

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ермаков Сергей Владимирович – старший преподаватель. «Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота» Федерального бюджетного государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Калининградский государственный технический университет»
esv.klgd@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ermakov Sergey Vladimirovich – Senior Lecturer. «Baltic fishing fleet state academy» of the federal state budgetary educational institution of higher professional education «Kaliningrad state technical university» (BFFSA)
esv.klgd@mail.ru

УДК 626.45

Т. Ю. Нычик

**УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ АВАРИЙ И ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ
В СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗАХ**

Процесс управления риском охватывает различные аспекты работы: от идентификации и анализа до оценки его допустимости и определения потенциальных возможностей снижения посредством выбора, реализации и контроля соответствующих управляющих действий. В данной статье рассмотрены вопросы управления риском аварий и транспортных происшествий в судоходных шлюзах, при этом в качестве основных критериев оптимизации рассматриваются вероятность возникновения аварии и ущерб, вызванный ее реализацией. Для решения поставленной задачи был использован метод целевой функции. В результате определено, что приоритетной остается задача выделения достаточных средств для снижения вероятности возникновения аварии перед материальными затратами на устранение последствий ущерба. Предложены мероприятия, направленные на повышение безопасности судопропуска, что позволит добиться эффективного снижения риска аварий.

Ключевые слова: судоходный шлюз, риск аварии, управление риском аварии.

С ТОЧКИ зрения обеспечения безопасности плавания судов, зоны судоходных гидротехнических сооружений являются одними из наиболее сложных участков водных путей. Опыт эксплуатации судоходных шлюзов показывает, что именно ворота в головах шлюза имеют наибольшую вероятность разрушения с последующим прорывом напорного фронта гидроузла (крупнейшие аварии на Пермском шлюзе 4 ноября 1994 г., на Константиновском шлюзе 1 ноября 2004 г. и др.). Таким образом, задача обеспечения безопасности плавания судов и составов в районе судопропускных гидротехнических сооружений приобретает в настоящее время весьма актуальное значение.

Согласно ст. 8 № 117-ФЗ от 23.07.1997 г. (с изм.) «О безопасности гидротехнических сооружений» [1], обеспечение безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) осуществляется при помощи поддержания допустимого уровня риска аварий ГТС, что предполагает его периодическую оценку и анализ. В мультипликативном подходе риск R определяется как произведение вероятности Q реализации аварии и вероятного относительного ущерба M [2]:

$$R = Q \cdot M, \quad (1)$$

где R — количественная мера (степень) риска;

Q — вероятность возникновения аварии в шлюзе (определяется на основе анализа условий эксплуатации объекта или технической системы и обработки статистических данных об авариях [3]);

M — вероятный относительный ущерб от аварии.

Из формулы (1) следует, что риск аварии как критерий, характеризующий условия шлюзования, может быть оценен через вероятность возникновения аварийной ситуации или через относительный ущерб, вызванный их следствием.

Задача эффективного управления риском аварийной ситуации в судоходных шлюзах через ущерб может быть решена несколькими альтернативными способами. Рассмотрим некоторые из них:

- определение оптимального количества судопропусков при равных условиях шлюзования; при этом показатель риска оценивается через возможные потери средств, затраченных на шлюзование с учетом возможного ущерба в случае аварии или транспортного происшествия;
- определение оптимального размера судна, инициирующего аварию или транспортное происшествие с наименьшей вероятностью;
- определение минимально возможного числа шлюзований с максимальной загрузкой камеры шлюза.

Согласно данным источников [5] – [7], метод целевой функции является одним из наиболее корректных методов определения показателя риска при решении задач управления и позволяет достаточно точно учесть особенности ранее изложенных способов оптимизации.

