



Получена: 10.02.2017 г.

Приета: 21.04.2017 г.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТОМАНОБЕТОННИ ДЪГИ, УСИЛЕНИ ЧРЕЗ КОМПОЗИТНИ МАТЕРИАЛИ (CFRP) И СТОМАНЕН ОБТЕГАЧ

Е. Абдулахад¹, М. Трайкова², Й. Ценкова³

Ключови думи: възстановяване, усилване, стоманобетонна дъга, обтегач, CFRP

РЕЗЮМЕ

В стоманобетонните конструкции възникват различни повреди и дефекти. Прилагането на най-подходящия метод за отстраняването им обезателно изисква отчитането на специфичните особености на конструкцията. Статията е фокусирана върху усилването на стоманобетонни дъги с помощта на два различни метода – класическо решение с помощта на стоманен обтегач и съвременно решение с помощта на карбонов композитен материал (CFRP). Представени са опитната постановка и резултатите от проведено експериментално изследване в лабораторията на УАСГ. Въз основа на направения анализ са дадени основни изводи за предимствата и недостатъците на представените начини за усилване, както и някои общи препоръки за тяхното практическо прилагане.

1. Въведение

Дъговите конструкции са често срещан конструктивен елемент, поради факта че съчетават конструктивна и естетична функция. Употребата им за преодоляване на големи пространства започва още преди няколко хиляди години. Първите представители на

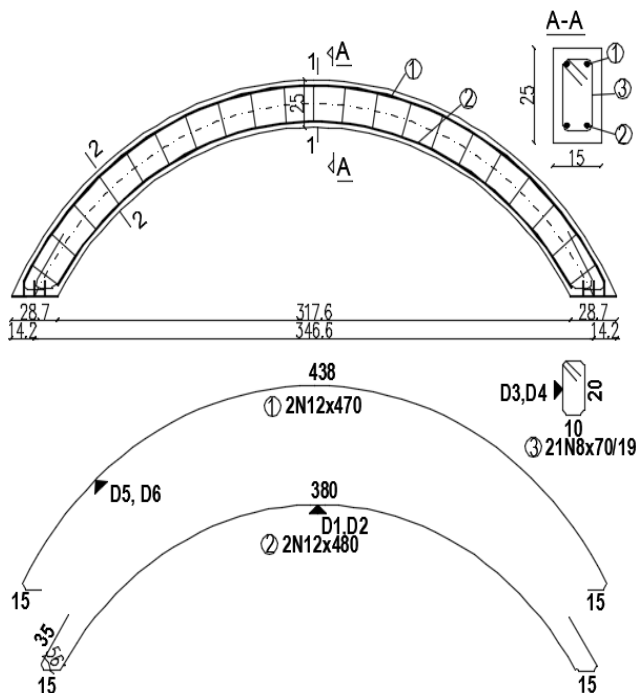
¹ Емад Абдулахад, доц. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: georgosing@gmail.com

² Марина Трайкова, проф. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: marina5261@abv.bg

³ Йолена Ценкова, инж., кат. „Организация и икономика на строителството“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: jolina_cenkova@abv.bg

арките са открити в подземни гробници в Месопотамия, те датират от 3000 г. пр. Хр. Широко приложение на арките е характерно и за строителството на египтяни, шумери и вавилонци. Римляните внедряват тази форма при строителството на мостове, пътища, акведукти и амфитеатри. И в последните години дъговите конструкции намират широко приложение като конструктивен елемент, в много сгради и съоръжения, поради тяхната икономичност, ефективност и впечатляващ външен вид. Пример затова са спортни и концертни сгради, промишлени сгради. Поради причини от различно естество в тези елементи могат да възникват конструктивни проблеми. За да бъдат запазени, се налага да се взимат навременни и адекватни мерки, които да осигурят конструктивната надеждност и сигурност на арките. Необходимостта от усилването и възстановяването на тези елементи е продиктувана от различни по естество причини като: преместване на опорите, промяна в статическата схема на елемента, промяна на товарните въздействия, загуба на носимоспособност на вложените материали, климатични въздействия, щети, причинени от бедствия, недобросъвестна експлоатация, лошо изпълнение или пък необходимостта дъговите елементи да съответстват на нови стандарти. За усилване на дъгови елементи успешно могат да се прилагат традиционните методи, като стоманобетонни кожуси, торкретирание и стоманени обтегачи. Специфичната криволинейна форма на дъгите предполага и различен подход при избор на най-удачен метод за усилването им, именно затова в тази статия са разгледани две от възможните решения за усилване на стоманобетонни дъгови елементи.

