС установленных на ГТС контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) и оборудования;

— не обеспечивается наличие в достаточном объеме необходимого количества резервов строительных материалов, средств, специальной техники для оперативной локализации повреждений и аварийных ситуаций на ГТС.

Важным фактором является также неправильный выбор расчетной модели, определяющей пропускную способность водосбросных сооружений. При эксплуатации гидротехнических сооружений необходимо сопоставлять их фактическое состояние и проектное, особое внимание уделяя характеристикам режима рек, особенно максимальному расходу. При показателях, существенно отличающихся от проектных, необходимо провести исследования с целью установления причин их появления, возможного влияния на сооружение и их предотвращения. Многих аварий удалось бы избежать при постоянных и качественно проведенных обследованиях. Прогнозирование и предотвращение возможных ЧС, а также локализация и ликвидация аварийных ситуаций является основой безопасной эксплуатации ГТС [1].

Правительство Российской Федерации разрабатывает и реализует государственную политику в области безопасной эксплуатации ГТС, это регламентируется Федеральным законом от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений», в котором определены требования к обеспечению безопасной эксплуатации сооружений, полномочия Правительства Российской Федерации и органов исполнительной власти субъектов федерации, права и обязанности собственников сооружений и эксплуатирующих организаций.

Основным документом, содержащим сведения о гидротехническом сооружении, соответствии его технического состояния критериям безопасности, является декларация безопасности [2].

При составлении деклараций особое внимание уделяется выявлению опасностей и определению сценариев возможных аварий, количественной оценке риска их возникновения и планированию мер по предупреждению и ликвидации аварийных ситуаций, а также по обеспечению технически исправного состояния ГТС.

### **Методика оценки гидрологической безопасности**

Оценка состояния гидротехнических сооружений проводится путем сопоставления фактических значений диагностических показателей с их критериальными значениями, что позволяет своевременно определить ухудшение технического состояния сооружения и предпринять меры к предотвращению аварий.

Причинами аварий, сопровождающихся прорывом напорного фронта гидротехнических сооружений и затоплением территорий, чаще всего бывают:

- суффозия в основании или теле плотины;
- недостаточная пропускная способность водосбросов;
- воздействие сверхрасчетных нагрузок природного характера;
- конструктивные дефекты;
- нарушение правил эксплуатации.

В трети случаев причиной аварии становится превышение сбросного расхода пропускной способности сооружения с переливом воды через гребень плотины [3].

Аварии на ГТС могут сопровождаться:

- выходом ГТС или объектов второстепенного назначения из строя, прекращением их функционирования;
- невозможностью дальнейшего использования различных объектов по назначению по причинам, связанным с неисправностью, разрушением либо повреждением гидросооружения;
- аварийным опорожнением водохранилища;
- возникновением условий для развития гидродинамической аварии (ГДА);
- возникновением условий для развития негативной экологической ситуации.

При авариях на ГТС основной ущерб наносится вследствие воздействия волны прорыва (ВП), образовавшейся в результате прорыва напорного фронта и резкого падения большого объема воды из верхнего бьефа.

Наибольшую опасность представляют разрушения плотин или дамб крупных водохранилищ, расположенных в черте населенных пунктов, при которых происходит быстрое затопление близлежащих территорий со значительными материальными и людскими потерями.

Поэтому важнейшее значение приобретают профилактические меры по предотвращению катастрофических событий. Как показывает практика, в подавляющем большинстве аварий, связанных с прорывом напорного фронта и обвально-оползновыми явлениями на водохранилищах, жертв можно было бы избежать при условии своевременного оповещения населения. При постоянных визуальных наблюдениях за гидротехническими сооружениями можно заметить первые признаки надвигающейся катастрофы, предусмотреть сценарии развития аварийной ситуации. Тем не менее соответствующие эксплуатационные службы и органы власти, как правило, бездействуют, в результате чего число жертв иногда достигает тысячи и более человек.