В статической постановке целевая функция риска $L(r)$ рекомендована в работе [5] в следующем виде:

$$L(c) = \frac{c_0(1-W(c_k))}{S} + \frac{[(kM_v + gN_v) - m(c_1)] \cdot W(c_k)}{kM_{\max} + gN_{\max}}, \quad (2)$$

где c_0 — затраты на создание технической системы (объекта);

$W(c_k)$ — вероятность возникновения аварии или транспортного происшествия, значения которых определяются средствами c_k , затрачиваемыми на предотвращение их возникновения;

M_v — прогнозируемый ущерб материальным ценностям и окружающей природной среде;

N_v — прогнозируемые людские потери в размерности выбранных финансовых средств;

c_1 — затраты на обеспечение безопасности системы (снижение ожидаемого ущерба);

c_k — средства, выделяемые на предотвращение аварий и транспортных происшествий;

k, g — коэффициенты приведения стоимостных показателей ущерба и потери населения к единой мере;

$m(c_1)$ — функция предотвращенного ущерба, значение которой определяется выделяемыми средствами c_1 :

$$m(c_1) = km_v(c_m) + gn_v(c_n) \infty, \quad (3)$$

где $m_v(c_m)$ — предотвращенный материальный ущерб;

$n_v(c_n)$ — предотвращенный ущерб вследствие людских потерь;

$$c_1 = c_m + c_n; \quad (4)$$

S — потенциальная платежная способность собственника ГТС или лица, ответственного за принятие решения,

$$S \geq c_0 + c_m + c_n + c_k. \quad (5)$$

Вероятность негативного воздействия на среду обитания $W(c_k)$ может быть представлена в виде зависимости от надежности исследуемой технической системы:

$$W(c_k) = W(c_x) \cdot [1 - P(c_y)], \quad (6)$$

где $W(c_x)$ — вероятность развития аварии (отказа, поломки) технической системы или технологического процесса в чрезвычайную ситуацию, значение которой зависит от объема средств c_x , выделенных на локализацию аварии;

$P(c_y)$ — надежность (вероятность безотказной работы) технической системы или технологического процесса, значение которой зависит от средств c_y , выделенных на повышение надежности.

Допустим, что зависимость величины ущерба при аварии или транспортном происшествии в шлюзе, при шлюзовании n судов имеет квадратичную форму. Тогда целевую функцию риска можно представить в следующем виде:

$$L(r) = \frac{\left[1 - (1 - W_1)^{N/n} \cdot (nc + n^2 S) + c_c \frac{N}{n} \right]}{N(c + NS + c_c)}, \quad (7)$$

где $\frac{N}{n}$ — число шлюзований;

$c_c \frac{N}{n}$ — прямые затраты на шлюзование n судов.

Числитель целевой функции (7) характеризует вероятные потери средств, определяемые числом судов n определенного типа, а знаменатель — величину потенциально возможных затрат.

В формализованном виде задача состоит в выборе такого целочисленного n из числа возможных N , при котором значение функции риска (7) будет минимальным. Ограничения, накладываемые на аргументы целевой функции, очевидны.

Рассмотрим конкретный пример. Допустим, что в навигацию по шлюзованному водному пути необходимо пропустить N тыс. судов. Будем полагать, что речь идет о шлюзовании различных типов судов: судов грузоподъемностью 5 тыс. тонн, сухогрузных судов, нефтеналивных судов, составов судов, пассажирских судов. На шлюзование каждого судна затрачивается сумма c . В результате аварии или транспортного происшествия судно наносит конструкции судопропускного сооружения некоторый ущерб, который оценивается величиной S . Затраты на шлюзование одного судна составляют c_c и не зависят от числа шлюзующихся судов. Авария или транспортное происшествие в шлюзе, инициируемые судном, согласно [3], происходят со средней вероятностью Q .

Значение критерия риска (для рассматриваемого случая) будет соответствовать доле ожидаемых потерь от их максимально возможной величины. Следовательно, постановка задачи поиска минимума $L(r)$ адекватна минимизации доли возможных потерь в случае аварии в шлюзе или ее отсутствия. Принимая выражение средств в условных финансовых единицах: $c = 20$, $c_c = 15$, $S = 5000$, $N = 10\,000$, $Q = 0,00015$, получим следующие значения критерия риска в зависимости от количества судов при одном шлюзовании, приведенные в таблице и на рисунке.