2. Експериментално изследване на методи за възстановяване на стоманобетонни дъги

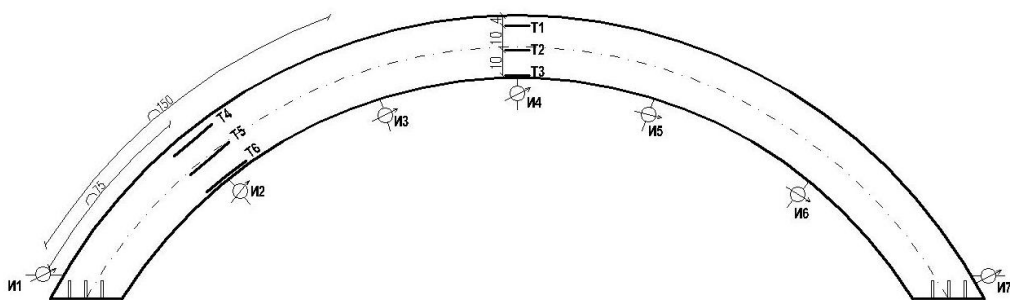


Фиг. 1. Армировъчен план и геометрични характеристики на елемента

Проведено е експериментално изследване, с което да се установят някои особености при криволинейните елементи. В опитното изследване са обособени три основни етапа. Първият етап е свързан с изследване на поведението на неусилени дъгови елементи до появата на признак на разрушение. Вторият етап е свързан с изследване на поведението на елемента със съдействието на стоманен обтегач с муфа с диаметър 16 mm, а третият разглежда поведението на усилен елемент с карбонови влакна композитен материал (CFRP).

За целта на експерименталното изследване са изработени два параболични опитни образеца с характеристиките, показани на фиг. 1. Натоварени на степени с концентрирана сила в средата на отвора. Приетата статическа схема е с две неподвижни опори. Използваният бетон е клас С25/30, а стоманата е клас В420.

За контрол на деформациите на елемента са поставени часовникови индикатори по схемата на фиг. 2 (И1 до И7), а относителните деформации в армировката и бетона се проследяват съответно чрез електросъпротивителни датчици (Д1 до Д7) и индуктивни датчици (Т1 до Т6).

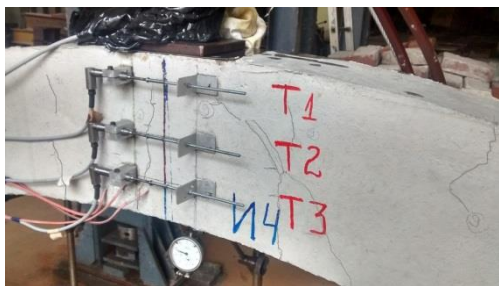


Фиг. 2. Разположение на използваните измерителни уреди

2.1. Първи етап – изпитване на неусилен елемент

Двата елемента са натоварвани на степени. Те показват сходно поведение по време на изпитването. Поради неидеалните опорни условия и при двата елемента се наблюдава преместване на опорите и то несиметрично.

Елемент (Д3) е натоварен до 80 kN, при този товар се отваря нормална пукнатина в средна зона с недопустими размери, съгласно Еврокод 2 (фиг. 3), за елемент Д4 това се случва при товар от 100 kN (фиг. 4). След появата на пукнатини с недопустими размери, дъговите елементи се нуждаят от възстановяване и усиляване.



