

Разрушение мостов как следствие паводкового бедствия

Г.Г. Гулуев, А.В. Макаров, А.В. Журавлев

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: В статье рассматривается проблема функционального состояния мостового парка в России. Приведена статистика количества мостов, вновь построенных мостов. Акцентируется внимание на несоответствии старых мостов современной нормативным требованиям по безопасности, грузоподъемности, пропускной способности. Отмечено об актуальности паводкового воздействия на мосты и дороги. Приведены примеры аварий мостовых сооружений от воздействия водного потока: осадка, крен опор и устоев, размыв насыпи подхода. Рассматривается воздействие нормативного водного потока, а также предлагается анализировать воздействие сверхнормативного потока, возникающего от максимального уровня разлива. Представлены результаты расчетов, по которым выполнены сравнения различных подходов на определение глубины размыва русла.

Ключевые слова: мостовые сооружения, паводковое воздействие, безопасность, разрушение мостов, нормативные документы, глубина размыва, водный поток.

Экономическое развитие такой большой страны как Россия напрямую зависит от состояния транспорта и дорожной инфраструктуры. Ключевыми пунктами дорожной сети и по стоимости, и по времени строительства являются мосты. По данным статистики в 2014 году в России насчитывается около 42000 мостов, но за 14 лет, в период с 2000 по 2014 года, было построено около 200 сооружений [1]. Большая часть эксплуатируемых мостов построены не менее чем 40 лет назад. Эксплуатируемый парк мостов физически морально устаревает. Это выражается в постепенном изнашивании несущих конструкций, опор, проезжей части, а также пропускная способность, несоответствие новым требованиям безопасности и грузоподъемности пролетного строения [2]. С такими малыми объемами возведения новых сооружений стоит обеспечивать надлежащий надзор за состоянием давно построенных мостов, а также восстановление эксплуатационных качеств [3,4]. Нередки моменты, когда они приходят в аварийное состояние и разрушаются. Подобные ситуации возникают из-за большого срока их эксплуатации, а также недостаточной грузоподъемности, которая не соответствует на данный момент существующим нагрузкам на эти

сооружения [5]. Нормативные документы, регламентирующие грузоподъемность и безопасность сооружений устаревают, поэтому требуют периодической актуализации или пересмотра в той или иной направленности. Нагрузки допустимые современными нормами проектирования для старых нереконструированных мостов являются уже сверхнормативными. Такие сооружения подвергаются сверхнормативным нагрузкам, ввиду несоответствия установленной грузоподъемности, что приводит к локальным разрушениям элементов мостов или к их полному обрушению. Поэтому немаловажно в современном мостостроении конструировать эффективные и экономически рациональные сечения мостовых сооружений, например, такие как арочные мосты [6]. Однако существует еще одна угроза для мостовых сооружений, актуальность которой с каждым годом набирает все большую силу – это паводок.

Ситуации с паводковыми явлениями в России не нова. Большое количество городов и сельскохозяйственных производств находятся в близости расположения рек или в географически низменных участках [7]. Регионы подверженные этому воздействию часто несут убытки не только в экономическом плане, но и в инфраструктурном. Своевременное и точное прогнозирование паводка позволяет городам подготовиться к удару стихии. Однако это не всегда помогает исключить фактор аварийных ситуаций ввиду неполноценности полученных данных или ошибки при их трактовках [8]. Финансирование противопаводковых мероприятий чаще всего получают только центральные районы крупных городов, в то время как остальные территории брошены на растерзание стихии. Это бедствие не обходит стороной и дорожную сеть, и мостовые сооружения.

Паводковое воздействие, вызванное обилием осадков, способно в кратковременный период привести мосты в аварийное состояние. Связано это с поднятием уровня воды в реке и сопровождается многократным увеличением расходов водотока и повышением скорости течения в

стесненном потоке. Результатом такого изменения гидрологических характеристик реки является возникновение воронок размыва у опор, с последующей возможной ее осадкой или размыв насыпей подходов к сооружению. Ежегодно жертвами такого явления становятся десятки мостов по всей стране. В связи с тем, что устойчивость мостового сооружения зависит от надежности грунтового основания [9], именно этому необходимо уделять должное внимание. Грунтовое ложе рек, как правило, сложено аллювиальными породами, качество которых влияет на состояние подземных сооружений [10] и фундаментов мостов.

Примером обрушением моста, в связи с осадкой опоры, может послужить ситуация, возникшая в июле 2018 года в городе Чите. После продолжительных дождей был зарегистрирован рост уровня воды в реке. Водный поток большой скорости размыл основание у второй русловой опоры, что привело к ее крену (рис. 1,а) и обрушению пролета Каштакского моста (рис. 1,б).



