



Получена: 31.05.2019 г.

Приета: 01.07.2019 г.

ПРИЧИНИ И ПРИМЕРИ ЗА ПОВРЕДИ И АВАРИИ ПРИ МОСТОВЕТЕ, ПРОБЛЕМИ С УПРАВЛЕНИЕТО ИМ

Л. Георгиев¹

Ключови думи: мостове, повреди, причини, поддържане, управление

РЕЗЮМЕ

В публикацията са представени различни причини и фактори, водещи до реализиране на дефекти, повреди и аварийни състояния при мостовите конструкции. Разгледани са примери за локални повреди, които не водят до разрушение към даден момент. Специално внимание е отделено на стоманените връхни конструкции за мостове. Разгледани са някои примери за аварии на мостови конструкции от нашата и световната практика. Анализират се причините, възможните действия и значението на системите за управление на мостове с оглед на минимизиране на риска от достигане на аварийни състояния.

1. Въведение

Мостовете са важен елемент от транспортната инфраструктура. Те представляват технически системи с различна степен на сложност и съответно различна степен на надеждност в зависимост от влиянието на комплексни фактори, свързани с тяхното проектиране (концептуално и детайлно), изграждане и експлоатация. През експлоатационния си период всяка мостова конструкция е подложена на различни по вид и интензивност деструктивни въздействия, като тяхното комплексно действие води до реализиране на повреди в определени елементи. Стопанисващите администрации следва да създадат, поддържат и усъвършенстват система за комплексно управление на поверените им мостове с оглед на поддържане на необходимото ниво на безопасност и експлоатационна пригодност. За да се реализира опазване на съответен мост (bridge preservation [1]), в

¹ Лазар Георгиев, доц. д-р инж., кат. „Пътища и транспортни съоръжения”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: lazar_fte@uacg.bg

рамките на предвидения експлоатационен срок следва в системата за управление на мостовете на съответната администрация да бъде предвидена методика за максимално обективна оценка на състоянието на елементи от конструкцията, както и детайлни предписания за дейностите по рехабилитация, ремонтване, усилване или подмяна в зависимост от регистрираните повреди [30]. Под аварийно състояние (отказ) ще разбираме такова, при което елемент или зона от конструкцията на моста са достигнали до нарушение на интегритета и/или загуба на носеща способност до степен, при която не могат да изпълняват носещите си функции и са негодни за експлоатация. Под дефект ще разбираме нарушение в даден елемент или характеристиките му, заложено при производството и влагането му в мостовата конструкция. Под повреда ще разбираме нарушение, вследствие на деструктивни въздействия по време на експлоатация, при което носещата способност на даден елемент е намалена, но при определени условия и в даден диапазон от намалени стойности на външните въздействия той може да изпълнява функциите си.

Таблица 1. Причини за достигане до аварийно състояние [2]

Причина за достигане до аварийно състояние (разрушение)	Брой случаи			
	с		без	
	детайлна информация			
	Брой	%	Брой	%
Авария по време на изграждането	105	23.9	20	20.8
Авария по време на експлоатацията без външно въздействие	107	24.3	35	36.5
Удар с плавателни средства	59	13.4	5	5.2
Удар с возила под моста	19	4.3	0	0.0
Удар с возила върху моста	21	4.8	5	5.2
Наводнения, ледоход, плаващи дървета, ураган	41	9.3	13	13.5
Пожар или експлозия	22	5.0	4	4.2
Сеизмична активност	6	1.4	0	0.0
Компрометиране на кофраж или скеле	60	13.6	14	14.6
Общо	440	-	96	-

Таблица 2. Причини за достигане до аварийно състояние при метални мостове [4]

Причина за достигане на аварийно състояние	преди 1900		1900-1940		1941-1990		1991-	
	брой	%	брой	%	брой	%	брой	%
Ограничено познание	10	55.6	5	35.7	4	13.8	0	0.0
Проектантски грешки	4	22.2	4	28.6	7	24.1	5	29.4
Природни бедствия	1	5.6	3	21.4	8	27.6	6	35.3
Инциденти	1	5.6	1	7.1	6	20.7	4	23.5
Човешка грешка	2	11.1	1	7.1	4	13.8	2	11.8

Причините за реализиране на повреди и съответно „отказ“ на определени елементи да изпълняват своите функции са комплексни, като в редица случаи може да се от-

крои доминираща. В табл. 1 са представени основните причини за достигане до аварийно състояние на 536 моста [2]. В таблица 2 са систематизирани обобщените причини за достигане до разрушение на 78 изследвани случая на метални мостове по съответни периоди от време [4]. Прави впечатление, че до средата на двадесети век една от основните причини за достигане до аварийно състояние на разглежданите мостове е ограниченото познание. Съвременната изчислителна техника позволява по-прецизно моделиране и съответно прогнозиране на поведението на мостовите връхни конструкции [15, 6]. Развитието на нормативите за проектиране на мостове също отчита съвременните теоретични концепции, както и регистрирани практически проблеми [7 ÷ 12]. Сериозно изследване и анализ на причините за дефекти, повреди и аварии, обхващащо 1062 моста, е представено в [29] – табл. 3. Под вътрешни причини се разбират проектантска грешка, липса на поддържане, дефекти в материала и в конструкцията. Анализ на причините за знакови неблагоприятия при различни мостове са представени в [2 ÷ 5, 40 ÷ 42].

