



*Получена: 07.05.2021 г.*

*Приета: 31.05.2021 г.*

## КОНСТРУКТИВНО СЪСТОЯНИЕ НА МОСТА „ВЪРТОПО“ – АНАЛИЗ И ПРЕПОРЪКИ

Н. Рангелов<sup>1</sup>

*Ключови думи: стоманен двугредов кутиен мост*

### РЕЗЮМЕ

В доклада се представят в обобщен вид резултатите от проведено от автора изследване на действителното техническо състояние на моста „Въртопо“, свързващ кварталите Младост I и Мусагеница в София, по възлагане на „Метрополитен“ ЕАД. Извършена е оценка на експлоатационната надеждност на съоръжението, в това число и на второстепенните окомплектовъчни части. Представен е анализ на уникалната за България конструктивна форма – двугредов кутиен мост, както и системата на „разделно“ лагеруване. Анализирани са различните аспекти на състоянието на съоръжението и са приоретизирани препоръки за ремонтни работи.

Докладът се посвещава на светлата памет на проф. Петър Стайков (1939 – 2018), главен проектант на съоръжението.

### 1. Въведение

Обект на анализ е съществуващият стоманен мост „Въртопо“, свързващ кварталите „Мусагеница“ и „Младост I“ над парка „Въртопо“, разположен в долината на едностранната рекичка в София. Собственик на съоръжението е Столична община, а неговата експлоатация се осъществява от общинското дружество „Метрополитен“ ЕАД. В статията е представено обобщение на изготвена от автора техническа експертиза относно действителното техническо състояние на съоръжението. Направена е оценка на неговата експлоатационна надеждност, в това число и на второстепенните окомплектовъчни части, и

---

<sup>1</sup> Николай Рангелов, проф. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: rangelov\_fce@uacg.bg

като краен резултат са формулирани препоръки за планиране на частични ремонтни работи. Освен непосредствени огледи при посещенията на съоръжението, е използвана и известна на автора информация от дългогодишната му съвместна работа с главния проектант на моста проф. Петър Стайков (1939 – 2018), и по-конкретно участието на автора в разработването на проект за пробно натоварване на съоръжението при въвеждането му в експлоатация през 1999 г.

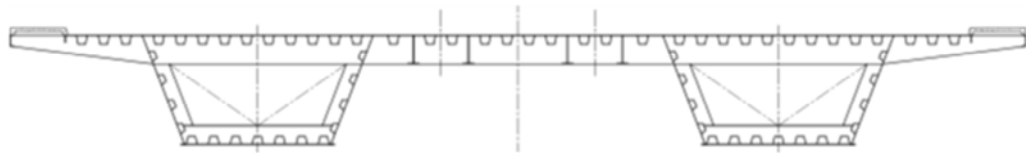
## 2. Конструкция на моста

### 2.1. Общи данни

Мостът „Въртопо“ е с непрекъсната многоотворна изцяло стоманена връхна конструкция с ортотропна пътна плоча. Главен проектант на конструкцията е проф. Петър Стайков, дългогодишен водещ преподавател по стоманени и комбинирани мостове в катедра „Метални, дървени и пластмасови конструкции“ на УАСГ. Мостът е проектиран с две пътни платна с по две ленти за движение и тротоари от двете страни на всяко платно. Първоначално в участъка между двете платна е предвидено трасе с два коловоза ширококорелсов трамваен път. Мостът е строен в края на 1980-те и началото на 1990-те години на миналия век. Монтажът е осъществен чрез технологията „надлъжно потаково избуत्वане“ от устой Мусагеница нагоре към Младост, като са използвани и временни междинни опори. След известно прекъсване поради финансови затруднения, в края на 90-те мостът е довършен и през 1999 г. е проведено изпитване с пробно натоварване, след което е въведен в експлоатация, първоначално само за пътен трафик. Междувременно се взема решение за трансформиране на трамвайното трасе в трасе на метролинии М1 и М2. За да се компенсира увеличеното натоварване, вътрешните тротоари на практика са премахнати, а крайните са модифицирани. Така от 2009 година съоръжението се експлоатира при смесено движение.

