



Получена: 27.01.2020 г.

Приета: 26.05.2020 г.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТОМАНЕНА ОРТОТРОПНА ПЪТНА ПЛОЧА ОТ ПЪТЕН МОСТ В Р БЪЛГАРИЯ

Л. Георгиев¹, Ст. Иванов²

Ключови думи: стоманени мостове, ОПП, състояние, крехко разрушение, носеща способност

РЕЗЮМЕ

Стоманените мостове с ОПП се прилагат в областта на големите отвори при гредови мостове поради възможността за осигуряване на изискуемата носеща способност при минимизиране на собственото тегло на връхната конструкция. В настоящата публикация е разгледан стоманен мост с ОПП по АМ Хемус с връхна конструкция непрекъснатата кутиена греда на три отвора 100+162+100 m. Направен е анализ на състоянието на връхната конструкция като е анализирано съответствието на конструктивни детайли със съвременните разбирания и изисквания. Извършено е изследване за склонността към крехко разрушение в критичната зони от ОПП на връзка на плоските ребра със стоманената плоча. Резултатите са анализирани и са направени изводи за състоянието на моста.

1. Въведение

Стоманените мостове с ОПП у нас [1] са ситуирани по транспортни артерии с висока интензивност на трафика и важност по отношение на функционирането на транспортната инфраструктура (например 2 стоманени моста с връхна конструкция с ОПП по АМ Хемус [3], метромост над парк Въртопо в гр. София и др.). Към момента не са реализирани дейности по оценка на експлоатационния ресурс на стоманените мостове с ОПП у нас, като следва да се отбележи, че по-голяма част от тези конструкции са на въз-

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

² Стоян Иванов, гл. ас. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: denkov_fce@uacg.bg

раст, надхвърляща 30 години, при която според световната практика се регистрират проблеми с уморно разрушение [2]. Според съвременните концепции, нормирани в европейските норми, в съответствие с нарастване на интензивността и теглото на пътните возила, дефинираните подвижни товари като ТМ1 (Товарен модел 1, LM1) [4] са с по-големи стойности от тези, използвани в миналото. Също вследствие от натрупания с годините опит от провеждани изследвания и регистрирани експлоатационни проблеми в [5] са нормирани редица изисквания по отношение на изчисление и конструиране на конструктивните детайли на ОПП при стоманените мостове.



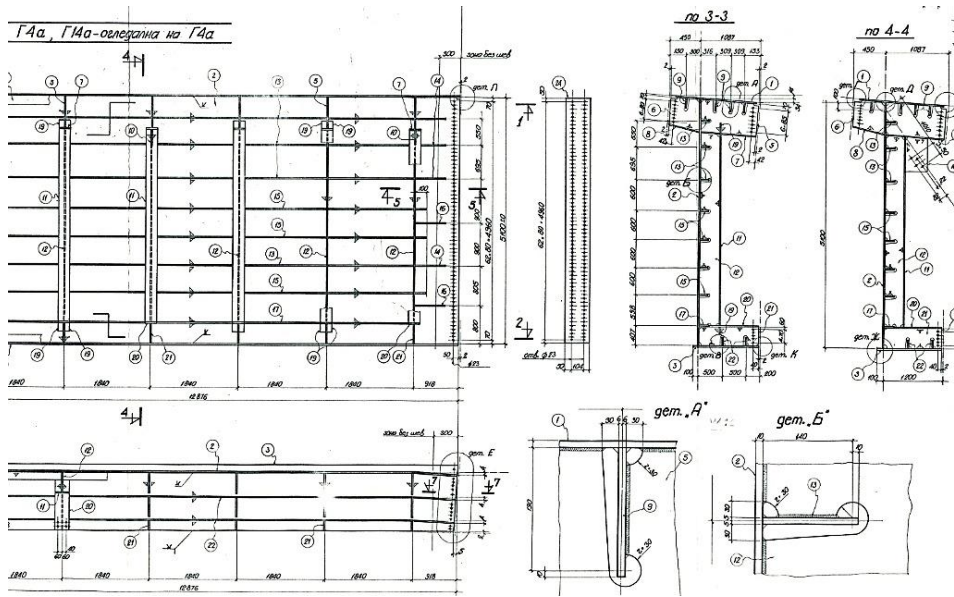
Фиг. 1. Стоманен виадукт с ОПП по АМ Хемус 100+162+100 m

