

ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ – СОФИЯ

Първа научно-приложна конференция с международно участие  
„СТОМАНОБЕТОННИ И ЗИДАНИ КОНСТРУКЦИИ – ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА“

22 – 23 октомври 2015

22 – 23 October 2015

First Scientific-Applied Conference with International Participation  
“REINFORCED CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES – THEORY AND PRACTICE”

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY – SOFIA

48 <sup>ТОМ</sup>  
vol.

2015

св. 12 – III  
fasc.

## ПРИЛАГАНЕ НА ВИБРОГАСЯЩИ УСТРОЙСТВА ПРИ НАДСТРОЯВАНЕ НА ХОТЕЛ „РАДИСЪН“, ГР. СОФИЯ

Й. Милев<sup>1</sup>, Д. Филатова<sup>2</sup>, Н. Милев<sup>3</sup>, А. Тотева<sup>4</sup>,  
Г. Георгиев<sup>5</sup>, П. Дюлгеро̀в<sup>6</sup>

*Ключови думи:* усилване, надстрояване, виброгасящи устройства, мониторинг

*Научна област:* възстановяване и усилване на съществуващи конструкции

### РЕЗЮМЕ

Настоящата статия представя надстрояването на двуетажна съществуваща стоманобетонна конструкция със седем етажа. За надстройката е приложена стоманена конструкция с вертикални връзки в двете направления. Съществуващата конструкция е изпълнена през 60-те години на миналия век и е проектирана само за вертикални товари. Това налага нейното сеизмично осигуряване преди изпълнение на надстройката. С цел предотвратяване на контакт между надстройката и съществуващите в съседство сгради при сеизмично въздействие е приложена пасивна система за сеизмичен контрол. Тя се състои от 21 виброгасящи устройства (Viscous Wall Damper), намаляващи значително абсолютните и междуетажните премествания, както и усилията, предавани на съществуващата конструкция.

<sup>1</sup> Йордан Милев, проф. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Христо Смирненски“ № 1, 10 46 София, e-mail: j.milev@yoda-bg.com

<sup>2</sup> Диана Филатова, инж., „Йода” ООД, София, ул. „Купените“ 10, e-mail: office@yoda-bg.com

<sup>3</sup> Николай Милев, инж. докторант, кат. „Геотехника”, УАСГ, бул. „Христо Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: n.milev@yoda-bg.com

<sup>4</sup> Анета Тотева, инж., „Йода” ООД, София, ул. „Купените“ 10, e-mail: office@yoda-bg.com

<sup>5</sup> Георги Георгиев, инж., „Йода” ООД, София, ул. „Купените“ 10, e-mail: office@yoda-bg.com

<sup>6</sup> Павел Дюлгеро̀в, инж., „Йода” ООД, София, ул. „Купените“ 10, e-mail: office@yoda-bg.com

## 1. Въведение

Представен е реален проект за надстрояване на съществуваща стоманобетонна сграда чрез стоманена конструкция. Изследваният подход за подобряване на сеизмичното поведение на конструкцията представлява вграждане на пасивна сеизмична система под формата на виброгасящи устройства, инсталирани в стоманената надстройка. Основната цел на такъв тип системи е да се намалят сеизмичните сили, които се предават от надстройката върху съществуващата стоманобетонна сграда чрез увеличаване на демпфирането. Освен това системата с виброгасящи устройства е ефективен метод за значително намаляване на хоризонталните премествания на надстройката в условия на сеизмично въздействие. По този начин удрянето в съседни съществуващи сгради по време на силни земетресения може да бъде избегнато. Основната цел на статията е да се оцени ефективността на системата.