Фиг. 3. Д3 – Пукнатини в средно сечение след натоварване до 80 kN



Фиг. 4. Д4 – Пукнатини в средно сечение след натоварване до 100 kN

2.2. Втори етап – възстановяване и усилване чрез стоманен обтегач

Възстановяването на елемента във втория етап се осъществява чрез стоманен обтегач с муфа с диаметър 16 mm. В обтегача е вкарано предварително опънно усилие (около 10% от носещата му способност), целта е да се затворят пукнатините в опънна зона, които са се отворили в първия етап от изпитването. Елементът отново е натоварен на степени. Д3 и Д4 са натоварени на степени, като максималният реализиран товар е 140 kN, а за Д4 е 160 kN. Влагането на обтегач при разглежданите дъгови елементи води до намаляване на преместванията на опорите, а също и до уеднаквяване на преместванията в двете опори. Деформациите в сечение 1-1 са намалени с 40 – 50%. В зоната около максималния огъващ момент, опъващ горни нишки (сечение 2-2) се появяват множество пукнатини при натоварване с обтегач (фиг. 5).



Фиг. 5. Новообразувани пукнатини в сечение 2-2

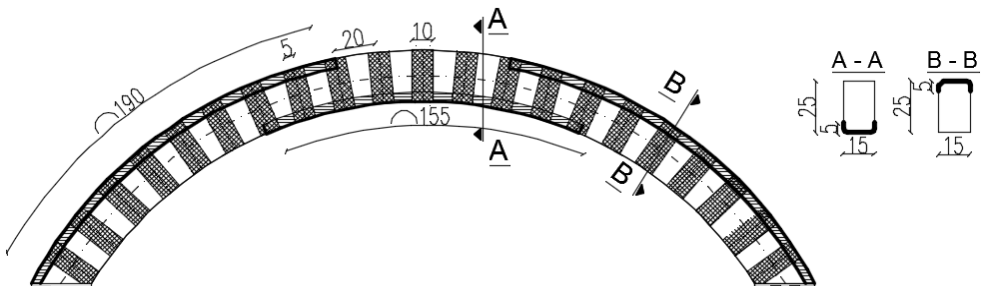


Фиг. 6. Новообразувани пукнатини в сечение 1-1

Забележка: В синьо са отбелязани пукнатини от етап 1

2.3. Трети етап – възстановяване и усилване чрез усилваща система от композитен материал

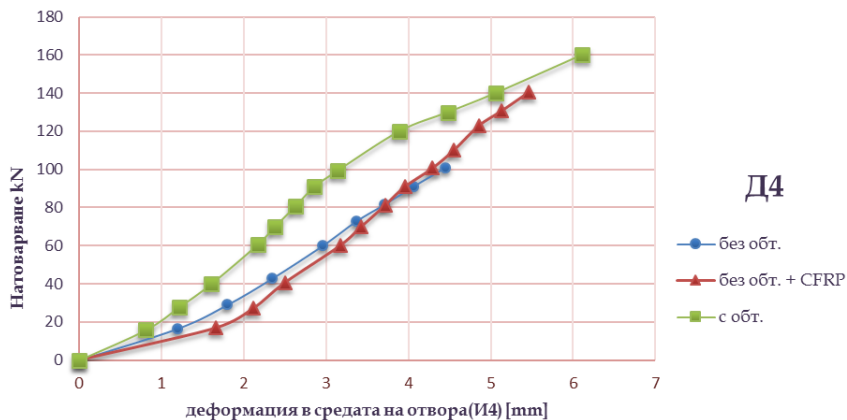
След приключване на изпитването от втория етап, стоманеният обтегач е премахнат, за да бъде осъществено усилването на стоманобетонния елемент чрез композитния материал. За експерименталното изследване е избрана усилваща система, която е композитен материал от епоксидна смола и еднопосочно армирана тъкан с въглеродни нишки. Приложената схема на усилване е в съответствие с моментовата диаграма на елемента. Надлъжно на елемента съответно от горната и долната страна са приложени ивици плат CFRP. Трябва да се вземе предвид факта, че в елемента действа, освен огъващия момент, и натискава сила натиск дискретен кожух CFRP стремена (фиг. 7).



