

Научная статья
УДК 355.58
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.44.95.015

О подходе к минимизации материального риска при чрезвычайных ситуациях (паводках), вызванных заторными явлениями

Евгений Вячеславович Иванов
Павел Николаевич Ткаченко
Юлия Анатольевна Ткаченко
Владимир Алексеевич Нестеров

Академия гражданской защиты МЧС России, Химки, Россия

Автор ответственный за переписку: Павел Николаевич Ткаченко, p.n.tkachenko@amchs.ru

Аннотация. Статья посвящена описанию подхода минимизации материального риска паводков, возникающих вследствие заторных явлений. Формулируется математическая и вербальная постановка задачи. В качестве направления ее решения выступает поиск таких перечня и объемов инженерно-технических мероприятий, приводящих к минимуму функцию материального риска от наводнений, вызванных заторными явлениями. Делается вывод о принципиальной возможности разделения всех инженерно-технических мероприятий на две большие группы, в соответствии с особенностями задачи исследования. Формируется система ресурсных и временных ограничений и демонстрируется подход к решению оптимизационной задачи.

Ключевые слова: паводки, материальный риск, оптимизационная задача, ущерб, вероятность, инженерно-технические мероприятия

Для цитирования: Иванов Е.В., Ткаченко П.Н., Ткаченко Ю.А., Нестеров В.А. О подходе к минимизации материального риска при чрезвычайных ситуациях (паводках), вызванных заторными явлениями // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 4 (27). С. 92-97. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2022.44.95.015>.

ON THE APPROACH TO MINIMIZING MATERIAL RISK IN EMERGENCY SITUATIONS (FLOODS) CAUSED BY CONGESTION

Evgeniy V. Ivanov¹
Pavel N. Tkachenko¹
Yuliya A. Tkachenko¹
Vladimir A. Nesterov¹

¹*Civil Defense Academy EMERCOM of Russia, Khimki, Russia*

Corresponding author: Pavel N. Tkachenko, p.n.tkachenko@amchs.ru

Abstract. The article is devoted to the description of the approach to minimizing the material risk of floods resulting from congestion. The mathematical and verbal formulation of the problem is formulated. The direction of its solution is the search for such a list and volumes of engineering and technical measures that minimize the function of material risk from floods caused by congestion. It is concluded that it is possible in principle to divide all engineering and technical measures into two large

groups, in accordance with the specifics of the research task. A system of resource and time constraints is formed and an approach to solving the optimization problem is demonstrated.

Key words: floods, material risk, optimization task, damage, probability, engineering and technical measures

For citation: Ivanov E.V., Tkachenko P.N., Tkachenko Yu.A., Nesterov V.A. On the approach to minimizing material risk in emergency situations (floods) caused by congestion // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2022;4(27):92-97.(In Russ.).<https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2022.44.95.015>

Введение

Около 70% природных стихийных бедствий в мире связаны с гидрометеорологическими явлениями и процессами. По числу жертв и причиняемым ущербам наводнения исторически занимают одно из первых мест в ряду стихийных бедствий и катастроф [1].

В России, ввиду большой площади территории паводкоопасный период начинается с ранней весны (фактически март месяц для южных рек) и заканчивается поздней осенью, фактически с началом ледостава [2]. При этом наибольшую опасность (в зависимости от типов формирования паводков) представляют паводки, формируемые за счет совместного таяния снега и дождевого стока (весеннее половодье) [3].

В работе [4] авторами проведен подробный анализ факторов, оказывающих влияние на паводковую обстановку и делается вывод о том, что дополнительным фактором, влияющим на ее сложность, являются заторные явления.

Текст статьи

В общем виде зависимость между вероятностью возникновения заторных явлений и величиной ущерба от вызванных ими паводков может быть выражена через величину риска (материального [5]):

$$R = \sum_{\Delta=1}^{\delta} P_{\Delta} U_{\Delta} \quad (1)$$

где R – средний показатель риска для Δ -го варианта исходных данных паводковой обстановки;

U – величина ущерба от воздействия поражающих факторов паводка;

P – величина вероятности возникновения заторных явлений.

Величину материального риска от затоплений, вызванных заторными явлениями в период весеннего половодья, можно снизить за счет обоснования рациональных перечня и объемов инженерно-технических мероприятий по снижению вероятности возникновения заторных явлений и минимизации ущерба от последствий воздействия поражающих факторов паводков, в условиях ограничений на финансовые и материальные ресурсы.

Материалы и методы

Для решения задачи по обоснованию рациональных объемов инженерно-технических мероприятий по снижению материального риска от наводнений в результате заторных явлений необходимо определить значимость (вклад) каждого мероприятия в снижение вероятности возникновения заторных явлений и ущерба от последствий воздействия поражающих факторов паводков.

При этом, за счет того, что минимизировать материальный риск предлагается за счет снижения значений величин вероятности и ущерба, то инженерно-технические мероприятия, также условно делим на две основные группы [6]:

1. Группа предупредительных инженерно-технических мероприятий, направленных на снижение вероятности (P) возникновения заторных явлений (M_n).
2. Группа оперативно проводимых инженерно-технических мероприятий, направленных на уменьшение материального ущерба (U) за счет минимизации зон затопления (M_o).