## 2. Описание на сградата



Фиг. 1. Изглед на разглежданата сграда

Представеното изследване е фокусирано върху реален проект, който е в процес на изпълнение. Съществуващата сграда е хотел на два етажа със стоманобетонна рамкова конструкция, която е проектирана да бъде устойчива единствено при натоварване от вертикални товари. Сградата е построена през 60-те години на миналия век и е в процес на надграждане със седеметажна стоманена конструкция, която има вертикални сеизмични връзки в двете си главни направления. Допълнително са предвидени двадесет и едно виброгасящи устройства, които предстои да бъдат инсталирани в металната конструкция. За да бъде устойчива при сеизмични въздействия, съществуващата конструкция е усилена чрез вертикални стоманени връзки, които са вградени в стоманобетонните рамки. Изпълнени са стоманобетонни кожуси на колоните единствено за поемане на гравитационни товари. Единичните фундаменти на сградата са обединени чрез стоманобетонна фундаментна плоча. Инсталирана е и система за мониторинг на напреженията в основната плоскост на фундаментната конструкция и сляганята в дълбочина под нея. Изглед на сградата е представен на фиг. 1.

## 3. Усилване на съществуващата сграда

### 3.1. Вграждане на вертикални стоманени рамки

Част от усиляването на двуетажната част на хотела е извършено чрез вграждане на стоманени връзки. Те са внедрени в съществуващите стоманобетонни рамки на

сградата. Тези рамки първоначално са проектирани за поемане само на вертикални товари. Изчислителните процедури, използвани в този подход за усилване, са базирани на японски стандарт в съответствие с Еврокод 8 и са детайлно разгледани в [3] и [4]. Примерни вградени връзки са представени на фиг. 2.



Фиг. 2. Типова вградена вертикална стоманена връзка

### 3.2. Усилване на колоните

Главните колони са усилени чрез стоманобетонни кожуси, за да бъдат в състояние да поемат допълнителното вертикално натоварване вследствие на надстрояването. Някои детайли от армирането им и изглед на стоманобетонните кожуси са представени на фиг. 3. За изпълнението на кожусите е използван самоуплътняващ се бетон.



Фиг. 3. Усилване чрез стоманобетонни кожуси

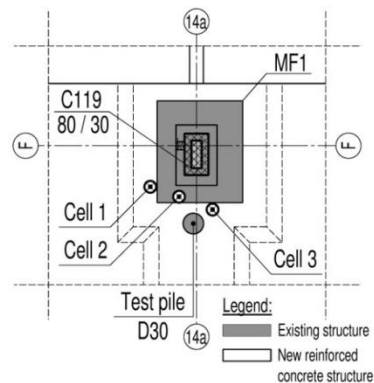
### 3.3. Усилване на фундаментите и мониторинг

Съществуващите единични фундаменти на сградата са обединени чрез обща фундаментна плоча, като е изпълнена и система за мониторинг, следяща напрежения и деформации. Основната цел на системата за мониторинг е да се сравнят изчислените

напрежения в основната плоскост и сляганията на почвата в дълбочина под нея с действителните такива по време и след надстрояването. Важно е да се провери дали преразпределението на напреженията в основната плоскост на фундаментите след обединяването им е според очакванията и да се установи дали са генерирани прекомерни слягания.

Под и до три от съществуващите фундаменти са заложили върху пласт от фин кварцов пясък осем pressure cell датчика за измерване на напрежения (фиг. 4). Използван е разтвор с компенсирано съсъхване, за да се запълни кухината между pressure cell датчиците и основната плоскост на съществуващите фундаменти. Пластът от фин кварцов пясък предпазва устройствата от значителни локални слягания. Интерпретацията на резултатите е според [2].

Системата за измерване на сляганията е нестандартна и е специално разработена за разглеждания проект. Тя се състои от две части – фиксирана и свободна спрямо глобалното слягане на сградата. Девет индикаторни часовника за измерване на вертикални деформации са разположени върху три метални стойки, които от своя страна са анкерирани за два тестови пилота. Тестовите пилоти са използвани като неподвижна точка, върху която се крепи цялата фиксирана система. Всеки индикаторен часовник следва преместването на съответен метален прът, който е завинтен на предварително избрана дълбочина. Металните пръти се движат свободно в PVC тръби, които играят роля на тяхна обвивка, и по този начин могат да следват свободно слягането на почвата на различна дълбочина под основната плоскост на фундаментите. По този начин може да бъде дефинирана реалната активна зона на слягане под фундаментната конструкция.



**Фиг. 4. Система за мониторинг на фундаментната конструкция**

Връзката напрежения–деформации в основната плоскост на фундаментната конструкция ще бъде използвана за определяне на реалния коефициент на леглото за някои по-детайлни изследвания, отчитащи взаимодействието на фундаментите със земната основа. Концепцията за мониторинг е представена на фиг. 4.