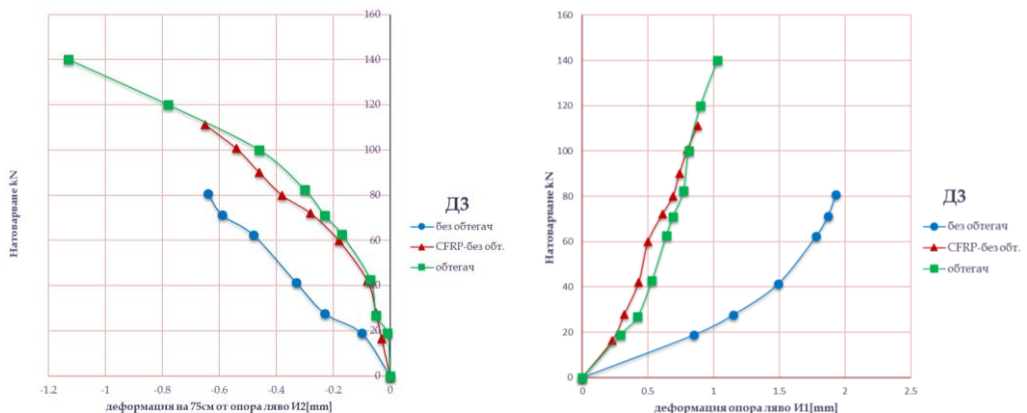
Фиг. 7. Схема за усилване на опитните образци

При усилване на стоманобетонните елементи е реализиран товар от 111 kN и 140 kN, съответно за Д3 и Д4. Деформациите на елемента в средна зона са по-големи от тези при неусилен елемент, за Д3 до около 70 kN, а за Д4 до около 90 kN, след този момент усилващата система се задейства и намалява деформациите. Деформациите в опорите също са намалени от приложената усилваща система, но остават несиметрични.

2.4. Съпоставка между неусилени елементи и различните методи за усилване

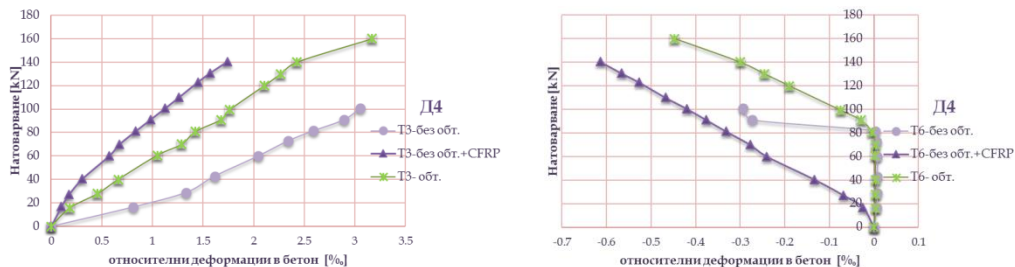


Фиг. 8. Сравнение на деформациите в средата преди и след усилване за елемент Д4



Фиг. 9. Сравнение на деформации

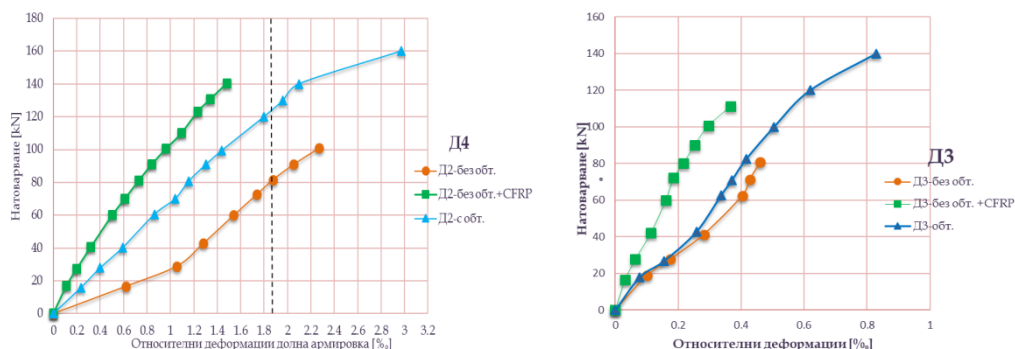
- а) сечение 2-2 за елемент Д3;
 б) преместване на опора за елемент Д3