Одной из причин такого положения является проектная установка на «недопустимость», а значит, и «невозможность» аварий на современных ГТС. Принцип абсолютной безопасности или нулевого риска является доминирующим в гидротехнических нормах. Он сводится к тому, что если действовать в соответствии с установленными нормами проектирования и правилами эксплуатации, то можно гарантировать безопасность объекта. Поэтому во многих случаях обслуживающий персонал оказывается не готов к аварии, в том числе и психологически. В то же время опыт эксплуатации ГТС показывает, что полностью исключить аварии и нарушения на ГТС, в том числе и с катастрофическими последствиями, невозможно. Необходимо полностью менять подход к проблеме обеспечения безопасности таких сложных объектов, как ГТС, переходя к принципу управления рисками.

Допущение возможности ГДА может иметь большое значение для разработки особых мер по безопасности ГТС как с точки зрения минимизации вероятности ее возникновения, так и локализации и минимизации ее последствий.

Почти ежегодно на водосбросах гидроузлов осуществляются холостые сбросы. Зачастую они происходят, даже когда нет необходимости в дополнительном пропуске воды.

Последовательная схема регулирования водохранилища характеризуется заполнением полезного объема во время паводка с последующим пропуском остального объема воды через водосбросное сооружение без превышения максимально-го расхода, на который рассчитан нижний бьеф.

При параллельной схеме холостой сброс воды начинается заблаговременно, до заполнения полезного объема водохранилища. Особенно актуальна такая схема в случае прогнозируемого притока, превышающего расчетные показатели (например, разрушение вышележащего водохранилища). Заблаговременное начало холостого сброса является одним из основных факторов для обеспечения гидрологической безопасности гидроузла, которая невозможна, если не предусмотрены аккумуляция и сброс воды.

Основным последствием ГДА является катастрофическое затопление местности, характеризующееся следующими параметрами:

- максимальными высотой и скоростью волны прорыва;
- максимальной глубиной затопления участка местности.

Наводнения всегда были естественным сдерживающим фактором хозяйственного освоения пойменных территорий. Однако под воздействием социальных и экономических причин общество «разучилось» адекватно оценивать риски возникновения аварии. В нижнем бьефе гидротехнического сооружения и на территориях, попадающих в зону возможного затопления, не должно быть важных, недостаточно защищенных хозяйственных объектов и жилых построек, а также объектов, стесняющих поток воды.

В условиях повышения в России риска возникновения аварий и катастроф на крупных, экологически опасных сооружениях, снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайной ситуации становится одной из важнейших проблем.

До недавнего времени основное внимание уделялось ликвидации последствий ЧС, т.е. оперативному реагированию на аварии, что не только не уменьшает затраты на возмещение ущерба, но и не способствует снижению риска возникновения чрезвычайной ситуации [2].

Реализация научно обоснованной системы превентивных мер по предупреждению стихийных бедствий и техногенных катастроф является наиболее экономически и социально оправданной.

### **Анализ риска аварий ГТС**

При обосновании безопасности тех или иных производств используются различные направления, подходы и методы анализа риска. Несмотря на значительное разнообразие, их объединяет одна цель — выработка и принятие надежных и безопасных решений в условиях неопределенности и риска.

В общем случае процедура количественной оценки риска включает два этапа [4]:

- 1) оценка вероятностей реализации опасных событий с учетом меры негативных последствий для населения и окружающей среды;
- 2) оценка риска по последствиям возможных ущербов.

Первый этап анализа риска предусматривает:

— определение опасностей, установление источников опасностей, объектов их потенциального влияния, основных форм такого влияния и мер воздействия; по социальному фактору — установление уязвимых социальных групп (групп риска);

— определение факторов риска (техничко-экономических, экологических, социальных); установление стандартов по обеспечению безопасности персонала, социальных групп, экосистем и отдельных биологических видов, экономических и материальных ценностей;

— оценку вероятностей нарушения качественных и количественных критериев социальной, экологической и экономической безопасности применительно к каждому источнику и фактору риска.

Второй этап включает:

— анализ подверженности — вероятности влияния опасностей на окружающую среду и человека и анализ масштабов угроз по каждому фактору риска; определение вероятных удельных потерь и ущербов по факторам риска;

— оценку вероятных потерь и ущербов по учитываемым факторам риска;

— оценку компонент риска по учитываемым факторам и их обобщение (интегрирование, суммирование).