Таблица 3. Причини за достигане до аварийно състояние по години [29]

Причина за достигане на аварийно състояние	2000-2012г.	1990-2000г.	1980-1990г.	Общо	%
Вътрешни причини	32	36	50	118	11.1
Подравяне	53	92	55	200	18.8
Удар с возило	51	55	57	163	15.3
Наводнение	40	154	107	301	28.3
Претоварване	37	31	67	135	12.7
Пожар	12	10	8	30	2.8
Вятер	8	8	1	17	1.6
Деградация от атмосферни въздействия	23	22	26	71	6.7
Сеизмично въздействие	1	11	8	20	1.9
Други	2	3	2	7	0.7
Общо	259	422	381	1062	100.0

Таблица 4. Причини за достигане до аварийно състояние при стоманени мостове [4]

Причина за достигане на аварийно състояние (non collapse) - без цялостно разрушение	%
Умора	67
Креко разрушение	5
Загуба на устойчивост	3
Удар	10
Други	3
Неизвестни	12

Причина за достигане на аварийно състояние (collapse) - разрушение	%
Умора	13
Креко разрушение	9
Загуба на устойчивост	16
Удар	13
Претоварване	5
Подравяне	17
Други	13
Неизвестни	14

Повредите и дефектите могат условно да се разделят на такива, които водят до разрушение на даден елемент или зона от моста (collapse) и такива, които водят до нарушение на интегритета, но не и директно до разрушение на елемента (non collapse) [4]. В табл. 4 са представени основните причини за реализиране на двата описани класа повреди при стоманени връхни конструкции според [4].

Често срещана причина за дефекти и повреди на носещи елементи от една мостова конструкция е некачественото изпълнение и компрометиране на второстепенни елементи (дилатационни фуги, водоотвеждане, предпазни огради). На фиг. 1 е представен силно корозирал ригел на стълб на мост по АМ Хемус под дилатационна фуга в температурно непрекъснатата стоманобетонна плоча.

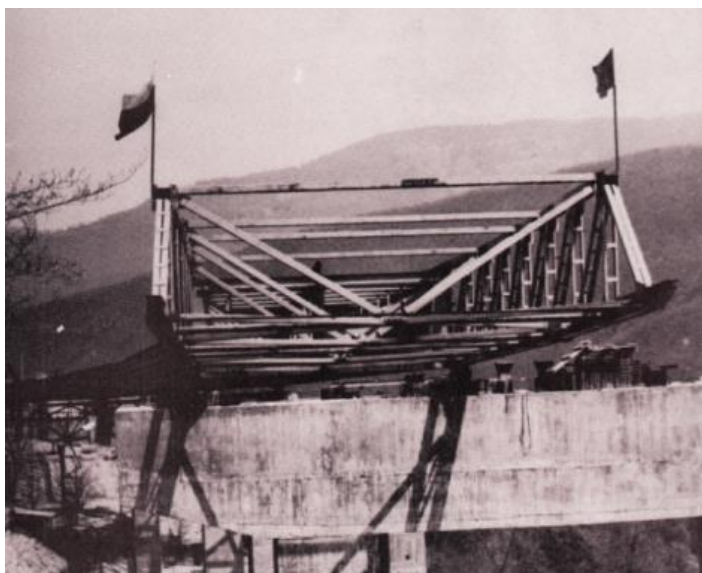


Фиг. 1. Стълб на стоманобетонен мост по АМ Тракия при извършване на аварийен ремонт, 2015

2. Примери за повреди и аварии при мостови конструкции

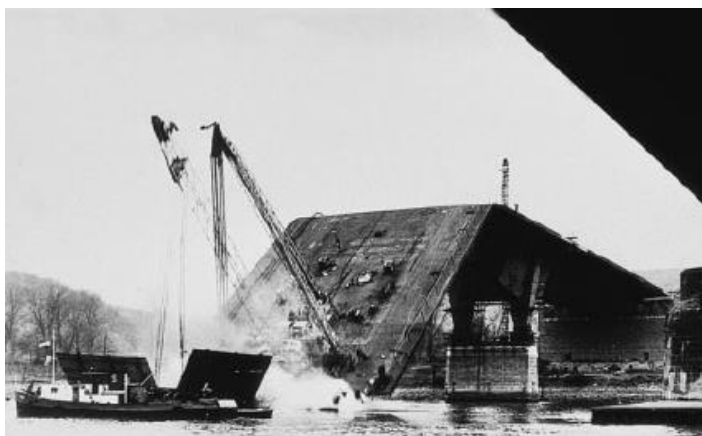
Както е видно от таблица 1, в немалък процент от случаите (~24%) се стига до аварийно състояние по време на изграждането на една мостова конструкция. При редица ефективни технологии на изграждане, като например конзолно изграждане, надлъжно избустване и други, съответни зони от мостовата връхна конструкция преминават през различни по вид статически схеми, както и напрегнати и деформирани състояния, при което носещата способност следва да бъде осигурена за всяка възможна схема и ситуация [5, 20].

През 1985 г. в резултат на комплексни причини се случва авария при надлъжното избустване на виадукт в хоризонтална и вертикална крива по АМ „Хемус“ – фиг. 2 [22], свързано с разрушаване на всички временни опори и изпадане на стоманената връхна конструкция върху стълбове и устой с максимално напречно отклонение 1,5 m от проектното положение [21]. Към момента изследванията и заключенията на комисиите, анализирали причините за аварията, не са публикувани, което стеснява допълнително относително скромния ни национален опит в ефективната технология надлъжно избустване на мостови връхни конструкции.