В общем случае вероятность возникновения заторных явлений может быть описана следующей функцией:

$$P = f(\psi), \quad (2)$$

где P – величина вероятности возникновения заторных явлений;

ψ – значения параметров, влияющих на вероятность возникновения заторных явлений.

При этом необходимо понимать, какой ущерб может быть нанесен наводнением. Для чего определяется территория возможного затопления, разрабатывается сценарий вероятного события, оценивается максимально возможная глубина затопления, определяются объекты, попадающие в зону затопления, производится расчет ущерба, который будет заключаться в полном или частичном разрушении существующих материальных средств. Величина ущерба, в общем случае, будет зависеть от величины воздействующих поражающих факторов паводка (3).

$$U = f(D), \quad (3)$$

где U – величина ущерба от воздействия поражающих факторов паводка;

D – значения параметров поражающих факторов паводка.

Тогда решение задачи выбора рациональных объемов инженерно-технических мероприятий по снижению материального риска наводнений возникающих в результате заторных явлений может быть представлено в виде функции:

$$R = \sum_{\Delta=1}^{\delta} P_{\Delta} U_{\Delta} \rightarrow \min, \quad (4)$$

Учитывая, что достижение минимума функции материального риска достигается за счет реализации двух групп мероприятий, то представленное выше выражение можно раскрыть следующим образом:

$$\{P(M_n)\}|\{\Delta\} \rightarrow \min, \quad (5)$$

$$\{U(M_o)\}|\{\Delta\} \rightarrow \min. \quad (6)$$

Для корректного решение представленной оптимизационной задачи необходимо определить аналитический вид функций вида (5) и (6), а также системы ограничений. От их вида будет зависеть способ решения оптимизационной задачи.

Результаты

Сформулированная таким образом задача минимизации материального риска может быть решена с применением метода регрессионного анализа.

При этом необходимо установить два вида зависимостей:

1. Между объемами мероприятий M_n и вероятностью возникновения заторных явлений. В основе зависимости лежит предположение о том, что за счет выполнения превентивных инженерно-технических мероприятий может быть оказано влияние на морфологические, гидрологические и антропогенные факторы, которые в свою очередь определяют значение величины вероятности возникновения заторных явлений P .

$$P = a_1 M_{n1} + a_2 M_{n2} + \dots + a_i M_{ni} + b. \quad (7)$$

где i – общее число предупредительных инженерно-технических мероприятий, направленных на снижение вероятности возникновения заторных явлений;

a и b – параметры регрессионной зависимости.

2. Между объемами мероприятий M_o и величиной поражающего фактора (для рассматриваемого случая будем принимать площадь затопления). В работе [7] аналогичным образом осуществлено построение аналитической зависимости последствий чрезвычайной ситуации от объемов реализуемых инженерно-технических мероприятий.

$$U = c_1 M_{o1} + c_2 M_{o2} + \dots + c_j M_{oj} + d. \quad (8)$$

где j – общее число оперативно проводимых инженерно-технических мероприятий, направленных на уменьшение зон затопления;

c и d – параметры регрессионной зависимости.

Сбор соответствующих данных, касающихся зависимости ущерба от объемов мероприятий, может быть осуществлен на основе обработки статистических данных многолетних наблюдений.

Необходимо учесть, что реализуемые инженерно-технические мероприятия сопряжены с затратами, прежде всего финансовых ресурсов (C), которые можно представить в следующем виде:

$$C(P) = C [\{M_n\}_i R_1], i = \overline{1, I}, \quad (9)$$

$$C(U) = C [\{M_o\}_j R_2], j = \overline{1, J}. \quad (10)$$

Тогда задача выбора мероприятий по снижению риска наводнений, вызванных заторными явлениями примет вид: необходимо выбрать такие наборы $\{M_n\}^*$, $\{M_o\}^*$, при которых:

$$R = \sum_{\Delta=1}^{\delta} (P_{\Delta} [\{M_n\}^* R_1]; U_{\Delta} [\{M_o\}^* R_2]) | \Delta \rightarrow \min, \quad (11)$$

при условии:

$$C = C [\{M_n\}_i R_1] + C [\{M_o\}_j R_2] \leq C_{\text{дон}}. \quad (12)$$

где $C_{\text{дон}}$ – максимальные размеры финансовых ресурсов, выделяемые для реализации инженерно-технических мероприятий.

Аналогично в ограничениях необходимо учитывать временные ограничения на выполнение инженерно-технических мероприятий.

Для предупредительных инженерно-технических мероприятий (M_n):

$$T(P) = T_n [\{M_n\}_i R_1], i = \overline{1, I}, \quad (13)$$

$$T(U) = T_o [\{M_o\}_j R_2], j = \overline{1, J}. \quad (14)$$

В качестве допущения принимаем, что одновременно представленные группы инженерно-технических мероприятий не выполняются, тогда ограничения по времени их реализации будут иметь вид:

$$T_n \leq T_{n \text{ дон}}, \quad (15)$$

$$T_o \leq T_{o \text{ дон}}. \quad (16)$$

В ходе решения задачи необходимо определить такие перечень и объемы инженерно-технических мероприятий по снижению ущерба от наводнений в результате заторных явлений, при которых величина риска при известных исходных данных паводковой обстановки минимальной.