На фиг. 1 е представен стоманен мост с ОПП (по-нататък за краткост ще се означава като Виадукт 2) на km 37+000 по АМ Хемус. Въведен е в експлоатация през 1985 г. [3]. Върхната конструкция представлява непрекъснатата подпърна стоманена кутия с отвори 100+162+100 m (максималният отвор 162 m към момента е рекорден за гредови мостове в Р България). Пътната конструкция представлява стоманена ОПП с плоски надлъжни ребра, която с оглед на осигуряване на необходимия габарит излиза конзолно от двете страни на главната кутия. Върхната конструкция е изградена по метода на надлъжно избутване (лансаж) при използване на една временна опора.

2. Изследване на стоманен мост с ОПП по АМ Хемус

Предмет на настоящата публикация е изследване на някои основни аспекти от поведението на стоманената ОПП на Виадукт 2. На фиг. 2 е представен фрагмент от ОПП на зона от върхната конструкция, при която разстоянието между напречните греди е 2000 mm, а плоските надлъжни ребра са с размери 200×12 mm и преминават през едностранни отвори, изрязани в стеблата на напречните греди – фиг. 3.

Регистрирани са локални корозионни огнища, които основно са вследствие от липсата на херметичност на кутията и конденз – фиг. 3, фиг. 4 – и други. Следва да се отбележи, че детайлът на преминаване на надлъжните ребра през стеблото на напречните греди чрез едностранен изрез (фиг. 3) е неблагоприятен с оглед на уморното поведение [8].



Фиг. 2. Фрагмент от ОПШ на Виадукт 2



Фиг. 3. Премахване на надлъжните ребра през стъблото на напречната греда



Фиг. 4. Корозия във вътрешността на кутията около отвори

За изследване на напрегнатото и деформирано състояние на избран фрагмент от ОПШ е разработен 3D модел по МКЕ, с черупкови крайни елементи с по 6 степени на свобода във всеки възел, представен на фиг. 5.



Фиг. 5. Модел по МКЕ на фрагмент от ОПШ на Виадукт 2

Проведено е изчисление за определяне на максималните нормални напрежения в надлъжното ребро от осовите сили, дефинирани в ТМ1 (условно означени с LM1-TS). Изчислителната проверка за якост има вида:

$$\eta_{1,LM1-TS} = \frac{\sigma_{\max,LM1-TS}}{f_{yd}} = \frac{325,32 \text{ MPa}}{313,00 \text{ MPa}} = 1,04 > 1. \quad (\text{F.1})$$

Проверката за якост не е удовлетворена за разглеждания участък, като дефицитът от носеща способност ще се увеличи при отчитане на нормалните напрежения от равномерно разпределената компонента от полезен товар (LM1-UDL), както и напреженията от собствено тегло и от глобална работа на връхната конструкция.

Ще бъде разгледан вариант на възникване на полуелиптична уморна пукнатина със съответна конфигурация и размери $a/2c$ (a – размер на пукнатината в дълбочина на дебелината на пътната плоча; $2c$ – размер по долния контур на стоманената плоча от страната на заваръчния шев) в стоманената плоча при детайла на присъединяване на надлъжното ребро чрез заваръчен шев – фиг. 6. Изследвана е пукнатиноустойчивостта при различни етапи от развитие на пукнатината и приложен товар 0,60. {LM1-TS}.