### 2.2. Описание и анализ на конструкцията

Стоманената връхна конструкция на моста е композирана от две главни кутиени греди с височина на стeблата 2800 mm, обединени с пътна скара от напречни и надлъжни греди между тях, която носи двата жп коловоза. Напречните греди са разположени през 3,0 m и са с големи конзолни части. Цялата конструкция има обща ортотропна плоча с трапецовидни коритообразни надлъжни ребра, дъната и стeблата на кутиените греди също са конструирани като ортотропни (фиг. 1).



Фиг. 1. Напречен разрез на стоманената връхна конструкция на моста

Връхната конструкция е непрекъсната с отвори  $48 + 3 \times 57 + 48 = 267$  m. Междинните опори са реализирани чрез двуставни стоманени тръбни колони, запълнени с бетон (фиг. 2), което осигурява интересна и ефективна статическа схема: за вертикални товари,

съответно за огъване и срязване, главните греди са непрекъснати, но за усукване кутиените главни греди работят като едноотворни (на общия отвор 267 m), тъй като са подпирани срещу усукване само при двата устоя. Това позволява облекчено решение на междинните опори и минимална визуална и физическа интервенция върху пространството на парка под моста.



**Фиг. 2.** Поглед на моста отдолу

Поради затворения контур на напречното сечение кутиените греди имат много голяма коравина и носимоспособност на усукване. При този мост тя се използва особено ефективно, тъй като напречните греди са благоприятно запънати в кутиените главни греди. На практика товарите от метроколовозите се поемат от главните греди чрез огъване, срязване и усукване. За да се намали ефектът на дисторсията на напречното сечение при работата му на усукване, диафрагми са конструирани при всяка напречна греда (фиг. 3).



**Фиг. 3.** Изглед от вътрешността на моста – корави прътови диафрагми

Стоманената връхна конструкция е изготвена от нисколегирана мангано-ниобиева конструкционна стомана 09Г2Б-М, българско производство, разработена и произвеждана и във вариант „М“ за мостове. Тази стомана е с много ниско въглеродно съдържание (0,09%), с фина дребнозърнеста структура благодарение на съдържанието на Mn (над 2%) и Nb, поради което има повишени якостни характеристики (съизмерима по граница на провлачане с S355, като малко ѝ отстъпва по якост на опън), при отлична дуктилност и ударна жилавост. Счита се, че тази стомана във варианта „мостова“ е и с повишена корозионна устойчивост. Тя е отлично заваряема. Интересно е да се отбележи, че цялата връхна конструкция на моста е изцяло заварена, в това число и всички монтажни снаждания, което е благоприятно за поддържането.