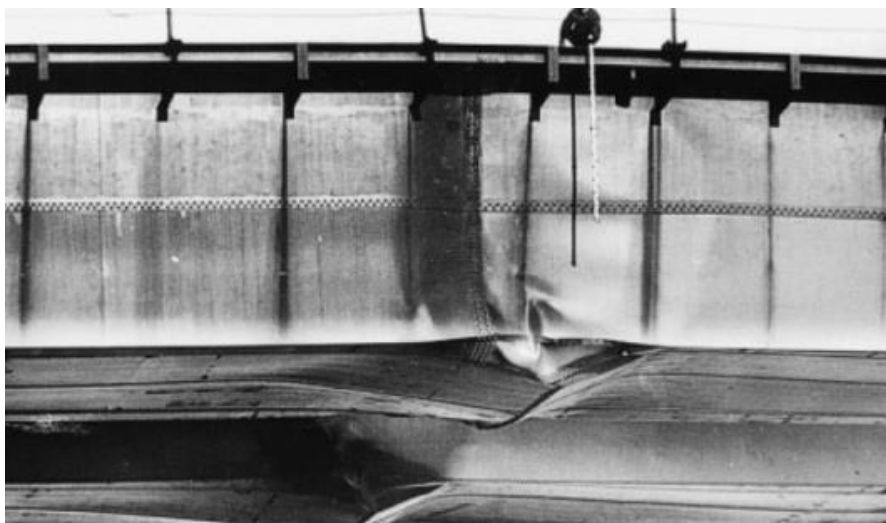
Фиг. 2. Виадукт по АМ Хемус на стар km 26⁺⁷⁰⁰ [22]

При конзолно изграждане на стоманени връхни конструкции основният отвор се реализира чрез балансирано конзолно добавяне на монтажни елементи и свързване на напредващите една към друга конзоли с ключов елемент. При това положение е възможно в определени плочи натисковите напрежения в строително състояние да са по-високи от тези в експлоатационно за същото сечение и при надлъжно оребряване, съобразено само с експлоатационното състояние при което е възможна загуба на устойчивост [5]. На фиг. 3 е представена аварията при изграждане на стоманен кутиеобразен мост в Кобленц над р. Рейн, случила се през 1971 г.



Фиг. 3. Мост над р. Рейн в Кобленц, 1971 г. [2]

Основната причина за разрушението е неприемлив конструктивен детайл на монтажната връзка между надлъжните ребра по натиснатата долна плоча на кутията и съответно недостатъчна носеща способност на устойчивост на плочата в съответната зона [2].



Фиг. 4. Мост над р. Дунав във Виена, 1969 г. [2]

При изграждане на четвъртия мост над р. Дунав във Виена през 1969 г. се получава авария вследствие на местна загуба на устойчивост, породена от вътрешно уравновесени напрежения от температурна разлика – фиг. 4 [2]. През деня и поради горещото време конзолите провисват и се удължават повече от предвиденото, което налага скъсяване на горния пояс на ключовия елемент с 15 mm [2, 5]. Не остава време за отпускане на опорите до края на работния ден и през нощта при изстиване, поради ограничената деформация, се получават вътрешно уравновесени опъни напрежения в горния и натискови в долния пояс. Следва загуба на устойчивост на натиснатия пояс около зоните на нулевите моменти, които не са изчислявани и конструирани за високи нива на натискови напрежения при експлоатация.

За надеждната експлоатация на мостовите конструкции от сериозно значение е въвеждането и усъвършенстването на система за управление на мостовете, регламентираща дейностите по оценка на състоянието, както и процесите на вземане на решения за реализиране на необходимите дейности за отстраняване на регистрирани дефекти и повреди. Характерен пример е тежката авария на моста над р. Мисисипи в Минеаполис през 2007 [25 ÷ 27], свързана с 13 жертви и десетки ранени. Върхната конструкция представлява непрекъсната триотворна стоманена ферма със 160 m централен отвор, а пътната конструкция е комбинирана стомано-стоманобетонна гредоскара, подпрана във възлите на фермата. Построен е 1964 – 1967 г. [26]. При регулярна инспекция през 2003 г. е установена деформация извън равнината на относително стройните възлови плочи на възел U10 – фиг. 6, през следващите 4 години не са взети мерки за усилването им и през 2007 г. се достига до цялостно разрушение именно вследствие на компрометиране на възли от фермата с недостатъчна носеща способност – фиг. 5, за което свидетелстват и направените впоследствие задълбочени анализи и модели по МКЕ [26, 27]. Системата за управление на мостовете следва да е организирана и структурирана по такъв начин, че времето между регистриране на съответен дефект или повреда и отстраняването му да бъде минимално с оглед на намаляване на риска от достигане на подобни на описаната по-горе тежка авария. След аварията с моста в Минеаполис при редица конструкции с подобен рисков детайл с относително стройни възлови плочи са извършени усилвания в случаите на необходимост – например фиг. 7 [31].



Фиг. 5. Аварирал стоманен мост в Минеаполис, 2007 г. [25]

Както и в редица други случаи относително не много обемни превантивни мерки, ако се реализират навреме, могат да предотвратят тежки аварии.



Фиг. 6. Деформирана извън равнината си възлова плоча при възел U10, 2003 г. [25]



Фиг. 7. Усилена възлова плоча на стоманен мост [31]

Комбинираните стомано-стоманобетонни връхни конструкции за мостове съчетават предимствата и редуцират недостатъците на двата материала – бетон и стомана. В етапите на работа преди бетонът да е набрал якост следва да се осигури общата устойчивост на стоманената част от връхната конструкция и при пропуски в тази насока са възможни сериозни аварии [18]. На фиг. 8 е показан аварирал при изграждането си комбиниран стомано-стоманобетонен мост в Индия с 28 жертви, 2016 г. [17, 23]. Неадекватно конструираната напречна връзка между стоманените 2Т греди [24] вероятно не може да осигури общата им устойчивост в етапа преди реализиране на съвместно действие със стоманобетонната плоча. Тъй като при опирането на 2Т гредите върху конзолите на стоманения стълб са ограничени преместванията в напречна посока, след загубата на устойчивост на гредите се получава хоризонтална напречна реакция, действаща ексцентрично спрямо центъра на тежестта на стоманените конзоли. Това води до допълнителен огъващ момент в тях и съответно допълнителни нормални напрежения в съответните стени, за които те не са изчислени и следва разрушение на конзолата и изпадане на връхната конструкция.



