



Получена: 31.12.2022 г.

Приета: 08.02.2023 г.

ПРОУЧВАНИЯ НА СГРАДИ ОТ НЕДВИЖИМОТО КУЛТУРНО НАСЛЕДСТВО С МЕТАЛНИ ОБТЕГАЧИ

В. Танев¹, Б. Белев², Е. Йорданов³, Е. Казакова⁴, Хр. Симеонова⁵

Ключови думи: метални обтегачи, недвижимо културно наследство, обследване

РЕЗЮМЕ

Метални обтегачи са използвани традиционно при строителството и реставрацията на много исторически обекти. Тяхното действително напрегнато състояние е важен индикатор за общото конструктивно състояние на сградите.

В рамките на научноизследователски проект към ЦНИП при УАСГ е проведено проучване на по-значимите сгради с метални обтегачи от недвижимо културно наследство (НКН) в България (предимно църкви и манастири). Метални обтегачи от няколко избрани репрезентативни сгради ще бъдат използвани за първоначално изпитване и практическо прилагане на разработваната по проекта методика за определяне на опънните усилия в тях чрез безразрушителни динамични изпитвания.

Представени са и резултатите от обследването на място на няколко исторически обекта в Северна и Южна България, които дават важна информация за прилаганите напречни сечения на обтегачите и техните конструктивни особености.

¹ Вълчо Танев, доц. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: Tanev_fce@uacg.bg

² Борислав Белев, проф. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: belev_fce@uacg.bg

³ Емил Йорданов, доц. д-р арх., кат. „История и теория на архитектурата“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: emj_far@uacg.bg

⁴ Ели Казакова, дипломант, кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София

⁵ Христина Симеонова, дипломант, кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София

1. Въведение

Метални обтегачи се използват в строителната практика от векове. Те са основен компонент в средновековните зидани конструкции с дъги, сводове и куполи, но обтегачи се прилагат и в съвременните сгради от дървесина, стоманобетон и стомана. Конструктивните им функции са основно свързани с уравновесяване на разпорните реакции от вертикални товари в дъги, сводове и куполи, както и с поддържане на пространствения интегритет на конструктивната система. В някои исторически сгради те са използвани само за временно укрепване на конструкцията по време на строителството, а в други са добавяни по-късно, при тяхното възстановяване и усиление. Освен като видими обтегачи, метални пръти са използвани и като скрити усилващи и закоравяващи елементи в зидани стени и подови конструкции.

У нас метални обтегачи се появяват в арките, сводовете и куполите на църковни и манастирски постройки. Те са основните (и почти единствени) обществени сгради, нуждаещи се от такъв тип покрития в началото на XIX век. Следи в архитектурата ни до края на XIV век няма, но не може и да се твърди обратното, поради липса на изцяло запазени обекти от това време. В някои мюсюлмански обекти у нас и изобщо на териториите на Османската империя се появяват в края на XV в. Една от теориите гласи, че заимстват от римската и византийската архитектура, което е индикация за по-ранната им приложимост. По-късно са доказани масови намеси за укрепване на сгради, респективно – допълнително вграждане на металните елементи при индикации за деструктивни процеси.

До тогава, а и по-късно, ролята им изпълняват дървени обтегачи, които по-удачно се свързват с вградените в зидовете дървени пояси (сантрачи). Така на практика се получава система от връзки, стабилизираща пространствено конструкцията. Дървените елементи могат да поемат не само опънни, но и натискови усилия и усукващи моменти. Металните елементи навлизат поради поевтиняване на производството им и разбирането за минимизиране на изязата им в интериора. Често обаче естетическият ефект е в полза на дървените, които се и стенописват, за разлика от металните, а проблем при металните се оказва въвеждането на още един строителен материал, противопоставящ якостно-механичните си характеристики на тези на камъка, керамиката и дървесината.

Действителното напрегнато състояние на металните обтегачи е важен индикатор за общото конструктивно състояние на сградите от недвижимото културно наследство (НКН) – такива със статут на юридическа защита или просто характерни исторически обекти. Коректното определяне на осовите усилия в обтегачите е в основата на правилния избор на подход за възстановяване, ремонти и усиление на тези сгради. Мониторингът на осовите усилия (опън) може да послужи за ранно откриване на неблагоприятни процеси като напукване на зидарията, слягания на земната основа и др. повреди. Определянето на усилията в обтегачите може да бъде затруднено от променливите размери на напречните им сечения, вариращите характеристики на материала, неясните опорни условия и повреди. Поради специфичния статут на сградите от НКН безразрушителните методи за изпитване са предпочитани при тяхното обследване.