## **4. Анализ на прилагането на виброгасящи устройства**

### **4.1. Общо описание на виброгасящите устройства**

Съществуващата част на хотела е разположена до други съседни сгради (фиг. 1). Освен това възможните места за вграждане на вертикални стоманени връзки бяха

ограничени поради изискванията за функционалност на сградата. В някои от вертикалните стоманени връзки на надстройката е добавена пасивна сеизмична система под формата на устройства, които дисипират енергия. Целта е да бъдат постигнати две основни цели – намаляване на сеизмичните премествания, а оттам и избягване на удяне в съседни сгради и намаляване на ефекта от сеизмично въздействие върху съществуващата стоманобетонна рамкова конструкция. Виброгасящите устройства са показани на фиг. 5. Инсталирани са общо двадесет и едно виброгасящи устройства – четиринадесет в надлъжно (по ос  $X$ ) и седем в напречно (по ос  $Y$ ) направление.



**Фиг. 5. Изпитване на виброгасящите устройства и съхраняването им на строителната площадка**

Резултатите показват, че конструкцията може да бъде значително облекчена чрез намаляване на някои важни показатели (като ускорение, срязващи сили в основите и т.н.) чрез използването на виброгасящи устройства. Основните предимства на виброгасящите устройства са:

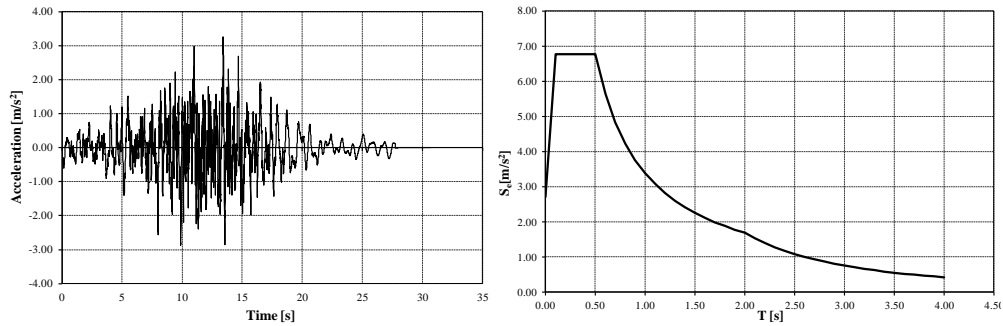
- добре позната, надеждна, проста и доказана технология за всевъзможни типове конструкции по цял свят;
- посоката на приложимост е в хоризонтално направление;
- намаляване на инерционните сили;
- икономически целесъобразно решение, без необходимост от поддръжка.

#### **4.2. Изчислителен модел за анализ с акселерограми (time-history)**

В съответствие с Еврокод 8 [3] е приложен българският еластичен спектър на реагиране за територията на гр. София (фиг. 6). Анализът с акселерограми (time-history) е извършен чрез използване на изкуствено генерирани такива, които пасват на използвания в изчисленията спектър на реагиране (фиг. 6).

Динамичният анализ на сградата е извършен чрез програмния продукт SAP2000, версия 15.1.0. Повече информация относно подхода за анализа е налична в [1] и [5]. Анализирани са пространствени модели по метода на крайните елементи. Идеали-

зацията на сградата е направена чрез елементи от библиотеката на SAP2000: рамкови елементи (за колони и греди), връзкови link елементи (за виброгасящи устройства) и черупкови елементи (за стени и плочи) – фиг. 7.