### 2.3. Система на лагеруване

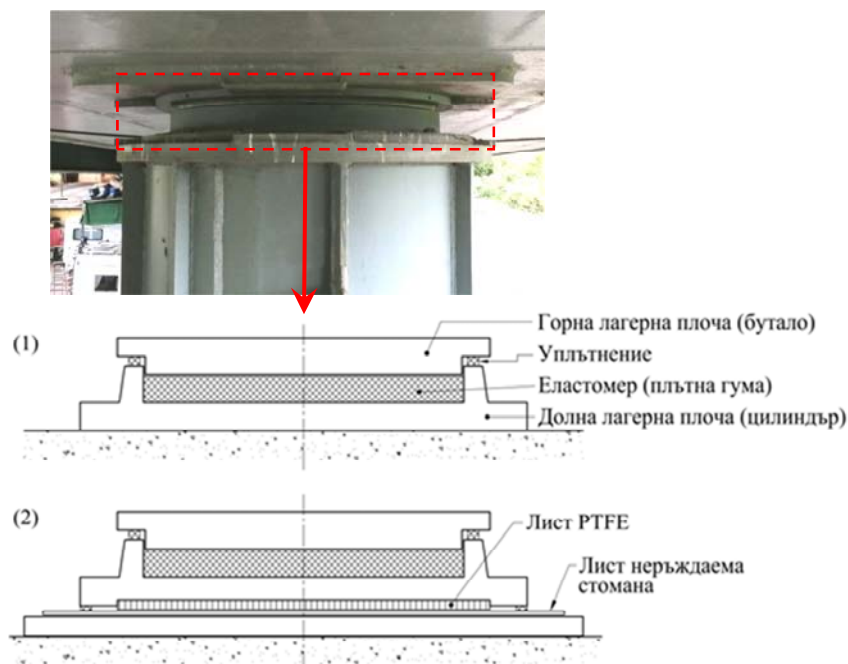
Лагерите са ключови елементи на конструкцията на всеки мост. Освен статическите функции да предават опорните реакции от връхната конструкция на долното строение, те имат и важни кинематически функции, свързани с проектните лагерни движения и осигуряване на проектната статическа схема. Интересна особеност на „Въртопо“ е в това, че е приложена система на „разделно лагеруване“. Всички лагери на моста, независимо дали неподвижни или подвижни (устой Младост) предават само вертикални товари. Напречните хоризонтални товари се предават при двата устоя чрез отделни стоманени устройства в средата, захванати към мощни напречни греди (фиг. 4). В надлъжно направление неподвижните опори са приети при устой Мусагеница, но реално неподвижните лагери там не поемат надлъжни сили, защото са конструирани буфери към устоя, които уравнивяват теглото на моста по наклона. Така сили в посока Младост – Мусагеница се предават на устоя чрез буферите, а в обратна посока се поемат от теглото на връхната конструкция.



Фиг. 4. Устройство за предаване на хоризонталните напречни опорни реакции

При така възприетата система на разделно лагеруване всички лагери на моста, освен двата на устой Младост, са еднакви. Те са неподвижни сферично-ставни еластомерни лагери гърнета. Еластомерът (неопрен) е вулканизиран в цилиндъра (гърнето). Неговата функция е да осигури завъртането в лагера за сметка на смачкване на гумата. Тъй като цилиндърът ограничава напречните деформации на еластомера, не се налага вграждане на армиращи стоманени листове.

Двата подвижни лагера на устой Младост са на практика същите, като единствено са добавени хлъзгателни повърхнини PTFE (политетрафлуоретилен) и неръждаема полирана стомана. Така тези два лагера са равнинно (всестранно) подвижни сферично-ставни. На следващата фиг. 5 е показано устройството на двата вида лагери.



Фиг. 5. Изглед и устройство на (1) неподвижен и (2) подвижен лагер на моста „Въртопо“

Еластомерните лагери гърнета са значително по-дълготрайни от по-популярните армирани (слоести) еластомерни лагери (според някои автори до два пъти). Причините за това са две: първо, еластомерът е защитен от директни атмосферни въздействия, и второ, той не е подложен на интензивни ъглови деформации при срязване. Поддържането на такива лагери се свежда до наблюдаване, периодично почистване и при необходимост подмяна на напукани уплътнители.

## 2.4. Дилатационни устройства

Мостът има две дилатационни фуги – „малка“ при неподвижните лагери на устой Мусагеница и „голяма“ при устой Младост, където са подвижните лагери.

„Малката“ фуга е предназначена за малки дилатации, дължащи се само на завъртането на опорното сечение при неподвижните опори. Тя е със сравнително просто устройство: два окантвачи профила към стоманената конструкция и към устоя, и захванат между тях гумен (неопренов) профил, който се деформира според размера на отваряне на фугата и не позволява проникване на вода надолу.