2. Цели и обхват на проучванията

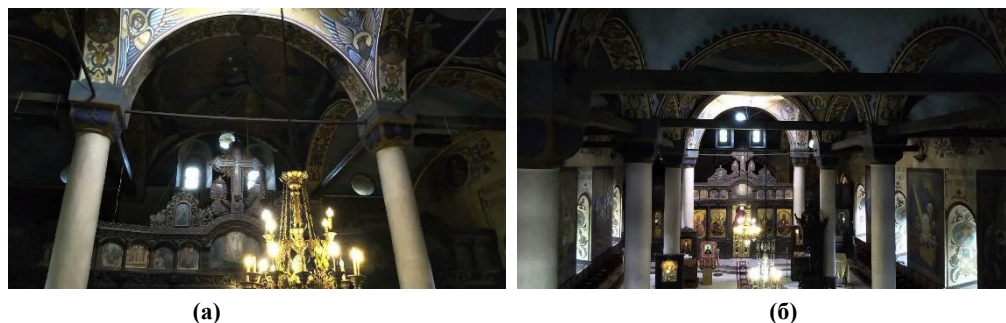
Проучванията са част от научно-изследователски проект към ЦНИП при УАСГ, в който участват преподаватели от няколко факултета (СФ, АФ, ФТС), докторант и студенти. Основните цели на тези проучвания са:

- ✓ да се определи до каква степен (ограничено, широко или масово) металните обтегачи са прилагани в строителството на сгради от НКН у нас;
- ✓ да се установят преобладаващите конструктивни и геометрични особености на обтегачите;
- ✓ резултатите от проучванията да послужат за подбор на „репрезентативни“ обтегачи, които да се използват за последващи числени и експериментални изследвания.

Първата фаза на проучванията беше обзорна и се основаваше на литературни данни. Бяха проучени няколко монографии за българското архитектурно наследство [1 – 5] и голям брой интернет-сайтове, които съдържат фотодокументация на сгради от нашето НКН. Беше събрана информация за повече от 40 обекта от НКН, в които са използвани метални обтегачи. Паралелно бяха проучени и чуждестранни публикации, обобщаващи натрупания опит по темата [6 – 8].



Фиг. 1. Външни метални обтегачи в църквата „Св. Николай Мирликийски“ в с. Гумощник: (а) Западна пристройка с камбанария, (б) Патронна арка



Фиг. 2. Вътрешни метални обтегачи в църквата „Св. Петка Параскева“ в гр. Троян: (а) Открити, (б) Защитени с дървена облицовка

Втората фаза на проучванията беше под формата на обследване на място на предварително подбрани обекти. През м. септември 2022 г. екип от УАСГ посети Троянския регион и извърши визуално обследване и заснемане на геометричните размери на металните обтегачи в църквата „Св. Николай Мирликийски“ в с. Гумощник (фиг. 1), църквата „Св. Петка Параскева“ в гр. Троян (фиг. 2), църквата „Успение Богородично“ на Троянския манастир (фиг. 3) и църквата „Успение Богородично“ в гр. Ловеч. Сътрудници по проекта обследваха визуално и измериха геометричните параметри на металните

обтегачи църквата в Лопушанския манастир (до с. Г. Дамяново) и Хана на Хаджи Николи (гр. В. Търново). Последната група обследвани обекти от НКН с метални обтегачи включваше катедралния храм „Св. Йоан Предтеча“ и църквата на девическия манастир в гр. Казанлък, църквата „Успение Богородично“ в гр. Пазарджик и църквата „Света Вмца Марина“ в гр. Пловдив.