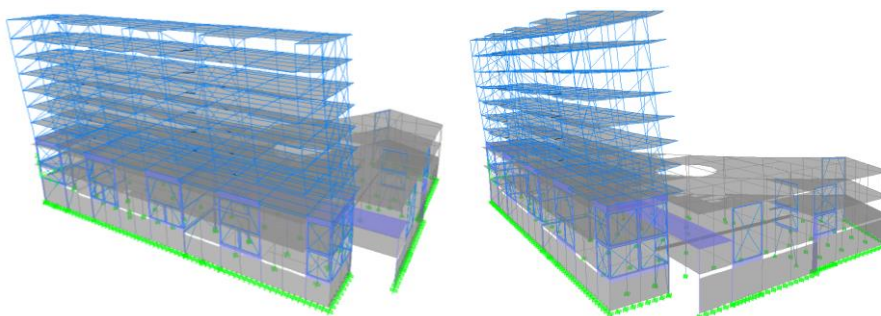
Фиг. 6. Изкуствено генерирана акселерограма и еластичен спектър на реагиране за гр. София (почва тип С)



Фиг. 7. Модел, показващ точки и елементи, в които са проследени измененията съответно на премествания и усилия

#### 4.3. Резултати от динамичен анализ с акселерограми (time-history)

Анализът с акселерограми (time-history) е извършен, за да се установи поведението на конструкцията в условия на сеизмично въздействие. Изследвани са два модела на сградата – със и без виброгасящи устройства. Първите две форми на трептене за двата модела са показани на фиг. 8.

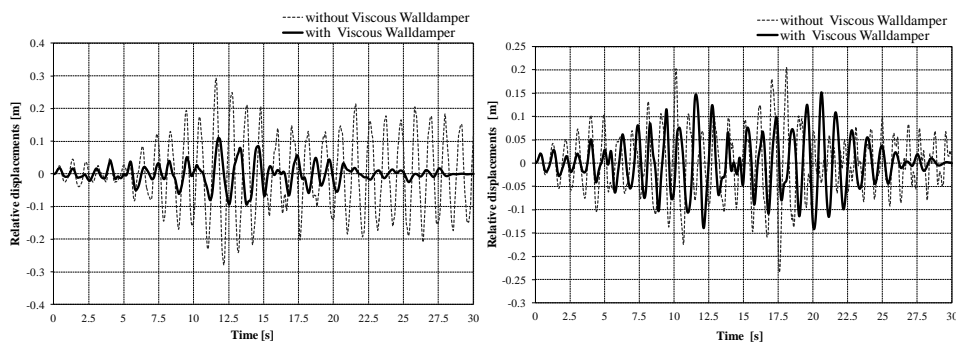


Фиг. 8. Първа и втора форма на трептене (транслационни)

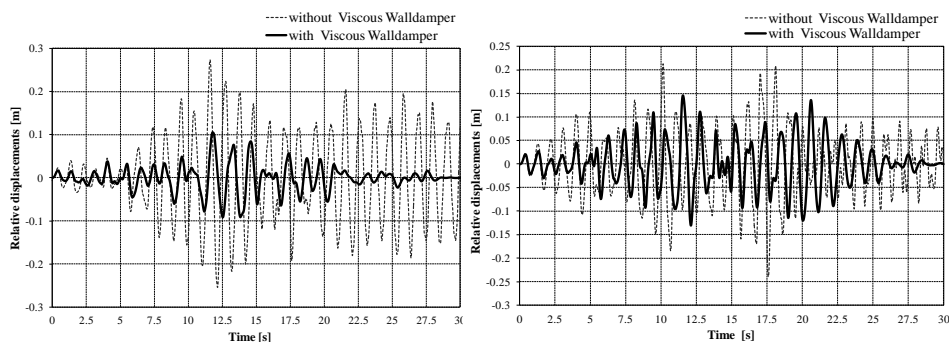
Периодите на първите две форми на трептене за двата модела са както следва:

- без виброгасящи устройства –  $T_1=1.075$  s;  $T_2=0.968$  s;
- с виброгасящи устройства –  $T_1=1.406$  s;  $T_2=1.091$  s.