Фиг. 8. Комбиниран стомано-стоманобетонен мост в Калкута, Индия [17]

При разрушението на пилон на вантов мост Chirajara Bridge по време на изграждането му през 2018 г. се счита, че основната причина е недостатъчната напрегната и опънна армировка на хоризонталната връзка между двата дяла на пилона – фиг. 9 [16].



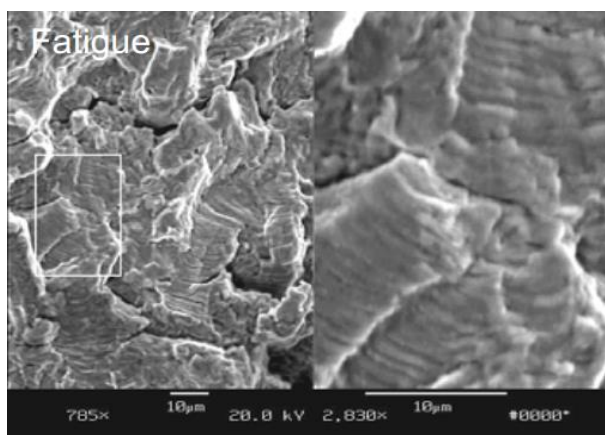
Фиг. 9. Мост Chirajara Bridge, Колумбия – Eng. Jaime Suarez Diaz [16]

С оглед на намаляване на широчината на стоманобетонния кесонен фундамент А-образният пилон завършва със скосяване на двата дяла, което води до промяна в траекторията на натисковата реакция в тях и съответно напречната греда и стени се натоварват с големи опънни сили (за проблем с напрегнатата армировка свидетелстват и регистрираните преди аварията пукнатини в хоризонталната греда между двата дяла от пилона [16]). Разрушението на единия от пилоните води до разрушение на изградената и окачена към него част от закоравяващата греда с 9 жертви и 8 ранени.

Както е видно от табл. 3, водеща причина за повреди при стоманените мостове, които не водят до разрушение на елемента до определен момент, е умората на материала, често в съчетание с корозионни повреди. На фиг. 10 се вижда уморна пукнатина в стоманена ОПП (ортотропна пътна плоча) в зоната на заваръчния шев между надлъжно трапецовидно ребро и стоманена пътна плоча. Умората е частен случай на крехко разрушение, свързан с действието на циклично променливи напрежения. Иниципирането на уморни пукнатини се реализира в зони с високи стойности на остатъчни опънни напрежения или концентрация на напреженията при преход в геометрията или зони с деформация вследствие на корозия.



Фиг. 10. Уморна пукнатина в стоманена ОПП на стоманен виадукт



Фиг. 11. Характерна набраздена повърхност при уморно разрушение [28]

Уморните повреди нарастват след всеки цикъл на натоварване до достигане на критично състояние, при което скоростта на нарастване рязко се увеличава и следва разрушение. Съвременната техника позволява посредством фрактографски изображения от повърхността на разрушение да се определи точно механизмът на разрушението [28]. На фиг. 11 се вижда характерната набраздена повърхност (fatigue striations) при циклично променливо уморно натоварване.

Пешеходните мостове се характеризират с относително по-нисък интензитет на полезните товари, което позволява реализацията на по-леки и стройни конструкции. У нас гредови, вантови и висящи пешеходни мостове с относително големи отвори (висящ мост при с. Лисиците, над яз. Студен кладенец – отвор 260 m) са построени в Искърското дефиле, в Родопите и други региони. Поради относително ниското ниво на компетентност и контрол на участниците в процесите на проектиране и изграждане при немалка част от тези пешеходни мостове съществуват значителни отклонения от нормативните изисквания и добрите практики за конструктивно детайлиране в посока на несигурността – изследване, обхващащо 30 моста е описано в [19]. В някои случаи поради лошото качество на изпълнение повреди се регистрират още преди въвеждането им в експлоатация. На фиг. 12 е представена анкерната зона на главен кабел на висящ мост с отвор около 70 m над р. Искър, закотвен под нивото на терена и съответно силно уязвим за корозионни повреди, а самото закотвяне е реализирано чрез огъване на кабела и притискане с клипси, което е ненадежно за динамично натоварена конструкция.