Основной целью оценки риска является управление им — разработка и обоснование решений, в том числе и в форме отраслевых и нормативных актов, направленных на уменьшение угроз, минимизацию и оптимизацию рисков. При этом выделяют:

— установление приоритетов среди источников и факторов риска, требующих первоочередного внимания со стороны субъектов управления;

— определение путей минимизации обобщенного риска при заданных ограничениях на ресурсы и время;

— оптимизацию решений, направленных на ограничение риска;

— управление остаточным риском, которое включает в себя следующие элементы: оценка приемлемого риска, информирование общественности, передача (перевод, перемещение) риска, контроль и финансирование риска.

Федеральным законом РФ от 27 июля 2010 г. № 225-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте» вводится обязательное страхование ответственности владельца ГТС за убытки, понесенные частными лицами и организациями в случае аварий. Страхование может выполнять и превентивную функцию, так как страховые компании законодательно имеют право часть страховых платежей направлять на разработку и внедрение предупредительных мероприятий по снижению риска, причем это реализуется как в интересах страхователя, так и страховщика. При страховании конкретных ГТС страховщик может произвести коррекцию тарифа как в сторону его увеличения, так и в сторону уменьшения в зависимости от технического состояния ГТС и класса опасности, что устанавливается на основе декларации безопасности.

Все эти мероприятия направлены на то, чтобы свести к минимуму допускаемые в проекте риски и сократить общую сумму издержек, которые они могут за собой

повлечь. Управление риском наиболее полезно на ранних стадиях проекта, еще до его реализации во время предварительного изучения, когда возможна определенная гибкость в принятии решений. В этом случае многие риски можно свести к минимуму или целиком избежать их.

Достоверность оценок риска со временем может показаться недостаточной, поэтому все используемые расчетные процедуры нуждаются в систематической корректировке как с точки зрения новых достижений науки и техники, накопленной информации об объекте, так и с учетом восприятия риска общественностью.

### **Заключение**

Гидротехнические сооружения, расположенные, как правило, в черте населенных пунктов, при разрушении могут привести к катастрофическому затоплению обширных территорий, огромным экономическим и социальным потерям, степень которых будет зависеть от надежности ГТС, а также от параметров волны прорыва.

Важное значение для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на ГТС имеет тесное взаимодействие собственника сооружения или эксплуатирующей организацией с органами исполнительной власти, в частности информирование последних об опасном состоянии гидроузла и угрозе возникновения ЧС, поддержание локальных систем оповещения в рабочем состоянии, разработка противоаварийных мероприятий, проведение учений персонала по действиям в чрезвычайных ситуациях и т.д.

Эффективная оценка состояния ГТС возможна только при проведении постоянных визуальных и инструментальных наблюдений, обеспечивающих получение достоверной информации о фактическом состоянии сооружения, необходимой для сопоставления с критериями безопасности и выявления возможных уязвимостей.

В связи с тем, что многие аварии связаны с человеческим фактором, необходимо проводить обучение сотрудников и осуществлять контроль за соблюдением ими своих должностных обязанностей.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- [1] *Ляпичев Ю.П.* Гидрологическая и техническая безопасность гидросооружений: учеб. пособие. М.: Изд-во РУДН, 2008. 222 с.
- [2] *Малик Л.К.* Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблемы безопасности. М.: Наука, 2005. 354 с.
- [3] *Ляпичев Ю.П., Пономарев Н.К.* Гидротехнические сооружения: учеб. пособие. М.: Изд-во РУДН, 2008. 456 с.
- [4] *Векслер А.Б., Ивашинов Д.А., Стефанишин Д.В.* Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. Санкт-Петербург: ОАО «ВНИИГ им Б.Е. Веденеева», 2002. 592 с.

© Стрыгина М.А., Грицук И.И., 2018

**История статьи:**

Дата поступления в редакцию: 01 апреля 2018

Дата принятия к печати: 10 июля 2018

**Для цитирования:**

*Стрыгина М.А., Грицук И.И.* Гидрологическая безопасность и анализ риска аварий гидротехнических сооружений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2018. Т. 19. № 3. С. 317—324. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-3-317-324

**Сведения об авторах:**

*Стрыгина Мария Александровна* — аспирант лаборатории динамики русловых потоков и ледотермики, Институт водных проблем Российской академии наук. *Область научных интересов:* гидравлика, инженерная гидрология, гидротехническое строительство. *Контактная информация:* e-mail: maria.strygina@gmail.com