(а)

(б)

Фиг. 3. Външни метални обтегачи в църквата „Успение Богородично“ на Троянския манастир: (а) Западна галерия, (б) Северна галерия

3. Основни резултати и изводи от проведените проучвания

Представените проучвания нямат за цел съставяне на изчерпателна национална база от данни по изследвания проблем, но при тяхното провеждане членовете на екипа документираща, систематизираща и анализираща значителна по обем информация за приложението и геометричните характеристики на използваните в сгради от НКН метални обтегачи. Повечето от проучените на място обекти могат да бъдат отнесени към периода на късното Възраждане. Резултатите от проучванията ще бъдат използвани при планиране и провеждане на числени и експериментални изследвания, с които да се валидира методика за определяне на опънните усилия в метални обтегачи чрез безразрушителни динамични изпитвания. Изследването на „репрезентативни“ обтегачи с дължини и напречни сечения, сходни с тези на най-често прилаганите в обектите от НКН, ще даде възможност за предсказване на техните динамични характеристики (напр. собствените честоти във функция на опънното усилие), както и за по-точно планиране на техническото осигуряване, необходимо за провеждане на безразрушителни изпитвания на място. За съжаление не бяха открити данни и изследвания относно якостно-механичните характеристики на желязото, използвано по българските земи през Възраждането.

Въз основа на изследванията по темата на проекта могат да бъдат формулирани следните по-важни изводи за приложението на метални обтегачи в обекти от НКН:

- Метални обтегачи са използвани широко от старите майстори-строители както преди Освобождението от турско робство, така и след това. Метални обтегачи могат да се видят както в знакови национални обекти като Централната църква на Рилския манастир, Църквата на Троянския манастир, Катедралния храм „Успение Богородично“ в гр. Варна, така също и в много други, по-малко известни обекти от НКН.

- Повечето от металните обтегачи са „външни“, т.е. използвани са за стабилизиране на колоните от галериите и поемане на разпорните реакции на дъги и сводове. Има и много обекти, в които металните обтегачи са „вътрешни“, включително и с кръстообразна конфигурация в основите на куполи.
- Прилагането на метални и дървени обтегачи в църковното строителство, както и на други укрепващи елементи от двата материала, тече успоредно до към средата на XIX в. у нас. Увеличаването на обема на сградите и особено след възстановяване на Българската патриаршия през 1870 г., налага почти повсеместното ползване на металните, което всъщност не е автентичен компонент в архитектуриката на църковната типология, съответно – не е бил известен нито емпиричен, нито изчислителен метод за оптимизиране на схемата, вида и оразмеряването на тези елементи, което води до нежелани интериорни ефекти, но много често и до допълнителни конструктивни проблеми (повреди) в контактните зони на елементите от различни материали.
- Налице е „етапност“ в изграждането на повечето проучени църкви, построени по време на Възраждането. След Освобождението от турско робство е извършвано преустройство, надстрояване или пристрояване. Понякога е променян изцяло типът на покривната конструкция, с добавяне на куполи и увеличаване на светлата височина. Етапността на изграждане е оставила своя отпечатък и върху конструктивните особености на металните обтегачи. Като пример за това може да се посочи Централната църква „Успение Богородично“ на Троянския манастир, където в западната галерия са използвани обтегачи с напречно сечение тип „шина“ (58×10 mm до 58×13 mm), а в северната галерия има обтегачи, изготвени от два сдвоени елемента, обтегачи с монолитно правоъгълно напречно сечение и един обтегач с кръгло напречно сечение (табл. 1).
- Въпреки че не са провеждани металографски изследвания за вида на метала, може да се приеме, че материалът на обтегачите е ковашко желязо, което има нехомогенна структура на микро-ниво, влакнеста структура на макро-ниво, много шлакови включения (силициеви съединения) и неравномерно съдържание на въглерода.
- Най-често използваните напречни сечения са квадратно, правоъгълно и метална лента (шина), поставена вертикално. Снаждането (наставянето) на елементите по дължина е осъществявано най-често чрез ковашка заварка. При обтегачи с квадратни и близки до квадратни напречни сечения съотношението на дължината към размера на сечението обичайно е в диапазона от 70 до 100 (табл. 2 и табл. 3).
- Налице са големи разлики в напрегнатото състояние на обтегачи в един и същ обект, които са със сходни дължини, приблизително еднакви напречни сечения и разположение в една ос. В някои от тях при напречен удар с ръка се поражда вибрации с видими амплитуди, което свидетелства за отпуснати (слабо натоварени на опън) обтегачи.

Може да се очаква значителна вариация в якостно-механичните характеристики на ковашкото желязо, произвеждано преди индустриалната революция. Според [7] модулът на еластичност на материала е сходен с този на съвременните стомани, но якостта и дуктилността са по-ниски от тези на конструкционната стомана клас S235.