Фиг. 12. Зона на закотвяне на главен кабел на мост над р. Искър до Пасарел

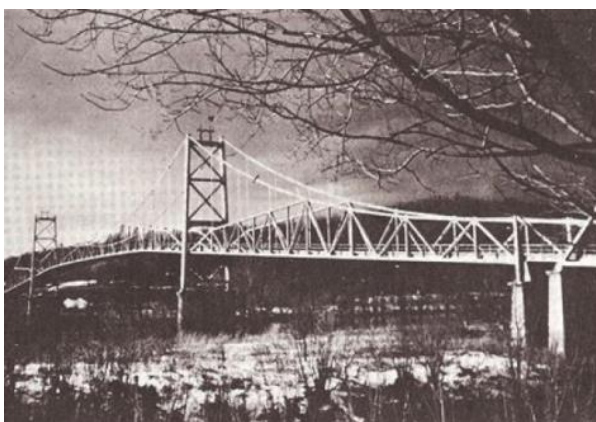
При концептуалното проектиране трябва да се обръща необходимото внимание на концепциите за конструктивна надеждност (robustness) и да се прилагат там, където е възможно и целесъобразно. В най-общи линии надеждността на конструкцията нараства с намаляване на процентния принос на всеки отделен елемент към носещата способност. Отрицателен пример в тази посока е аварията през 2018 г. мост Моранди в Италия [32] – фиг. 13. Ключов елемент за носещата способност на конструкцията като цяло са стоманобетонните ванти, които са само две от едната страна на всеки от пилоните (компрометиране на една ванта намалява с 50% носещата способност). Обикновено при вантовите мостове вантите са повече на брой и са изградени от въжета, съставени от високоякостни телове с адекватни нива на антикорозионна защита. Изследва се аварийна ситуация с компрометиране на една от вантите, което в случая на моста Моранди е неприложимо. При стоманобетонната ванта е трудно да се инспектира във времето нивото на предварително налягане на кабелите и възможната им корозия, а и двата фактора имат сериозно влияние върху носещата способност на този ключов елемент. През 2018 г. мостът Моранди в Италия аварира поради компрометиране на една от вантите, следва разрушаване на пилоната и съседните му два отвора.



Фиг. 13. Мост Моранди в Италия преди аварията [32]

В миналото главният кабел при висящи мостове се е изграждал като прътова верига, състояща се в напречното си сечение от няколко стоманени пръта, завършващи с уширение и свързани със следващите посредством ставен болт. От гледна точка на концепцията за robustness този вариант не е добър, защото всеки от прътите има немалък принос към общата носеща способност на опън на кабела. В съвременната практика кабелите на висящите мостове са изградени от голям брой (до десетки хиляди при голям диаметър на кабела) стоманени високоякостни телове с диаметър 5 – 7 mm и якост на опън 1700 – 1900 МПа, при което приносът на един отделен високоякостен тел към общата носеща способност на опън на кабела е несъществен.

Мостът Silver bridge – фиг. 14 [35] е построен през 1928 г. и претърпява авария – цялостно разрушение на 15.12.1967 г., свързано с 46 жертви [5]. Главната конструкция е висяща с отвор 213 m, окачена на главен кабел, конструиран като прътова верига. Прътите от веригата са изработени от стомана с висока якост на опън и респективно пониско съпротивление срещу крехко разрушение в зоните на локална концентрация. Разрушението на прътовата верига е вследствие на крехко разрушение на отделни съставлящи я пръти в зоната на връзката им чрез ставен болт, следва цялостно разрушение на връхната конструкция.



Фиг. 14. Мост Silver bridge САЩ, 1928 г. [35]

По отношение на критични детайли следва да се отбележи, че нередко в световната практика са се прилагали герберови връхни конструкции за мостове. Основните им предимства са статическата определимост и лесен анализ (в съвременната практика и използване на софтуер базиран на МКЕ, но това е без особено значение) и това, че не са чувствителни към опорни премествания. Герберовата става е язва в конструкцията и при некачествена или след компрометиране на дилатационната фуга се реализират течове, корозия и влошаване на носещата способност на този ключов детайл. Стоманобетонният герберов зъб е нерегулярна D-област със сложно поведение. На фиг. 15 е представен корозирал герберов зъб и разместени отвори на стоманобетонен мост по Цариградско шосе, гр. София, 2009 г. При стоманобетонни мостове нередко при рехабилитация се възстановява бетонното покритие, с което критичния герберов детайл получава добър външен вид, но е възможно да се замаскират конструктивни дефекти водещи до намаляване на носещата способност. На фиг. 16 [38] е представен момент от авария, свързана с разрушение на герберов зъб и изпадане на окачен отвор на стоманобетонен мост в Италия през 2016 г. под действие на преминаващо тежко возило, свързана с една жертва.



Фиг. 15. Стоманобетонен герберов зъб на мост в гр. София, 2008



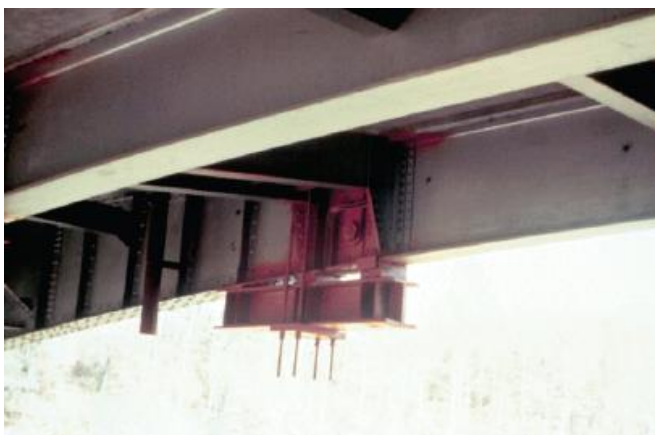
Фиг. 16. Разрушение на стоманобетонен герберов зъб на мост в Италия, 2016 г. [38]

На фиг. 17 е представено разрушение на окачен отвор на мост над Mianus river със стомано-стоманобетонна главна конструкция със статическа схема герберова греда, САЩ, 1983 г. – 3 жертви [36]. Аварираният отвор е окачен посредством стоманени шини

и ставни болтове. При стартиране на корозия между съответните плочи продуктите са с обем, 5 – 6 пъти по-голям от този на изходния метал, това води до изкривяване, и липсата на напречни връзки между окачения и другия отвор е станало причина за претоварване и разрушение на окачващите шини и съответно изпадане на отвора. Подобен детайл на окачване е рисков и следва да се избягва при наличие на алтернативна възможност. На фиг. 18 е представено възможно „усилване” на съществуващ детайл на окачване посредством дублираща връзка [37].