*Грицук Илья Игоревич* — кандидат технических наук, доцент департамента строительства Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. Старший научный сотрудник лаборатории динамики русловых потоков и ледотермики, Институт водных проблем РАН. Доцент кафедры гидравлики, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет. *Область научных интересов:* гидравлика, инженерная гидрология, гидротехническое строительство. *Контактная информация:* e-mail: gritsuk\_ii@pfur.ru

## Hydrological safety and risk assessment of hydraulic structures

M.A. Strygina<sup>1</sup>, I.I. Gritsuk<sup>2, 3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Water Problems Russian Academy of Sciences (IWP RAS)  
3, Gubkina str., Moscow, 119333, Russian Federation

<sup>2</sup> Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)  
6, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117198, Russian Federation

<sup>3</sup> Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)  
64, Leningradsky prospect, Moscow, 125319, Russian Federation

**Abstract.** Hydraulic structures (HS) are engineering structures of major hazard, intended for use of water resources and prevention of negative impact of water and pollutants, operating tens or hundreds of years and have proven to be generally stable structures. Hydrological safety is understood as stability of hydraulic structures during its operation against extreme hydrological impacts of natural and man-induced nature. Most of the HS are built based on modern projects in accordance with current regulatory documents, but the probability of accidents in hydroelectric facilities tends to grow, especially after 30—40 years of operation. Most severe emergency situations (ES) occur when hydraulic structures, such as dams of large reservoirs, let over-estimated discharge through, especially if it is associated with inept exploitation. This is evidenced by the materials of the International Commission on Large Dams, according to which about 3000 accidents of different degrees occur in hydropower stations worldwide every year.

Most of the accidents associated with breaking waterfront of dam could be avoided by monitoring the technical condition of HS and ensuring necessary training of operating personnel.

**Key words:** hydraulic structures, hydrological safety, risk assessment, dam-breaking wave

## REFERENCES

- [1] Lyapichev Yu.P. *Gidrologicheskaya i tekhnicheskaya bezopasnost' gidrosooruzhenii: uchebnoe posobie* [Hydrological and technical safety of hydraulic structures: a textbook]. Moscow: PFUR Publ., 2008. 222 p. (in Russ.)
- [2] Malik L.K. *Faktory riska povrezhdeniya gidrotekhnicheskikh sooruzhenii. Problemy bezopasnosti* [Risk factors of damage in hydraulic structures. Security issues]. Moscow: Nauka Publ., 2005. 354 p. (in Russ.)
- [3] Lyapichev Yu.P., Ponomarev N.K. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya: uchebnoe posobie* [Hydraulic structures: a textbook]. Moscow: PFUR Publ., 2008. 456 p. (in Russ.)
- [4] Veksler A.B., Ivashintsov D.A., Stefanishin D.V. *Nadezhnost', sotsial'naya i ekologicheskaya bezopasnost' gidrotekhnicheskikh ob"ektov: otsenka riska i prinyatie reshenii* [Reliability, social and ecological safety of hydraulic facilities: risk assessment and decision-making]. Sankt-Peterburg: OJSC «VNIIG im B.Ye. Vedeneeva». 2002. 592 p. (in Russ.)

### Article history:

Received: April 01, 2018

Accepted: July 10, 2018

### For citation:

Strygina M.A., Gritsuk I.I. (2018). Hydrological safety and risk assessment of hydraulic structures. *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(3), 317–324. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-3-317-324

### Bio Note:

*Maria A. Strygina* — Postgraduate student of the laboratory «Channel flow dynamics and ice thermal conditions», Institute of Water Problems Russian Academy of Sciences (IWP RAS). *Research interests:* hydraulics, engineering hydrology, hydrotechnical construction. *Contact information:* e-mail: maria.strygina@gmail.com

*Ilya I. Gritsuk* — Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the Department of Construction, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). Senior researcher of the laboratory “Channel flow dynamics and ice thermal conditions”, Institute of Water Problems Russian Academy of Sciences (IWP RAS). Associate professor of the Department of Hydraulics, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI). *Research interests:* hydraulics, engineering hydrology, hydrotechnical construction. *Contact information:* e-mail: gritsuk\_ii@pfur.ru