Рис. 1. – Разрушение Каштакского моста: а - крен опоры, б – обрушение пролета.

Всего в результате мощного паводка на реке Чита были разрушены или повреждены 25 мостов, в том числе 14 – на региональных и 11 – на дорогах местного значения. Эти разрушения произошли не при пике паводка. Подъем уровня воды в тот момент едва преодолел отметку в 300 см, а позже он достигал и 400 см. Однако наводнения в городе регистрировались и ранее.

Одно из самых мощных наводнений зафиксировано в 1897 году и уровень воды в реке достигал 576 см. Паводки отмечались в 1948, 1969, 1971, 1974, 1980, 1984, 1988 годах (рис. 2).

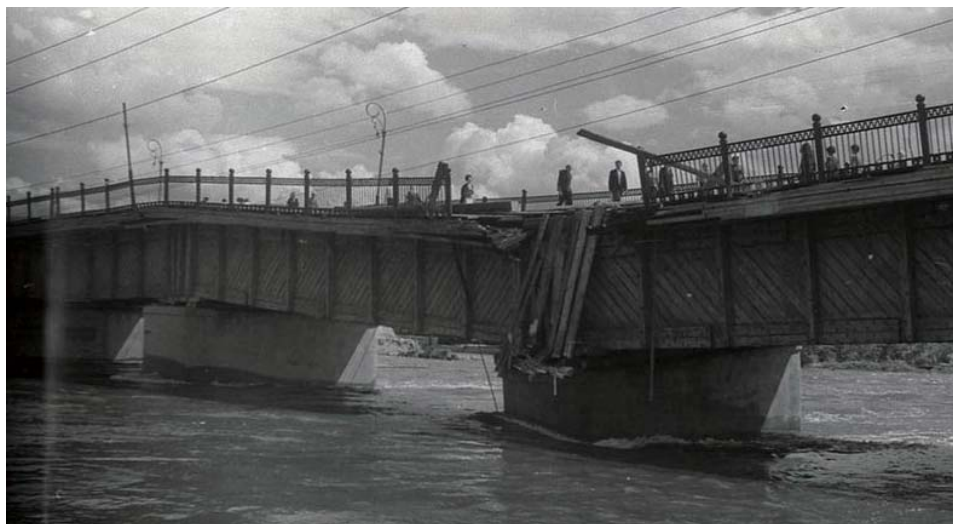


Рис. 2. – Мост в г. Чите после наводнения в 1971 году.

Из наиболее недавних наводнений отмечается паводок в июле 1990 года, в котором уровень воды в реке доходил до отметки в 555 см. А через год в июле 1991 года паводок повторился с максимальным уровнем 379 см.

Паводковое воздействие способно влиять не только на опоры мостов, но и на их насыпи подходов. Если отверстие моста неспособно пропустить многократно увеличенный объем водотока, тогда этот поток способен размывать грунтовую насыпь подхода к мосту. Например, в Оймяконском районе Якутии на реке Эльге уровень воды в реке достиг критического уровня, из-за чего был размыв подход к мосту, отрезав пути сообщений для крупных населенных пунктов (рис. 3). Эта ситуация возникла из-за явных ошибок проектирования. Картина разрушения ясно показывает, что это сооружение нуждается в дополнительном пролете, который увеличит отверстие моста.



Рис. 3. – Размытие насыпи подхода к мосту в Якутии

Для предотвращения подобных аварийных ситуаций, на стадии проектирования сооружения, рассчитывается глубина заложения фундамента опор, которая исходит из полученного в ходе вычислений расчетного уровня высоких вод в реке за годы наблюдений. Основные параметры мостовых сооружений такие как высоты, отверстие и длина моста рассчитываются в зависимости от уровня высоких вод, определяемого существующей методикой расчета. Однако паводок создает такой поток, который является для построенных мостов сверхнормативным (рис. 4). Нормативный водный поток протекает с расчетной скоростью (1), а сверхнормативный, протекая через существующее отверстие, действует на грунт основания турбулентно (2), создавая вихри у опор и устоев. Такой поток, размывая основание, образует зоны разуплотнения грунта (3), что является причиной сдвига, крена, осадки русловых опор. Это воздействие требует отдельного расчета и анализа.

Важно сравнить полученные характеристики нормативного водного потока с уровнем воды, при котором произошло разрушение сооружения.