Фиг. 17. Разрушение на окачен отвор на мост в САЩ, 1983 г. [36]



Фиг. 18. Допълнително осигуряване на рисков детайл на окачване [37]

Сериозни повреди или аварии могат да се реализират вследствие на удар между превозно средство (пътно, железопътно, плавателно) и мостовата конструкция. В тези случаи основни причини са човешка грешка (несъобразяване на габарит, скорост и т.н.) или ограничителни системи с по-нисък от необходимия клас по степен на задържане. На фиг. 19 е видно последствието от удар между тежко плавателно средство и стоманена фермова връхна конструкция – изцяло разрушена, 2013 г. [33]. Плавателното средство по погрешка на оператора е пропуснато през отвор с по-малък от необходимия габарит.



Фиг. 19. Удар между мостова връхна конструкция и плавателно средство, 2013 г. [33]

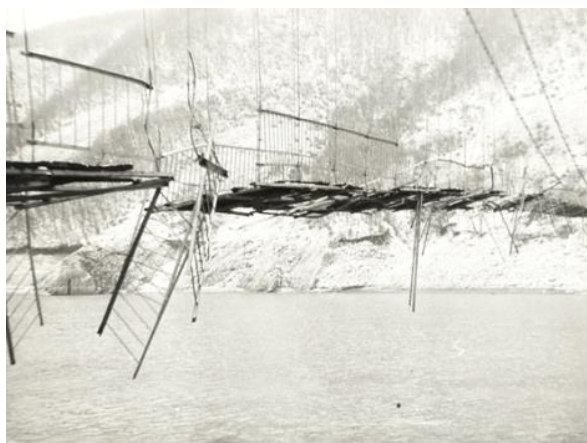
При по-гъвкави мостови конструкции могат да настъпят повреди или аварийно състояние вследствие на въздействието на динамичната компонента на ветровото натоварване. През 1940 г. вследствие на ниска огъвна и усуквателна коравина закоравяващата греда на висящия мост Тасома се разрушава при огъвно-усуквателни трептения, принудени от ветрово натоварване [5]. Висящите и вантови мостове обикновено са по-гъвкави и затова при отговорни конструкции аеродинамичната устойчивост се доказва чрез изпитване на репрезентативни модели в аеродинамичен тунел. Проблеми с вибрациите при вятър има и при по-стройни гредови мостове. Например пътният мост Рио-Нитерои в Бразилия представлява непрекъсната греда със стоманено кутиеобразно напречно сечение с максимален отвор 300 m, построен през 1974 г. [13]. Отношението на максималния отвор към конструктивната височина в средата на максималния отвор е $300/7,42 \sim 40,4$. Поради тази висока стройност на връхната конструкция първата собствена честота във вертикална посока е 0,34 Hz (2,94 sec) и при ветрово въздействие със скорост 55 – 60 km/h са регистрирани вибрации с амплитуда около 600 mm, което води до нарушаване на безопасната експлоатация и налага инсталирането на вискозно-еластични демпфери с оглед на разрешаване на проблема. Проблеми с вибрации вследствие на ветрово натоварване са регистрирани при пътен стоманен мост система непрекъсната греда с кутиеобразно напречно сечение и максимален отвор 155 m във Волгоград, Русия [14]. Стройността на връхната конструкция е $155/3,292 \sim 47$. При ветрово въздействие във връхната конструкция са регистрирани вибрации с амплитуда до 400 mm, което я прави опасна за експлоатация – фиг. 20 [34]. С оглед на решаване на проблема се е наложило инсталиране на демпфери [39].



Фиг. 20. Проблеми с аеродинамичното поведение на мост във Волгоград [34]

При гредовите връхни конструкции проблеми с динамичното реагиране се наблюдават често при по-стройни пътни и пешеходни мостове. При тях интензитета на полезните товари от трафик е значително по-нисък в сравнение с железопътните и нормирани ограничения на деформациите са по-либерални, което позволява реализирането на по-стройни конструкции. Трябва да се обърне внимание, че оптимизиране на една връхна конструкция по отношение на вложения материал и тегло може значително да я оскъпи в случай че се наложи инсталиране на демпфери за контрол на динамичното поведение впоследствие.

Проблеми с динамичното реагиране на висящ пешеходен мост с отвор 236 m при с. Широко поле са представени в [19] – фиг. 21. Мостът е построен през 1980 г., аварирал 4 месеца след въвеждане в експлоатация, възстановен и отново аварирал през 1990 г. Вероятна причината е недостатъчната компетентност на проектантите и контролните органи в областта на поведението на висящите конструкции, тъй като не е било предвидено хоризонтално укрепване на стройната закоравяваща греда.



Фиг. 21. Мост при с. Широко поле, България [19]

3. Заключение

Неблагополучията при изграждане и експлоатация на мостовите конструкции следва да бъдат детайлно анализирани и изводите от тях да се имплементират в конкретни правила с оглед на усъвършенстване на съответните нормативи за изчисление, технологии за изпълнение, както и системите за управление на мостове от съответните администрации.

Сериозно внимание следва да се отдели на концептуалното проектиране като се сведат до минимум естествено заложените в мостовата конструкция рискове от компрометиране на съответните етапи от изграждане и експлоатация и се имплементират концепциите за конструктивна надеждност (robustness). При детайлното проектиране следва да се оптимизира конструктивното детайлиране. Проблем в тази посока е това, че в определени случаи по причини на управленски и административно-организационния характер на различни етапи се стига до съществени изменения в заданията и се налага реалното концептуално и детайлно проектиране да се вмести в неразумно кратки срокове, което се отразява отрицателно на качеството, а оттам се залагат и рискови детайли и зони в съответната конструкция.