„Голямата“ фуга при устой Младост по груба оценка трябва да позволява проектни дилатации от порядъка на  $\pm 150$  mm. Фугата е с хоризонтална ножично-лостова механична система, която движи пропорционално на преместването напречните стоманени профили и по този начин осигурява равномерно разпределяне на дилатацията между

всички гумени профили. Напречните стоманени профили стъпват върху къси надлъжни греди и се хлъзгат по горните им пояси. Тези къси надлъжни греди в единия си край са с подвижни хлъзгащи се опори.

### 3. Описание и анализ на състоянието на съоръжението

#### 3.1. Стоманена връхна конструкция (корозия)

Състоянието на стоманената конструкция по отношение на корозията като цяло е добро. Изглежда, че е използвана качествена и дълготрайна антикорозионна защита, поради което се забелязва корозия само в участъци, изложени на преки атмосферни въздействия и най-вече течове. Значителна корозия се наблюдава в конзолните части на стоманената конструкция. Очевидно причината за това са течовете от тротоарните панели, плюс това, че все пак са по-изложени на атмосферни въздействия при дъжд плюс вятър. Корозията все още не може да се окачестви като повсеместна, по-скоро тя се е развила там, където са най-интензивните течове от тротоарите и оттам, където се е стичала водата (фиг. 6).



Фиг. 6. Корозия на връхната конструкция – общ вид и локална интензивна корозия



Фиг. 7. Конзолна част и интензивна корозия на крайното плоско надлъжно ребро



Особено интензивна корозия се наблюдава на места по долните пояси на конзолите, малко по-интензивна такава се наблюдава и по горната част на конзолно издадените участъци от дънѝта на кутиените главни греди. На фиг. 6 отдясно се вижда, че по долния пояс на конзолата са се образували дори корозионни язви. Това е неприемливо, защото след нарастване тези язви пораждат и концентрация на напреженията, която е значим фактор за проява на умора на стоманата.

Като се изключат долните пояси на конзолите, останалата стоманена конструкция и в конзолните участъци е в много добро състояние (фиг. 7). Прави впечатление интензивната корозия на крайното плоско ребро (очевидно добавено по-късно при модификацията на тротоарите), в контраст с отличното състояние на останалите надлъжни ребра. В този смисъл фиг. 7 е ярко доказателство за значението на качествената антикорозионна защита.

Почти повсеместна и доста интензивна корозия на стоманената конструкция се наблюдава при крайните опорни диафрагми и обединяващата напречна греда в участъка между връхната конструкция и гардбаластовата стена на устой Младост. Причина за това е очевидно отдавна компрометираната фуга, позволяваща обилни течове на дъждовна вода и на различни агресивни агенти, използвани против замръзване на пътното платно през зимата. В значителна степен са корозирали и дънѝта на главните греди (фиг. 8).



**Фиг. 8. Интензивна корозия на главна греда при устой Младост**

Вътрешността на кутиените греди, както се очаква, се оказва в добро състояние, защитена от атмосферните въздействия.

### **3.2. Лагери**

Лагерите гърнета, използвани при „Въртопо“, са трайни и не много чувствителни по отношение на поддръжката. Всички огледани неподвижни лагери (които са достъпни) бяха установени в много добро състояние, без каквито и да било следи от влошено функциониране. Например показаният на фиг. 5 „горен“ лагер е в отлично състояние.



**Фиг. 9. Лагери в долната част на двуставните колони от междинните опори**

На фиг. 9 са показани долни лагери при фундаментите. Лагерът на лявата снимка е в отлично състояние, даже и уплътнението му изглежда цяло, макар и вероятно загубило еластичност. Наблюдава се лека безпроблемна корозия. На дясната снимка се вижда аналогична ситуация. Пукнатината е в полимерен ринг, който вероятно е отлят след монтажа да предпазва от корозионни агенти подливката под долната лагерна плоча. Изглежда, че това решение се е оказало неудачно.