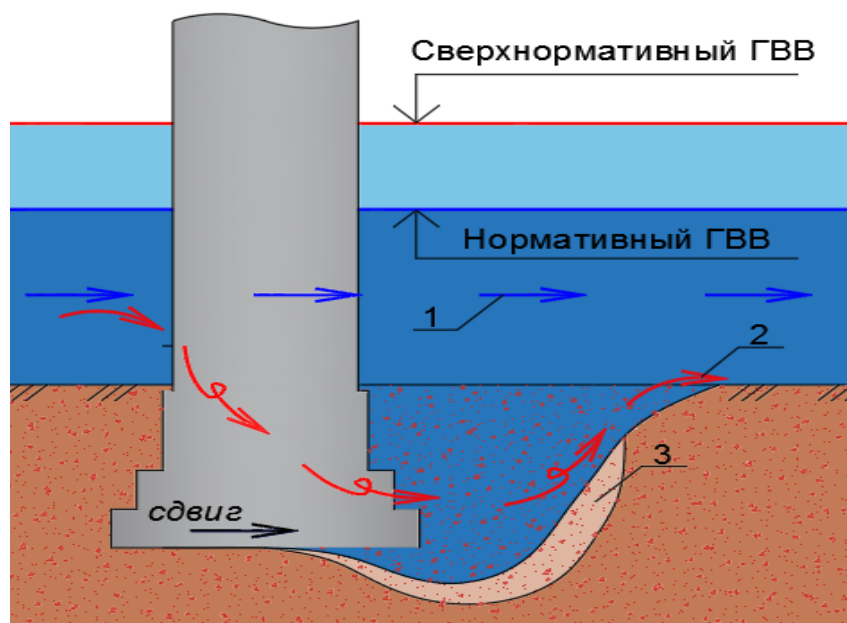


Рис. 4. – Схема размытия основания

Рассмотрим проблему на примере Каштакского моста в городе Чита. Как уже было ранее сказано, обрушение двух его пролетов обусловлено произошедшим подмывом опоры из-за увеличения скорости водного потока в отверстии моста, образуя при этом воронки размытия в приопорной зоне. Используя данные наблюдений за уровнем воды в реке, определяем характеристики водного потока при нормативном и сверхнормативном уровне высоких вод. Результаты вычислений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики скорости и расхода воды в реке

$H_{ГВВ}$	Уровень воды, м	Левая пойма		Русло		Правая пойма		$Q_{общ}$, м ³ /с
		V , м/с	Q , м ³ /с	V , м/с	Q , м ³ /с	V , м/с	Q , м ³ /с	
нормативный	638,8	0,55	1,65	0,82	50,32	0,11	0,04	52,01
сверхнормативный	641,17	1,28	27,11	2,1	535,27	0,75	43,2	605,58

где $H_{pзв}$ – расчетный горизонт высоких вод (м), V – скорость потока (м/с); Q – расход воды (м³/с).

Отметку полного размыва определяем по формуле:

$$H_{разм} = H_{pзв} - \left[p \cdot h_{max} \cdot \left(1 + \frac{\Delta p}{p} \right) \right] + R_{разм}$$

Где $H_{разм}$ – отметка размыва (м), p – коэффициент размыва, h_{max} – максимальная глубина русла (м), $\Delta p/p$ – относительная погрешность определения коэффициентов размыва, $R_{разм}$ – глубина воронки размыва (определяется по формуле Ярославцева). В результате использования методики расчета отметки размыва получены следующие результаты: отметка размыва русла реки от воздействия нормативного водного потока составила $H_{разм}^н = 636,9$ м; отметка размыва русла реки от воздействия сверхнормативного водного потока составила $H_{разм}^с = 635,75$ м.

Из расчета видно, что расход при сверхнормативном уровне воды в реке $Q^с = 605,58$ м³/с десятикратно превосходит расход при нормативном расчетном горизонте высоких вод $Q^н = 52,01$ м³/с. Глубина полного размыва основания определится по формуле:

$$\Gamma_{разм} = H_{русла} - H_{разм}$$

где $H_{русла}$ – отметка дна русла реки, которая равна 637,17 м, что составит при нормативном водном потоке $\Gamma_{разм}^н = 0,27$ м, а при сверхнормативном водном потоке $\Gamma_{разм}^с = 1,42$ м, что превышает в 5 раз результаты принятой методики. Можно предположить, что, если бы при проектировании моста, за уровень высоких вод принимался бы наивысший уровень воды и были бы произведены расчеты на его основе на стадии проектирования сооружения, аварийной ситуации просто бы не возникло.