Коефициентът на интензивност на напреженията (КИН) се определя с израза [6]:

$$K_I(a, c, \phi) = (\sigma_m + H\sigma_b) \sqrt{\frac{\pi a}{Q}} F\left(\frac{a}{t}, \frac{a}{c}, \frac{c}{W}, \phi\right), \quad (\text{F.2})$$

където σ_m са мембранни нормални напрежения;

σ_b – нормални напрежения от огъване;

$$Q = 1 + 1,464 \left(\frac{a}{c}\right)^{1,65};$$

$$F = \left[M_1 + M_2 \left(\frac{a}{t} \right)^2 + M_3 \left(\frac{a}{t} \right)^4 \right] f_\phi f_w g ;$$

$$M_1 = 1,13 - 0,09 \left(\frac{a}{c} \right) ;$$

$$M_2 = -0,54 + \frac{0,89}{0,2 + \frac{a}{c}} ;$$

$$M_3 = 0,5 - \frac{1}{0,65 + \frac{a}{c}} + 14 \left(1 - \frac{a}{c} \right)^{24} ;$$

$$f_\phi = \left[\left(\frac{a}{c} \right)^2 \cos^2 \phi + \sin^2 \phi \right]^{0,25} ;$$

$$f_w = \left[\sec \left(\frac{\pi c}{2W} \sqrt{\frac{a}{t}} \right) \right]^{-0,5} ;$$

$$g = 1 + \left[0,1 + 0,35 \left(\frac{a}{t} \right)^2 \right] (1 - \sin \phi)^2 ;$$

$$H = H_1 + (H_2 - H_1) (\sin \phi)^P ;$$

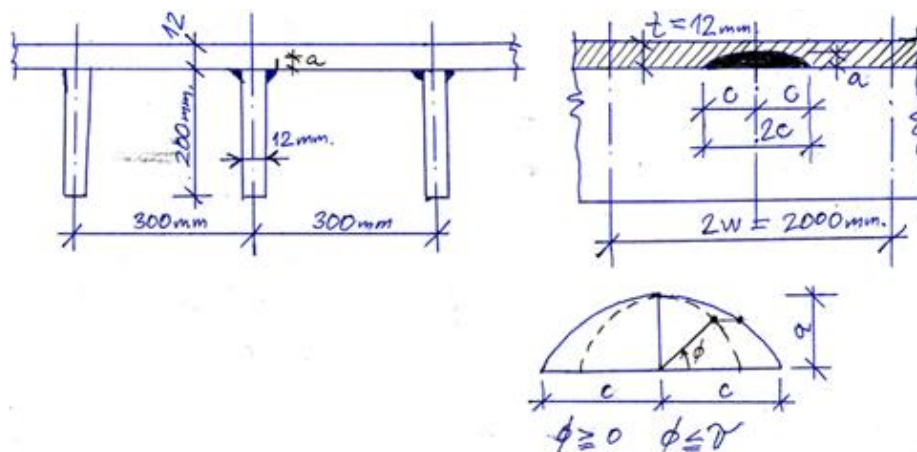
$$P = 0,2 + \frac{a}{c} + 0,6 \left(\frac{a}{t} \right) ;$$

$$H_1 = 1 - 0,34 \frac{a}{t} - 0,11 \frac{a}{c} \left(\frac{a}{t} \right) ;$$

$$H_2 = 1 + G_1 \left(\frac{a}{t} \right) + G_2 \left(\frac{a}{t} \right)^2 ;$$

$$G_1 = -1,22 - 0,12 \left(\frac{a}{c} \right) ;$$

$$G_2 = 0,55 - 1,05 \left(\frac{a}{c} \right)^{0,75} + 0,47 \left(\frac{a}{c} \right)^{1,50} .$$



Фиг. 6. Фрагмент от ОПШ с полуелиптична пукнатина

Изследването за крехко разрушение е проведено за товар $0,6 \times [\text{TS1-LM1}]$. Реализирани са серия от решения при вариране на размера на пукнатината a в границите от 1 до 12 mm и съотношението $k_{ac} = a/c$ в границите от 0,025 до 0,200, както и за стойности на $\phi = 0, \frac{\pi}{16}, \frac{\pi}{8}, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2}, \pi$.