Категорично недопустима ситуация се наблюдава от страната на Мусагеница, където между устоя и първата междинна опора е разположен автосервиз. За да се изравни теренът, е изпълнен насип, при което са заринати долните части на двете колони и лагерите. Не е известно какво е състоянието под земята, вероятно са се случвали значителни течове и оводняване при лагерите. Разположението на предприятие там силно възпрепятства достъпа до неподвижните лагери и опорния участък на моста. Но преди всичко функционирането на автосервиз там е изключително опасно. Наличието на лесно запалими материали и течности е предпоставка за голяма пожарна опасност, а евентуален пожар със сигурност ще доведе до аварийно състояние и дори до разрушаване на стоманената конструкция.

Подвижните лагери при устой Младост са лесно достъпни за оглед. Поради течовете от компрометираната „голяма“ fuga там корозията е най-интензивна, в това число и на металните части на лагерите. Като се изключи корозията обаче, огледът показва, че подвижните лагери функционират нормално. Тъй като огледът беше направен в топло време, мостът беше удължен вследствие на температурните деформации и съответно лагерите – преместени в посока Младост. На фиг. 10 се виждат хлъзгателните повърхнини (това би трябвало да е листът неръждаема стомана) без видими следи на някакво задиране или други признаци за лошо функциониране. Аналогична картина се установява и при двата лагера. Забелязва се и междина между лагерното гърне и плочата отдолу, което е индикатор, че контактът се осъществява чрез тефлоновия лист (който за съжаление е недостъпен за инспекция).



**Фиг. 10. Функциониране на подвижните лагери**

Показаното на фиг. 10 състояние е след нарочно измиване на лагерите, тъй като първоначално хлъзгателните повърхнини бяха силно зацапани. Това се дължи и на една тяхна конструктивна особеност. Обикновено в техническата литература такива лагери са показани обратно на илюстрираното на фиг. 5, като хлъзгателната повърхнина е не отдолу, а отгоре над гърнето. Но приетото от проф. П. Стайков (който е проектант и на лагерите) „обърнато“ решение е по-благоприятно от конструктивна гледна точка, защото така преместванията на лагера не поражат ексцентрицитети на опорната реакция спрямо опорните диафрагми на двете кутиени греди.



### 3.3. Дилатационни фуги

Най-лошо е състоянието на „голямата“ фуга при устой Младост. То може да се обобщи така: (1) ножично-лостовият механизъм е блокирал и не функционира, (2) има разрушени части на този механизъм, (3) повсеместна интензивна корозия на всички стоманени елементи и части и (4) компрометирани неопренови профили.



**Фиг. 11. Състояние на дилатационната фуга при устой Младост: интензивна корозия, счупени части на лостово-ножичния механизъм и преминаваща светлина**

Доказателство, че фугата не функционира, е показано на фиг. 11. Лявата снимка е направена при умерена температура (далеч под максималната) и фугата изглежда почти изцяло затворена, с изчерпан ход. Дясната снимка е направена при доста по-ниска температура. Тогава мостът е бил скъсен, но е видно, че ножично-лостовият механизъм е останал затворен, а фугата се е отворила при първия, очевидно скъсан неопренов профил откъм устоя. Именно блокирането на лостовия механизъм, вероятно заради интензивна корозия или поради конструктивен проблем, е довело до големи усилия и напрежения, които са причинили буквално счупване на показания елемент в отслабеното сечение при отвора за болта.

„Малката“ фуга при устой Мусагеница не е достъпна за оглед. Най-вероятно ситуацията там е подобна. При тази фуга няма подвижен лостов механизъм, така че вероятният проблем е само корозия и евентуално скъсан неопренов профил.

### 3.4. Тротоари, парапети, еластична ограда

Тротоарните стоманобетонни коритообразни панели са с компрометирана хидроизолационна обмазка, макар все още да не се забелязва корозия на бетона. Фугите между тях не са обработени и дъждовната вода тече директно надолу. Неудачно е решен и детайлът при осветителните стълбове, който също предполага директни течове към стоманената конструкция отдолу.