В качестве ограничений будут выступать максимальные значения ресурсов на реализацию инженерно-технических мероприятий и время для их проведения.

Заключение

Таким образом, в статье, на основе проведенного анализа обоснована необходимость разработки научно-методического аппарата минимизации материального ущерба за счет реализации рациональных перечня и объемов инженерно-технических мероприятий по снижению вероятности возникновения заторных явлений и минимизации ущерба от последствий воздействия поражающих факторов паводков, в условиях ограничений на финансовые и материальные ресурсы. Впервые представлена в формализованном виде научная задача минимизации материального ущерба от паводков, вызванных заторными явлениями, учитывающая как вероятность возникновения заторов, так и ущерб от поражающих факторов паводка, за счет реализации комплекса инженерно-технических мероприятий. Сформулирована система ограничений, решаемой оптимизационной задачи.

Список источников

1. Наводнения: от защиты к управлению. Научные редакторы: член-корреспондент РАН В.Н. Лыкосов и профессор В.А. Земцов / П.Ю. Пушистов – «Издательские решения», 2016. – 310 с.
2. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Катастрофические наводнения начала 21 века: уроки и выводы. / Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. - М.: Изд - во «Декс-пресс», 2003. – 231-242 с.
3. Разумов В.В., Качанов С.А., Разумова Н.В. и др. Масштабы и опасность наводнений в регионах России / под редакцией В.В. Разумова // М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС. 2018. – 363 с.
4. Ткаченко Ю.А., Ткаченко П.Н., Тедуриева А.Н., Иванов Е.В. Анализ научно-методических подходов к прогнозированию заторных явлений в Томской области // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2022. – № 2(53). – С. 29-37.
5. Сборник методических документов, применяемых для независимой оценки рисков в области пожарной безопасности, гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Под общ. Ред. Махутова Н.А. Союз организаций, осуществляющих экспертную деятельность в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, промышленной, пожарной и экологической безопасности. Ч. I. Москва, 2008. – 704 с.
6. Вакорин М.В., Письменский Н.В., Ткаченко П.Н. Постановка научной задачи обоснования рационального комплекса мероприятий для снижения ущерба от наводнений на реках со снежным типом формирования речного стока // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2019. – № 4(43). – С. 63-71.
7. Рыбаков А.В., Галандаров В.Р., Лебедев А.Ю., Сибгатуллина Д.Ш. Модель оценки последствий наводнений от объема инженерно-технических мероприятий, направленных на предупреждение чрезвычайных ситуаций // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2019 - №4 (43) – С.93-99.

List of sources

1. Floods: from protection to management. Scientific editors: Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences V.N. Lykosov and Professor V.A. Zemtsov / P.Yu. Pushistov – «Publishing Solutions», 2016. - 310 p.
2. Vorobyev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. Catastrophic floods of the beginning of the 21st century: lessons and conclusions. / Vorobyev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. - M.: Publishing house «Dex-press», 2003. – 231-242 p.
3. Razumov V.V., Kachanov S.A., Razumova N.V. et al. The scale and danger of floods in the regions of Russia / edited by V.V. Razumov // Moscow: FSBI VNII GOChS. 2018. – 363 p.
4. Tkachenko Yu.A., Tkachenko P.N., Tedurieva A.N., Ivanov E.V. Analysis of scientific and methodological approaches to forecasting congestion phenomena in the Tomsk region // Scientific and educational problems of civil protection. – 2022. – № 2(53). – Pp. 29-37.
5. Collection of methodological documents used for independent risk assessment in the field of fire safety, civil defense and protection of the population and territories from emergency situations. Under the general Ed. Makhutova N.A. Union of organizations carrying out expert activities in the field of protection of the population and territories from emergency situations, industrial, fire and environmental safety. Ch. I. Moscow, 2008. – 704 p.
6. Vakorin M.V., Pishinsky N.V., Tkachenko P.N. Formulation of the scientific task of substantiating a rational set of measures to reduce flood damage on rivers with a snowy type of river flow formation // Scientific and educational problems of civil protection. –2019. –№ 4(43). – Pp. 63-71.
7. Rybakov A.V., Galandarov V.R., Lebedev A.Yu., Sibgatullina D.Sh. Model for assessing the consequences of floods from the volume of engineering and technical measures aimed at preventing emergencies // Scientific and educational problems of civil protection. 2019 - No. 4 (43) – Pp.93-99.

Информация об авторах

Е.В. Иванов - кандидат технических наук

П.Н. Ткаченко - кандидат технических наук, доцент

Information about the author

E.V. Ivanov - Ph.D. of Engineering Sciences

P.N. Tkachenko - Ph.D. of Engineering Sciences, Docent

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакция 28.11.2022; одобрена после рецензирования 19.12.2022; принята к публикации 21.12.2022.

The article was submitted 28.11.2022, approved after reviewing 19.12.2022, accepted for publication 21.12.2022.