Фиг. 10. Сравнение на относителните деформации в бетона в опънна зона

а) сечение 1-1 за елемент Д4;

б) сечение 2-2 за елемент Д4



Фиг. 11. Сравнение на относителните деформации в опънна армировка

а) долна армировка за сечение 1-1 за елемент Д4;

б) горна армировка за сечение 2-2 за елемент Д3

3. Изводи

- Усилващата система от CFRP успява да възстанови първоначалната носеща способност на дефектиралите елементи.
- Обтегачът в качеството му на усилваща система също успява да увеличи носещата способност на дефектиралите елементи.
- Прилагането и на двата вида усилваща система води до намаляване на преместванията на опорите. Предимството при обтегача е, че преместванията на опорите се уеднаквяват и елементът реагира симетрично.
- Деформациите в средно сечение на елемента с обтегач са с около 40% по-малки от тези при усилване с CFRP (фиг. 8).
- Напреженията в опънната (долна и горна) армировка са по-малки при усилване с CFRP в сравнение с усилването с обтегач (фиг. 11а и фиг. 11б), т.е. усилващият полимер разтоварва опънната армировка; Деформациите в бе-

тона в двете разглеждани сечения (1-1; 2-2) също потвърждават по-добър ефект на усилящата схема с карбонови нишки, спрямо усиляната с обтегач (фиг. 10а и фиг. 10б).

4. Заключение

Разгледаните в експерименталното изследване усилящи методи са лесно приложими за елементи с криволинейна форма. И двата метода успяват да възстановят първоначалната носеща способност на елементите и да я увеличат.

Стоманеният обтегач е удачно решение при неравномерно поддаване на опорите на елемента, както и за намаляване на деформациите в двете разгледани характерни сечения.

Усилящата система от композитни материали облекчава работата на стоманената армировка, както и на бетона. Тя е удачен метод за използване при корозия на армировката, провлачване на армировка или пукнатини в опънна зона на бетона.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка по договор Д-80/2016 е подкрепена финансово от Център за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Zhang, Xu, Wang, P. et al.* CFRP strengthening reinforced concrete arches: Strengthening methods and experimental studies. *Composite Structures* 131 (2015) 852–867.
2. *Трайкова, М., Чардакова, Т.* Избрани теми по избираема дисциплина „Диагностика, възстановяване и усиляне на сгради“.
3. *Спасов, Св.* Изследване на стоманобетонни греди с различни характерни повреди, усилен с външно залепени CFRP. Дисертационен труд, 2016.
4. *Димов, Д.* Обследване и изпитване на строителни конструкции и мостове. 2010.
5. *Русев, К.* Стоманобетон НПБСК-ЕС2. 2010.

AN EXPERIMENTAL STUDY ON RC ARCHES STRENGTHENED BY USING COMPOSITE MATERIALS (CFRP) AND BY TIE-RODS

E. Abdulahad¹, M. Traykova², J. Tsenkova³

Keywords: rehabilitations, strengthening, RC arch, tie-rods, CFRP

ABSTRACT

Many damages can occur in reinforced concrete elements. The correct method for strengthening requires to take into account the specific features of the structure. The paper is focused on 2 methods for strengthening of reinforced concrete arches – classic method with tie rod and a second variant – with contemporary carbon fiber reinforced polymers (CFRP). The experimental investigation in the laboratory of UACEG is presented. Based on the analysis some general conclusions for the advantages and the disadvantages of the presented methods for strengthening and some general recommendations for their application are given.

¹ Emad Abdulahad, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: georgosing@gmail.com

² Marina Traykova, Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: marina5261@abv.bg

³ Jolina Tsenkova, Eng., Dept. “Construction Management and Economics”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: jolina_cenkova@abv.bg