Следва да се отбележи, че в социален аспект намаляването на престижа на инженерната професия у нас през последните години и логично последващият осезаем отлив на желаещи да я изучават и практикуват, ще доведе до намаляване на компетентността на кадрите в съответните ключови нива и в съчетание с предстоящите мащабни инфраструктурни проекти в близко бъдеще рискът от достигане на аварии при мостовете пропорционално ще се увеличи.

Въпреки натрупания сериозен опит от описани аварии при мостовете в периодите на изграждане и експлоатация следва да се отбележи, че както за много други области от живота в определена степен е вярна мисълта на Джордж Бърнард Шоу „Единственият урок, който може да се вземе от историята е, че хората не взимат никакви уроци от историята” [43], като в немалко случаи се регистрира повтаряне на еднотипни грешки.

Важно е да се отбележи, че в определени случаи причина за тежки аварии при мостовите конструкции не е липсата на средства за поддръжка, а недостатъчно навременните и адекватни управленски решения и действия.

С оглед на минимизиране на рисковете от достигане на аварийни състояния при мостовете, всички участници в процесите на концептуално и детайлно проектиране, изграждане и експлоатация следва да притежават необходимото високо ниво на знания, компетентност и отговорност. Постигане на горната комплексна задача е възможно при достигане на необходимото ниво на разбиране и синхронизиране на техническо и управленско ниво.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bridge Preservation Guide. Maintaining a Resilient Infrastructure to Preserve Mobility. U.S. Department of Transportation, FHWA, spring 2018.
2. *Joachim Scheer*. Failed Bridges. Case Studies, Causes and Consequences, Ernst & Son, Berlin, 2010, ISBN: 978-3-433-02951-0.
3. *Jamilur Reza Choudhury, Ariful Hasnat*. Bridge collapses around the world: Causes and mechanisms. IABSE-JSCE Joint Conference on Advances in Bridge Engineering-III, August 21-22, 2015, Dhaka, Bangladesh. Amin, Okui, Bhuiyan, Ueda (eds.) ISBN: 978-984-33-9313-5.
4. *Imam B. M. & Chryssanthopoulos M. K.* A review of metallic bridge failure statistics. Faculty of Engineering and Physical Sciences, University of Surrey, Guildford, GU2 7XH, UK.
5. *Björn Åkesson*. Understanding Bridge Collapses. Taylor & Francis Group, London, UK, 2008.
6. *Николов, П.* Особенности при моделирането на някои конструктивни и неконструктивни елементи на мостове. Международна научна конференция УАСГ 2012, 12-17 ноември 2012.
7. *Николов, П.* Виадукт на km 327⁺⁰⁵⁰ от АМ „Струма“ – приложение на системата Еврокод. Четвърти симпозиум по транспортни съоръжения „Транспортните съоръжения: ключов елемент на инфраструктурата“ – УАСГ, 2015.
8. *Topurov, K., P. Nikolov, I. Topurova*. Seismic resistance of the existing highway bridges in Bulgaria. The eight international conference “Bridge in the Danube basin – New trends in Bridge engineering and efficient solutions for large and medium span bridges”. Timisoara, 10.2013. Published by Springer.

9. *Николов, П.* Ограничаване на преместванията при надлези с устои, кораво свързани с връхната конструкция. Международна научна конференция УАСГ 2012, 12-17 ноември 2012.

10. *Николов, П.* Допускане на повреди в еластомерни лагери при сеизмични въздействия. Трети симпозиум по мостове „Проектиране и изграждане на мостове – теория и практика“ – УАСГ, 2009 г.

11. *Николов, П.* Сравнителни изчисления на пътна мостова плоча. Втори симпозиум по мостове „Нормативи в областта на мостовете – състояние и перспективи“ – УАСГ, 2006 г.

12. *Николов, П.* Насоки към съдържанието на наредба за проектиране на мостове в България. // Годишник на УАСГ, 2019.

13. *Ronaldo C. Battista.* Multiple synchronized dynamic attenuators of wind-induced oscillations of Rio-Niterói Bridge, 2005 IMAC-XXIII: Conference & Exposition on Structural Dynamics, 2005.

14. *Овчинников Илья Игоревич, Овчинников Игорь Георгиевич, Филиппова Виктория Олеговна.* Танцующий мост в Волгограде: причины, аналогии, мероприятия. Часть 1. Причины, Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», том 7, № 6 (ноябрь – декабрь 2015), <https://naukovedenie.ru/PDF/07KO615.pdf>, ISSN 2223-5167.

15. *Andrew Adams, Nohemy Galindez, Travis Hopper, Thomas Murphy, Philip Ritchie, Vanessa Storlie, Jared Weisman,* Manual for Refined Analysis in Bridge Design and Evaluation, Report No.FHWA-HIF-18-046, 2019.

16. <https://www.erosion.com.co/presentaciones/category/87-ing-colombia.html?download=630:chirajarab>, посетен на 24.07.2019.

17. <https://www.thehindu.com/news/cities/kolkata/damaged-kolkata-flyover-may-collapse-any-time/article23417644.ece>, посетен на 24.07.2019.