Огледите безспорно показват, че доминиращата причина за наблюдаваната интензивна корозия на стоманената връхна конструкция в конзолните участъци са именно течовете от тротоарите. Ремонт на съществуващото положение чрез нанасяне на нова хидроизолация и обработка на фугите, колкото и качествено да се изпълни, би решило проблема само временно, тъй като самото решение е неуспешно. Единствено надеждно решение за спиране на течовете изглежда е подмяна на тротоарния участък с такъв с непрекъсната стоманена ортотропна плоча.

#### **4. Заключителни изводи и препоръки**

В доклада се представят в обобщен вид резултатите от проведено от автора изследване на действителното техническо състояние на моста „Въртопо“, свързващ кварталите Младост 1 и Мусагеница в София. Резултатите от проведените огледи и направения анализ могат да се обобщят така:

На този етап състоянието на съоръжението не води пряко до съмнения относно неговата конструктивна надеждност и следователно неговата експлоатация може да продължи. Но Столична община трябва да предприеме незабавни действия по отстраняване на автосервиза, разположен под моста до устой Мусагеница, защото той създава голяма пожарна опасност. По същата причина трябва да се вземат мерки за почистване на растителността под и около моста. Трябва да се възстанови конфигурацията на терена под моста и да се открият недопустимо засипаните лагери и колони на първата вътрешна опора откъм Мусагеница.

Констатираните проблеми ще продължат да се задълбочават, и ако не се вземат своевременни мерки, могат да се трансформират във фактори, имащи пряко отношение към сигурността. Ремонтните работи трябва да започнат с кардинално решение за спиране на течовете от тротоарите. Препоръчва се замяна на съществуващото положение с нови ортотропни тротоари и съответно ново конструктивно решение на базите на осветителните стълбове и на еластичната ограда. Необходимо е репарирание на антикорозионната защита, където това се налага, особено в конзолните участъци.

Необходима е рехабилитация на лагерите на съоръжението (почистване, антикорозионна защита, смяна на уплътненията). Необходимо е поне рехабилитация на „малката“ фуга при устой Мусагеница и пълна подмяна на нефункциониращата фуга при устой Младост. Препоръчва се в бъдеще да се установи система за редовно (ежегодно, пролетно) инспектиране и почистване на фугите, и периодична планова подмяна на неопреновите профили.

Където се налага, трябва да се ремонтират стоманобетонните елементи (подколоници и устои) и да се възстанови бетонното покритие.

Отлагането на ремонтните работи във времето ще доведе до непропорционално увеличаване на тяхната цена. За изпълнението на необходимите ремонтни работи е нужен предварително изготвен подробен проект, който да разработи решения на всички констатирани проблеми.

# STRUCTURAL CONDITION OF VARTOPO BRIDGE IN SOFIA: DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

N. Rangelov<sup>1</sup>

*Keywords: steel twin box girder bridge*

## ABSTRACT

The paper summarises the results from the survey carried out by the author on the actual technical condition of *Vartopo Bridge*, which connects two districts of Sofia, Mladost 1 and Musagenica. Assessment of the structural reliability of the bridge is performed, including for the secondary parts and equipment. The unique for Bulgaria structural form – steel twin box girder bridge – is discussed, as well as the bridge articulation which includes different bearings for vertical and for horizontal support reactions. Various aspects of the actual condition of the bridge are summarised and recommendations for reparation works are given and prioritised.

The paper is dedicated to the bright memory of late Prof. Petar Staykov (1939 – 2018), main structural designer of the bridge.

---

<sup>1</sup> Nikolay Rangelov, Prof. Dr. Eng., Dept. “Steel, Timber and Plastic Structures”, UACEG, 1 H. Smirnovski Blvd., Sofia 1046, e-mail: rangelov\_fce@uacg.bg