**Расчетные значения критерия риска, затрат на шлюзование
и ожидаемых затрат на ликвидацию последствий аварий**

Число одновременно шлюзуемых судов n	Число шлюзований N/n	Вероятность аварийной ситуации при шлюзовании Q	Показатель риска $L(r)$	Прямые затраты на пропуск одного судна	Затраты на ликвидацию последствий аварии
1	10000	0,00010	0,0000030	150000	5000000
2	5000	0,00040	0,0000015	150000	2500000
3-optimum	3333	0,00090	0,0000011	150000	1666667
4	2500	0,00160	0,0000009	150000	1250000
5	2000	0,00250	0,0000009	150000	1000000

Анализ целевой функции $L(r)$, при решении поставленной задачи позволяет сделать следующие выводы:

– при стремлении вероятности возникновения аварии к нулю величина функции риска стремится к затратам на создание и поддержание технической системы;

– при стремлении вероятности возникновения аварии к единице значение показателя риска определяется вторым слагаемым, т. е. относительным ущербом.

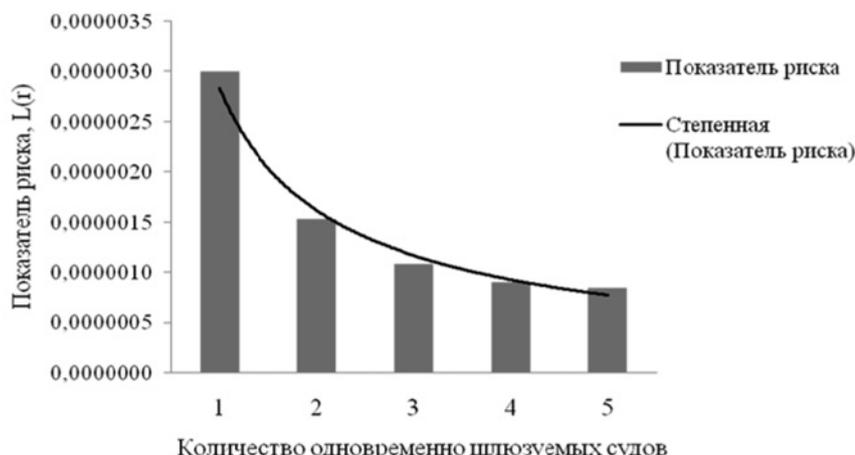


Диаграмма изменения показателя риска от числа одновременно шлюзуемых судов

Анализ целевой функции показал, что при одновременном шлюзовании нескольких судов будет обеспечиваться минимизация риска аварий и транспортных происшествий в судоходных шлюзах, а следовательно, снизится и количество средств, выделяемых на ликвидацию последствий аварийных ситуаций. Вместе с тем минимизации риска аварий в судоходных шлюзах может способствовать проведение следующих мероприятий общего и специального назначения, направленных на повышение безопасности судопропуска.

1. Общие мероприятия, направленные на повышение надежности конструкций судоходных шлюзов:

- проведение постоянного мониторинга оценки технического состояния элементов судопропускных сооружений гидроузлов [8];
- разработка организационно-технических решений, направленных на повышение надежности работы электрооборудования и систем автоматического управления процессами шлюзования [9];
- разработка методов оперативного манипулирования режимами открытия затворов с учетом допускаемых усилий и типоразмеров шлюзуемых судов [10], [11];
- привлечение инвестиций в сферу водного транспорта для возможности реализации мероприятий по повышению безопасности эксплуатации судопропускных гидротехнических сооружений [8].