Таблица 1. Данни за обтегачите в църквата на Троянския манастир

ОБЕКТ: ЦЕНТРАЛНА ЦЪРКВА НА ТРОЯНСКИЯ МАНАСТИР					
ПОДОБЕКТ: ЗАПАДНА (ОТКРИТА) ГАЛЕРИЯ					
Обтегач ID	Функция	Положение	Дължина (mm)	Напр. сечение (mm)	Констр. особености / Повреди
TRM_01	външен	напречен	2870	58x10	
TRM_02	външен	напречен	2860	58x11	
TRM_03	външен	напречен	2875	58x12	
TRM_04	външен	напречен	2906	58x11	
TRM_05	външен	надлъжен	3315	58x10	
TRM_06	външен	надлъжен	4405	58x13	
TRM_07	външен	надлъжен	3367	58x11	хлабав / отпуснат
ПОДОБЕКТ: ЪГЛОВА ЗОНА НА (ОТКРИТА) ГАЛЕРИЯ					
TRM_08	външен	надлъжен	2120	25x23	двуделен, със скоби
TRM_09	външен	надлъжен	2854	2 бр. 15x15	от два елемента един върху друг
ПОДОБЕКТ: СЕВЕРНА (ОТКРИТА) ГАЛЕРИЯ					
TRM_10	външен	напречен	2173	25x22	двуделен, със скоби
TRM_11	външен	напречен	2100	36x20	
TRM_12	външен	напречен	2098	40x22	
TRM_13	външен	напречен	2160	Ф35	
TRM_14	външен	надлъжен	3156	2 бр. 15x15	от два елемента един върху друг
TRM_15	външен	надлъжен	2070	37x22	двуделен, със скоби, корозия
TRM_16	външен	надлъжен	2346	20x20	
TRM_17	външен	диагонален	2453	30x14	двуделен (2 бр. 30x7)

Таблица 2. Данни за обтегачите в църквата в с. Гумошник

ОБЕКТ: ЦЪРКВА В С. ГУМОШНИК					
ПОДОБЕКТ: ОТКРИТА ГАЛЕРИЯ					
Обтегач ID	Функция	Положение	Дължина (mm)	Напр. сечение (mm)	Констр. особености / Повреди
GMC_01	външен	напречен	2110	41x41	
GMC_02	външен	напречен	2296	38x38	
GMC_03	външен	надлъжен	3654	38x38	
GMC_04	външен	надлъжен	3892	38x38	
GMC_05	външен	надлъжен	3705	38x38	снаждане с ковшка заварка
GMC_06	външен	напречен	2303	48x47	променливо напречно сечение
GMC_07	външен	напречен	2169	48x47	променливо напречно сечение

Таблица 3. Данни за обтегачите в църквата в гр. Пазарджик

ОБЕКТ: ЦЪРКВА СВЕТА БОГОРОДИЦА - гр. ПАЗАРДЖИК					
ПОДОБЕКТ: ОТКРИТА ГАЛЕРИЯ					
Обтегач ID	Функция	Положение	Дължина (mm)	Напр. сечение (mm)	Констр. особености / Повреди
PZC_01	външен	напречен	2295	33x33	добре натегнат
PZC_02	външен	напречен	2270	32x32	добре натегнат
PZC_03	външен	напречен	2250	31x31	добре натегнат
PZC_04	външен	напречен	2295	31x31	добре натегнат
PZC_05	външен	напречен	2294	31x31	добре натегнат
PZC_06	външен	напречен	2302	31x31	добре натегнат
PZC_07	външен	надлъжен	2640	28x28	
PZC_08	външен	надлъжен	2570	23x23	
PZC_09	външен	надлъжен	2599	27x26	
PZC_10	външен	надлъжен	2564	26x26	
PZC_11	външен	надлъжен	2583	26x26	

4. Заключениелни бележки

Паралелно с описаните по-горе проучвания и обследвания на място са разработени числени модели на метални обтегачи, с които е изследвано изменението на честотите на собствени трептения във функция на опънните усилия/напрежения в елементите и влиянието на опорните условия. По-подробна информация за числените изследвания се съдържа в [9]. В лабораторията на катедра „Метални, дървени и пластмасови конструкции“ към Строителния факултет на УАСГ беше създадена опитна постановка за експериментални изследвания на стоманени обтегачи с цел определяне на динамичните им характеристики чрез анализ на реагирането, породено от импулсни въздействия в произволно място по дължина на обтегача (фиг. 4).