18. *Michael J. Garlich, S. E., P. E.; Thomas H. Pechillo, P. E.; Jason, M. Schneider, P. E., S. E.; Todd A. Helwig, PhD, P. E.; Mary, Anne O'Toole, P. E.; Stan-Lee C. Kaderbek, P. E., S. E.; Michael, Grubb, P. E.; John Ashton, S. E., P. E.* Engineering for Structural Stability in Bridge Construction, Report No. NHI-15-044, NHI Course Number 130102 Reference Manual, April 2015.

19. *Дулевски, Е., Иванов, Ст.* Оценка на състоянието на пешеходните въжени мостове в Родопите. Трета национална конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения“, гр. Пловдив, 2004.

20. *Mike LaViolette, Terry Wipf, Yoon-Si Lee, Jake Bigelow, Brent Phares.* Bridge Construction Practices Using Incremental Launching. NCHRP Project 20-07, AASHTO, 2007.

21. *Стайков, П.* Ремонт на връхната конструкция за ляво платно на виадукт „Пионерски лагер“ по АМ „Хемус“, // сп. Строителство, бр. 1, 1986.

22. // Сп. Пътища, Година XXIII, бр. 7, ISSN 0204-6350, 1984.

23. <https://juniperpublishers.com/jojms/pdf/JOJMS.MS.ID.555554.pdf>, посетен на 27.07.2019 г.

24. <https://www.rediff.com/news/report/pix-under-construction-flyover-collapses-in-kolkata/20160331.htm>, посетен на 27.07.2019 г.

25. National Transportation Safety Board. 2008. Collapse of I-35W Highway Bridge, Minneapolis, Minnesota, August 1, 2007. Highway Accident Report NTSB/HAR-08/03. Washington, DC.

26. *Hao, S.* I-35W Bridge Collapse. *Journal of Bridge Engineering* © ASCE /September/October 2010.

27. *Holt, R., Hartmann, J.* Adequacy of the U10 Gusset Plate Design for the Minnesota Bridge No. 9340 (I-35W over the Mississippi River), Final Report, Federal Highway Administration Turner-Fairbank Highway Research Center Report, October 2008.

28. *Eric J. Kaufmann, Robert J. Connor, John W. Fisher.* Failure Analysis of the US 422 Girder Fracture. ATLSS Report No. 04-21, October 2004.

29. *George C. Lee, S. B. Mohan, Chao Huang, B. N. Fard.* A Study of U.S. Bridge Failures (1980 – 2012), Technical report MCEER-13-0008, 2013.

30. BRIDGE INSPECTION MANUAL, New York State Department of Transportation, Office of Structures, March 2017.

31. *Doran, D.* I35W Bridge A Transportation Agency s Emergency Response. Dan Dorgan State Bridge Engineer Minnesota Department of Transportation, 2010, <http://docplayer.net/22698562-I35w-bridge-a-transportation-agency-s-emergency-response-dan-dorgan-state-bridge-engineer-minnesota-department-of-transportation.html>, посетен на 27.07.2019 г.

32. https://en.wikipedia.org/wiki/Ponte_Morandi, посетен на 27.07.2019.

33. <https://becauseicantn.files.wordpress.com/2012/01/download.jpg>, посетен на 27.07.2019.

34. <https://www.youtube.com/watch?v=uWP5d2t2JVE>, посетен на 27.07.2019.

35. <http://www.daldermaterialsconsulting.com/html/failure-analysis-engineering.html>, посетен 2013.

36. <http://35wbridge.pbworks.com/w/page/900718/Mianus%20River%20Bridge%20Collapse>, посетен 2013.

37. Bridge Inspector's Reference Manual. Publication No. FHWA NHI 03-002 October, 2002 Revised December, 2006.

38. <https://www.youtube.com/watch?v=EUhCclnoCf8>, посетен на 27.07.2019.

39. *Овчинников Илья Игоревич, Овчинников Игорь Георгиевич, Филиппова Виктория Олеговна.* Танцующий мост в Волгограде: причины, аналогии, мероприятия. Часть 2. Аналогии. Мероприятия, Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ», том 7, № 6 (ноябрь – декабрь 2015), <https://naukovedenie.ru/PDF/07KO615.pdf>, ISSN 2223-5167.

40. *Maystrenko, I. Y., Ovchinnikov, I. I., Ovchinnikov, I. G., Kokodeev, A. V.* Failures and collapses of bridge constructions, analysis of their causes. Part 1. Russian journal of transport engineering, 2017, Vol. 4, no. 4. Available at: <https://t-s.today/PDF/13TS417.pdf> (In Russ.) DOI: 10.15862/13TS417.

41. *Овчинников, И. Г., Овчинников, И. И., Майстренко, И. Ю., Кокодеев, А. В.* Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 2 // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 4, № 4 (2017) <https://t-s.today/PDF/14TS417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/14TS417.

42. *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, <https://t-s.today/PDF/08SATS118.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/08SATS118.

43. <http://bogastvo.net/citati/citati-barnard-shou/>, посетен на 24.07.2019.

REASONS AND CASES OF DAMAGE REALISATION IN BRIDGES, PROBLEMS WITH THEIR MANAGEMENT

L. Georgiev¹

Keywords: bridges, damage, reasons, maintenance, management

ABSTRACT

Different reasons and factors leading to defects, damage and collapse of bridge structures are presented in the paper. Cases of local damage not leading to collapse at a given moment are discussed. Special attention is given to steel superstructures. Some cases of bridge collapses from our and world practice are considered. Reasons and possible actions and the importance of bridge management systems for minimization of the risk of bridge collapses are discussed.

¹ Lazar Georgiev, Associate Prof. Dr. Eng., Dept. "Road Construction and Transport Facilities", UACEG, 1 H. Smirnovski Blvd., Sofia 1046, e-mail: lazar_fte@uacg.bg