Из полученных данных можно сделать вывод, что для обеспечения устойчивости функционирования мостовых сооружений, уже разрушенных и новых проектируемых следует:

1. производить гидравлический расчет моста принимая за расчетный горизонт высоких вод отметку наивысшего уровня воды в реке за все время наблюдений
2. в регионах подверженных паводковому воздействию, при строительстве новых сооружений, учитывать скорость стесненного потока в отверстиях моста, выбирая предпочтение экономически рациональной, но эффективной длине моста.

Литература

1. Шестериков В.И. Оценка состояния автодорожных мостов и прогнозирование его изменения с помощью показателей физического износа // Автомоб. дороги: Научно-технические достижения и передовой опыт в обл. авт. дорог: Информ. сб./ЦБНТИ Росавтодора. - М., 2004, Вып. 5. 314 с.
2. В.А. Волосухин, С.И. Евтушенко, Т.А. Крахмальный, М.П. Крахмальная. Автоматизация мониторинга технического состояния мостов на мелиоративных каналах Ростовской области. Инженерный вестник Дона, 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2315.
3. Рекунов, С.С. Об оценке надёжности и восстановлении эксплуатационных качеств мостовых сооружений // Транспортные сооружения: Интернет-журнал. 2016. Т. 3, № 2 URL: s.today/PDF/07TS216.pdf.
4. Макаров А.В., Гулуев Г.Г., Шатлаев С.В. Реконструкция путепровода как требование безопасности. Инженерный вестник Дона. 2017. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4161
5. Майстренко И.Ю., Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Успанов А.М. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 3 // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2018, №1. URL: s.today/PDF/08SATs118.pdf
6. Makarov, A.V., Kalinovsky, S.A. Methods of regulating thrust in design of arch bridges // IOP Conference Series: Materials Science and

Engineering. 2018. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/451/1/012054/pdf

7. А.Я. Глушко. Особенности управления затапливаемыми земельными ресурсами юга России. Инженерный вестник Дона, 2012, №4, часть 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1415.

8. Л.А. Афонин. Проблемы прогнозирования паводков и наводнений. «Наука. Инновации. Технологии», 2014, №1. URL: cyberleninka.ru/article/n/problemy-prognozirovaniya-pavodkov-i-navodneniy

9. Yu. I. Olyansky, E. V. Shekochihina and S. A. Kalinovsky. Features of Assessment of Subsidence Properties of Loess Rocks in the Design of Bases and Foundations in Central Moldova // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies (2-4 October 2018, Vladivostok, Russian Federation). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. [Publishing IOP], 2018. Vol. 463, pp. 3. – 7. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/463/4/042058/pdf.

10. N.V. Ivanova, O.A. Ganzha. The Architectural and Ecological Features of the Underground Development of the Ravine Network in a Riverside City (on the Example of Volgograd) // Procedia Engineering. Vol. 165: 15th International scientific conference «Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development» (St. Petersburg, Russia, 12-15 September 2016). – [Elsevier publishing], 2016. – pp. 1006-1015

References

1. Shesterikov V.I. Ocenka sostojanija avtodorozhnyh mostov i prognozirovanie ego izmenenija s pomoshh'ju pokazatelej fizicheskogo iznosa [Assessment of the state of road bridges and forecasting its changes using indicators of physical deterioration] Avtomob. dorogi: Nauchno-tehnicheskie dostizhenija i peredovoj opyt v obl. avt. dorog: Inform. sb. CBNTI Rosavtodora. M., 2004, Vyp. 5. 314 p.



2. V.A. Volosuhin, S.I. Evtushenko, T.A. Krahmal'nyj, M.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2315.
3. Rekunov, S.S. URL: t-s.today/PDF/07TS216.pdf.
4. Makarov A.V., Guluev G.G., Shatlaev S.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2017. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4161
5. Majstrenko I.Ju., Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Usпанov A.M. URL: t-s.today/PDF/08SATS118.pdf
6. Makarov, A.V., Kalinovsky, S.A. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/451/1/012054/pdf
7. A.Ja. Glushko. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4, p.2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1415.
8. L.A. Afonin. Problemy prognozirovaniya pavodkov i navodnenij. [Problems of forecasting floods and floods]. URL: cyberleninka.ru/article/n/problemy-prognozirovaniya-pavodkov-i-navodneniy
9. Yu. I. Olyansky, E. V. Shekochihina and S. A. Kalinovsky. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies (2-4 October 2018, Vladivostok, Russian Federation). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. [Publishing IOP], 2018. Vol. 463, pp. 3 – 7. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/463/4/042058/pdf
10. N.V. Ivanova, O.A. Ganzha. Procedia Engineering. Vol. 165: 15th International scientific conference «Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development» (St. Petersburg, Russia, 12-15 September 2016). [Elsevier publishing], 2016. pp. 1006-1015.