Фиг. 4. Общ вид на експерименталната постановка

Разработената методика за безразрушителна динамична идентификация на опънните усилия в метални обтегачи предстои да бъде приложена и верифицирана в реални обекти от НКН. За нейното успешно прилагане трябва да бъдат решени редица предизвикателства и практически проблеми.

Благодарности

Авторите на настоящото изследване изказват своята благодарност на ЦНИП при УАСГ за предоставеното финансиране по договор БН-269/2022.

ЛИТЕРАТУРА

1. Berbenliev, P. Arhitekturnoto nasledstvo po balgarskite zemi, Septemvri, 1987.
2. Tuleshkov, N. Arhitektura na balgarskite manastiri, Tehnika, 1988.
3. Bozhilov, I., Tuleshkov, N., Prashkov, L., Stamov, St. Balgarski manastiri, 2004.
4. Stamov, St. Balgarsko arhitekturno nasledstvo – selishta, tsarkvi, manastiri, 2016.

5. *Tonev, L. et al.* Kratka istoria na balgarskata arhitektura, BAN, 1965.
6. *Cescatti, E., da Porto, F., Modena, C.* Ties in historical constructions: Typical features and laboratory tests. In: *K. Van Balen, E. Vestrynde (Eds.)*. Structural Analysis of Historical Constructions – Anamnesis, Diagnosis, Therapy, Controls. Taylor & Francis, London, 2016, ISBN 9781315616995, pp. 1301-1307.
7. *Calderini, C. Vecchiattini, R., Battini, C., Piccardo, P.* Mechanical and metallographic characterization of iron tie-rods in masonry buildings. An experimental study. In: *K. Van Balen, E. Vestrynde (Eds.)*. Structural Analysis of Historical Constructions – Anamnesis, Diagnosis, Therapy, Controls. Taylor & Francis, London, 2016, ISBN 9781315616995, pp. 1293-1300.
8. *Gentile, C., Poggi, C., Ruccolo, A., Vasic, M.* Dynamic assessment of the axial force in the tie-rods of the Milan Cathedral. // *Procedia Engineering*, 199 (2017), pp. 3362-3367.
9. *Vasilev, G., Belev, B., Tanev, V., Kerencev, N.* Estimation of tensile forces in metallic tie-rods based on dynamic response analysis (in Bulgarian). Annual of the University of Architecture, Civil engineering and Geodesy. Sofia, 2023 (submitted for publication).

STUDIES ON CULTURAL HERITAGE BUILDINGS WITH METALLIC TIE-RODS

V. Tanev¹, B. Belev², E. Yordanov³, E. Kazakova⁴, H. Simeonova⁵

Keywords: metallic tie-rods, cultural heritage buildings, condition assessment

ABSTRACT

Metallic tie-rods have been used in the construction and restoration of many heritage buildings in Bulgaria. Their actual stress-strain state is an important indicator for the overall structural condition of the buildings.

Within the framework of a recent research project funded by RCDC at UACEG a survey on the more significant heritage buildings with metallic tie-rods in Bulgaria (mainly churches and monasteries) has been carried out. Metallic tie-rods from several representative buildings will be further analyzed and used for a trial application of the currently developed methodology for non-destructive vibration-based determination of the axial forces.

The paper also presents the results of in-situ examination of metallic tie-rods in several heritage buildings in both Northern and South Bulgaria, which provided important information on the structural features of the tie-rods used in the local historical constructions.

¹ Vatyu Tanev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Steel, Timber and Plastic Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: Tanev_fce@uacg.bg

² Borislav Belev, Prof. Dr. Eng., Dept. “Steel, Timber and Plastic Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: belev_fce@uacg.bg

³ Emil Yordanov, Assoc. Prof. Dr. Arch., Dept. “History and Theory of Architecture”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: emj_far@uacg.bg

⁴ Ellie Kazakova, Graduate student, Dept. “Steel, Timber and Plastic Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046

⁵ Hristina Simeonova, Graduate student, Dept. “Steel, Timber and Plastic Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046