Според корелационните зависимости, представени в [7], е определена минималната критична стойност на КИН (коефициент на интензивност на напреженията, SIF – stress intensity factor) – K_{ICmin} , надхвърлянето на която води до изместване на енергичното равновесие в посока на нарастване на пукнатината – крехко разрушение.

$$K_{IC} = \min \{ K_{mat0_2}, K_{mat_UB}, K_{mat_LB} \} = 69,58 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}, \quad (\text{F.3})$$

където

$$K_{mat_LB} = \left[\left(12\sqrt{A_{CVN}} - 20 \right) \left(\frac{25}{t} \right)^{0,25} \right] + 20 = 70,884 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}};$$

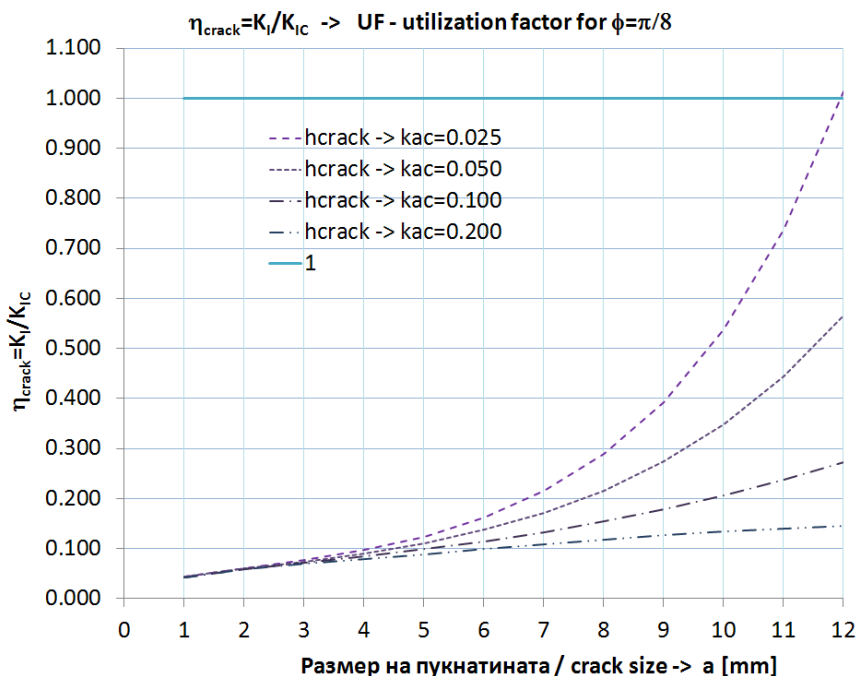
$$K_{mat_UB} = \left[0,54A_{CVN} + 55 \right] = 69,58 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}};$$

$$K_{mat0_2} = \sqrt{\frac{E_a \left(0,53A_{CVN}^{1,28} \right) \cdot 0,2^{0,133A_{CVN}^{0,256}}}{1000(1-\nu^2)}} = 71,077 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}.$$

Проверката за пукнатиноустойчивост се извършва по формулата:

$$\eta_{crack} = \frac{K_I(a, c, \phi)}{K_{IC}} \leq 1. \quad (\text{F.4})$$

На фиг. 7 е представена графика на η_{crack} при различни размери и конфигурации на възникнала полуелиптична пукнатина за неблагоприятна стойност на ъгъла $\phi = \pi/8$, дефиниращ съответна точка от фронта на пукнатината. Очаквано нарастването на $k_{ac} = a/c$ води до по-благоприятни резултати, като от изследваните ситуации проверката за крехко разрушение не е удовлетворена само за $k_{ac} = 0,025$. Максималната стойност на $\eta_{crack} = 1,013$ се достига при $k_{ac} = 0,025$ и $a = 12$ mm. В заключение, от изследването на пукнатиноустойчивостта с модел на полуелиптична пукнатина резултатите са задоволителни.



Фиг. 7. Криви на η_{crack} във функция на a

3. Заключение

Изследваната стоманена връхна конструкция е в задоволително общо състояние предвид 35 годишната експлоатация към момента. Регистрирани са детайли, които според съвременните норми и концепции са неприемливи, както и локални зони с по-сериозни корозионни повреди.