2. Специальные мероприятия, направленные на повышение безопасности судопропуска:

- разработка технических решений, обеспечивающих защиту конструкций ворот шлюзов, повреждение которых связано с навалами судов [12];
- создание различных систем регулирования движения судов, исключающих навалы судов на конструкции сооружения [13];
- обеспечение флота России квалифицированными кадрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ФЗ от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» (с изм.). — <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=183024> (Дата обращения 25.09.2015 г.).
2. СТП ВНИИГ 210.02.НТ-04. Методические указания по проведению анализа риска аварий гидротехнических сооружений. — СПб., 2005. — 87 с.
3. Нычик Т. Ю. Анализ аварийных ситуаций при шлюзовании судов / Т. Ю. Нычик // Журнал университета водных коммуникаций. — 2011. — № 4. — С. 105–112.

4. Нычик Т. Ю. Навалы судов на ворота шлюзов / Т. Ю. Нычик // Труды II межвузовской науч.-практ. конф. студентов и аспирантов. — СПб.: СПбГУВК, 2010. — С. 25–32.
5. Спицын Ю. Г. Оценка риска в социально-экономической и техногенной сферах / Ю. Г. Спицын, В. В. Яковлев. — СПб.: Нестор, 2000. — 60 с.
6. Яковлев В. В. Экологическая безопасность, оценка риска: монография / В. В. Яковлев. — СПб.: СПбГПУ, 2007. — 399 с.
7. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. — СПб., 2002.
8. Злобин И. Н. Целевые индикаторы и ресурсное обеспечение мероприятий по повышению безопасности судоходных гидротехнических сооружений в рамках ФЦП «Развитие транспортной системы Российской Федерации (2010 – 2015 гг.) / И. Н. Злобин, Т. А. Пантина, Н. Ф. Цанева // Безопасность речных судоходных сооружений: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию гидротехн. лаб. им. проф. В. Е. Тимонова. — СПб.: СПбГУВК, 2005. — С. 70–80.
9. Муравьев В. Обеспечение безопасного функционирования судоходных гидротехнических сооружений / В. Муравьев // Речной транспорт (XXI век). — 2005. — № 1. — С. 61–63.
10. Рахматулин Н. М. Натурные, теоретические и лабораторные исследования волнового движения воды в судоходных сооружениях: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: указать номер спец. / Н. М. Рахматулин. — Новосибирск, 1974. — 41 с.
11. Расчеты рациональных графиков подъема затворов для шлюзов ББК: отчет о НИР: 75-952 / Ленингр. ин-т водного транспорта; рук. В. А. Раев; исполн.: В. А. Раев [и др.]. — Л., 1975. — 45 с. — № ГР 75043333.
12. Колосов М. А. Локализация аварийных ситуаций и ликвидация последствий аварий на судоходных гидротехнических сооружениях: выписка из науч.-техн. отчета / М. А. Колосов. — СПб.: СПбГУВК, 2003. — 45 с.
13. Колосов М. А. Информационно-предупредительная система защиты ворот от навала судов / М. А. Колосов, В. Несветаев // Доклады и сообщения на науч.-практ. конф. «Обеспечение безопасности и надежности судоходных гидротехнических сооружений». — Ростов н/Д, 2008. — С. 119–122.

RISK MANAGEMENT OF ACCIDENTS AND TRAFFIC EVENTS IN NAVIGATION LOCK

The process of risk management covers various aspects of the work from identification and analysis to assess of its admissibility and determination of the potential of reduction using selection, implementation and monitoring of appropriate control actions. This article describes how to manage the risk of accidents and accidents in the navigation locks. At the same time the probability of an accident and damage caused by its implementation are considered as the main criteria of optimization. To solve this problem we used the method of objective function. As a result, it is determined that the task of allocating of sufficient resources to reduce the probability of an accident before the material costs for eliminating of the consequences of the damage remains foreground. The actions directed on increase of safety of locking that will allow to achieve effective decrease in risk of accidents are offered

Keywords: navigation lock, accident risk, risk management.

REFERENCES

1. Russian Federation. Federal law № 117. 23 July 1997. “O bezopasnosti gidrotehnicheskikh sooruzhenij” (with changes) — <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req = doc;base = LAW;n=183024> (date of the application 25.09.2015 г.).
2. Russian Federation. Standard of enterprise “VNIIG” № 210.02.NT-04. Metodicheskie ukazaniya po provedeniju analiza riska avarij gidrotehnicheskikh sooruzhenij. SPb., 2005.
3. Nychik, T. Ju. “Analysis of accidents when locking.” *Zhurnal universiteta vodnyh kommunikacij* 4 (2011):105–112.
4. Nychik, T. Ju. “Navaly sudov na vorota shljuzov.” *Trudy II mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov i aspirantov*. SPb.: FGOU VPO SPGUVK, 2010: 25–32.
5. Spicyn, Ju. G., and V. V. Jakovlev. *Ocenka riska v socialno-jekonomicheskoy i tehnogennoj sferah*. SPb.: Nestor, 2000.

6. Jakovlev, V. V. *Jekologicheskaja bezopasnost, ocenka riska: monografija*. SPb.: SPbGPU, 2007.
7. Russian Federation. Regulatory Document RD 03-418-01. Metodicheskie ukazaniya po provedeniju analiza riska opasnyh proizvodstvennyh obektov. SPb., 2002.
8. Zlobin, I.N., T. A. Pantina, and N. F. Caneva. "Celevye indikatory i resursnoe obespechenie meroprijatij po povysheniju bezopasnosti sudohodnyh gidrotehnicheskikh sooruzhenij v ramkah FCP «Razvitie transportnoj sistemy Rossijskoj Federacii (2010- 2015 gg.).» *Bezopasnost rechnyh sudohodnyh sooruzhenij: materialy mezhdunarodnoj nauchno- prakticheskoy konferencii, posvjashhennoj 100-letiju gidrotehnicheskoy laboratorii im. professora V.E. Timonova*. SPb.: SPGUVK, 2005: 70–80.
9. Muravev, V. "Obespechenie bezopasnogo funkcionirovanija sudohodnyh gidrotehnicheskikh sooruzhenij." *River transport (XXIst century) 1* (2005): 61–63.
10. Rahmatulin, N. M. *Naturnye, teoreticheskie i laboratornye issledovanija volnovogo dvizhenija vody v sudohodnyh sooruzhenijah: avtoreferat na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehniceskikh nauk*. Novosibirsk, 1974.
11. Raev, V. A., M. I. Erpichev, A. M. Kovalenko, V. V. Balanin, and P. B. Gorodenskij. *Raschety racional'nyh grafikov podema zatvorov dlja shljuzov BBK: pod. ruk. Raeva V.A. Otchet po nauchno – issledovatel'skoj teme №75 – 952*. L.: LIVT, 1975.
12. Kolosov, M. A. *Lokalizacija avarijnyj situacij i likvidacija posledstvij avarij na sudohodnyh gidrotehnicheskikh sooruzhenijah: vypiska iz nauchno–tehniceskogo otcheta*. SPb.: SPGUVK, 2003.
13. Kolosov, M. A., and V. Nesvetaev. "Informacionno-predupreditelnaja sistema zashhity vorot ot navala sudov." *Doklady i soobshhenija na nauchno-prakticheskoy konferencii «Obespechenie bezopasnosti i nadezhnosti sudohodnyh gidrotehnicheskikh sooruzhenij»*. Rostov-na-Donu, 2008: 119–122.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Нычик Татьяна Юрьевна – аспирант.
ФГБОУ ВО «Государственный университет
морского и речного флота
имени адмирала С.О. Макарова»
Научный руководитель:
Колосов Михаил Александрович, доктор
технических наук, профессор
tatyana-nychik@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Nychik Tatiana Yurevna —
postgraduate student.
The Admiral Makarov state university
of maritime and inland shipping
Supervisor:
Kolosov Mikhail Aleksandrovich —
Doctor of Engineering, professor
tatyana-nychik@mail.ru