В локални зони носещата способност на надлъжните ребра в еластичен стадий не е удовлетворена за товарен модел 1 (LM1-TS, [4]). Определени участъци от ОПП са с високи нива на нормалните напрежения от локална работа, което води до заключението, че след сумиране с нормалните напрежения от глобална работа е възможно да се достигне до ситуация на недостатъчна носеща способност в съответствие със съвременните изисквания на БДС EN 1991-2 и БДС EN 1993-1-1, БДС 1993-2.

Проведено е изследване на пукнатиноустойчивостта на пътната стоманена плоча при приемане за възникнала полуелиптична уморна пукнатина с различни съотношения на размерите, като най-бщо резултатите от проведените анализи показват задоволително поведение. Изследвания по методите на ЛЕМР могат да дадат обща информация относно вероятността от достигане на крехко разрушение при дефекти с определена конфигурация и размери, които след съответно задълбочаване и разширяване могат да се използват за планиране на дейности по поддръжката на стоманени мостове с ОПП.

Изследваният виадукт с ОПП е възможно да бъде приведен към съвременните нормативни изисквания след адекватни конструктивни мероприятия за удължаване на експлоатационния срок и реализиране на местно усилване в определени локални зони от ОПП.

Благодарности

Авторите изказват благодарност на:

- „Автомагистрали” ЕАД за осигуряване на достъп и логистична подкрепа за извършване на оглед на Виадукт 2.
- ЦНИП при УАСГ за финансиране на научно-изследователска тема [8] по договор БН-220/19.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Георгиев, Л., Иванов, Ст.* Стоманени ортотропни пътни плочи за мостове – експлоатационни проблеми. // Годишник на университета по архитектура, строителство и геодезия, София, том 51, брой 4, www.uacg.bg, 2018.

2. *F. B. P. de Jong.* Overview Fatigue Phenomenon in Orthotropic Bridge Decks In The Netherlands. 2004. Orthotropic Bridge Conference, Sacramento, California, USA – August 25-27, 2004.

3. *Стайков, П.* Стоманени мостови конструкции по АМ „Хемус” – „Виадукт 1” и „Виадукт 2”. // Строителство, бр. 12/1985.

4. Еврокод 1: Въздействия върху строителните конструкции. Част 2: Подвижни натоварвания от трафик върху мостове – БДС EN 1991-2:2006.

5. Еврокод 3: Проектиране на стоманени конструкции. Част 2: Стоманени мостове, БДС EN 1993-2:2007.

6. *Newman, J. C., I. S. Raju.* Stress-Intensity Factor Equations For Cracks In Three-Dimensional Finite Bodies Subjected To Tension And Bending Loads. NASA Technical Memorandum 85793, 1984.

7. Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures, BS 7910:2013+A1:2015, ISBN 978 0 580 89564 7.

8. *Георгиев, Л. и кол.* Изследване на пътни стоманени връхни мостови конструкции с ортотропна пътна плоча в Република България. Научен отчет по дог. БН-220/19, ЦНИП при УАСГ, 2019.

INVESTIGATION OF AN ORTHOTROPIC STEEL DECK OF A ROAD BRIDGE IN THE REPUBLIC OF BULGARIA

L. Georgiev¹, St. Ivanov²

Keywords: steel bridges, OSD, condition, fracture assessment, load bearing capacity

ABSTRACT

Steel bridges with OSD are used in the range of large spans for girder bridges because they can ensure the corresponding load bearing capacity minimizing the self-weight of the superstructure. A steel bridge with an OSD continuous three span 100+162+100 m box girder superstructure along the Hemus Highway is presented in the paper. The condition of the superstructure and the correspondence of the structural details with the present concepts and design requirements are analyzed. An investigation for brittle fracture in the critical detail of the connection of the steel plate and the open type longitudinal rib in the OSD is performed. Results are analyzed and conclusions for the overall condition of the bridge superstructure are discussed.

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

² Stoyan Ivanov, Chief Assistant Prof. Dr. Eng., Dept. "Steel, Timber and Plastic Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: denkov_fce@uacg.bg