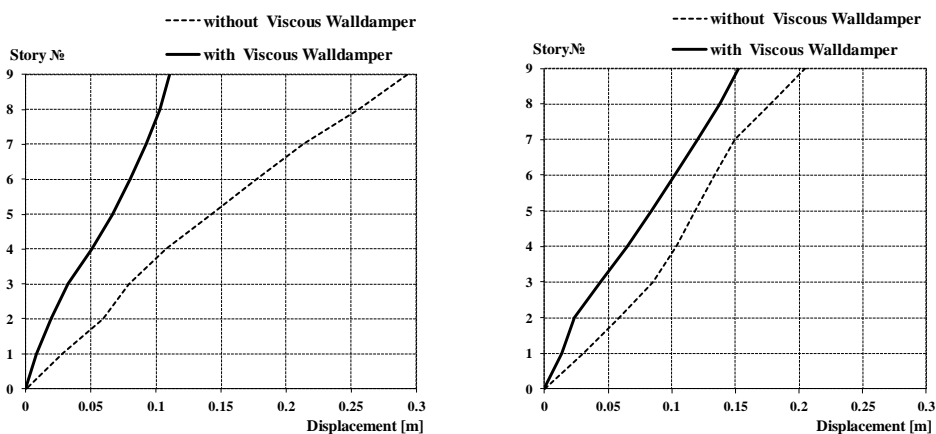
Някои параметри на сеизмичното поведение на конструкцията са дадени количествено във фиг. 9 – 11.



**Фиг. 9. Премествания във времето на точка СЕ на ниво покривна плоча в двете главни направления X и Y**



**Фиг. 10. Премествания във времето на точка СР на ниво покривна плоча в двете главни направления X и Y**



**Фиг. 11. Обвивни еvelope премествания на точка СЕ в двете главни направления X и Y**

## 5. Сравнение на някои резултати със и без използване на виброгасящи устройства

Някои характерни резултати са показани в табл. 1 и табл. 2. Направено е и сравнение между резултатите на система със и без виброгасящи устройства.

## 6. Заключение

Представеното изследване позволява да бъдат направени следните заключения:

- Пасивната сеизмична система с виброгасящи устройства е много ефикасен метод за подобряване на сеизмичното поведение при надстрояването на съществуващи стоманобетонни конструкции с метални конструкции.
- Виброгасящите устройства намаляват значително инерционните сили и в двете конструкции – съществуващата и надстройката (с 35 ÷ 65%). По този начин се облекчават изискванията към усилването на съществуващата част.
- Виброгасящите устройства намаляват значително преместванията (с 30 ÷ 60%), сравнено със същата конструкция без виброгасящи устройства. Това помага да се избегне удрянето в съседни сгради при силни земетресения.

Таблица 1. Количествени сравнения по направление X

Максимални абсолютни стойности	Първоначално	С виброг. устр.	Разлика [%]
Преместване на точка СЕ на ниво покривна плоча [mm]	293.13	110.75	37.8
Преместване на точка СР на ниво покривна плоча [mm]	273.02	104.83	38.4
Ускорение на точка СЕ [g]	3.00	0.63	20.9
Ускорение на точка СР [g]	2.72	0.58	21.3
Срязваща сила в колона SC113 [kN]	317	195	61.5
Срязваща сила в колона SC117 [kN]	292	201	68.8
Срязваща сила в основата [kN]	60969	29754	48.8
Преобръщащ момент [kNm]	1751673	1454059	83.0

Таблица 2. Количествени сравнения по направление Y

Максимални абсолютни стойности	Първоначално	С виброг. устр.	Разлика [%]
Преместване на точка СЕ на ниво покривна плоча [mm]	205.01	152.28	74.3
Преместване на точка СР на ниво покривна плоча [mm]	239.57	145.96	60.9
Ускорение на точка СЕ [g]	3.37	1.15	34.1
Ускорение на точка СР [g]	3.18	1.24	39.1
Срязваща сила в колона SC113 [kN]	131	50	38.2
Срязваща сила в колона SC117 [kN]	99	47	47.5
Срязваща сила в основата [kN]	61280	27066	44.2
Преобръщащ момент [kNm]	3806508	3342652	87.8

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Chopra, A.* Dynamics of structures. Theory and Applications to earthquake engineering, 3<sup>rd</sup> edition. ISBN 0-13-156174-X, Prentice Hall, 2007.
2. *Dunncliff, J.* Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. A Wiley-Interscience Publication, New York, 1993.
3. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment.
4. Japanese Design Standard and Strengthening Guideline for Existing Buildings (in Japanese), 2001.
5. *Wilson, E.* Three-Dimensional static and dynamic analysis of structures. A physical approach with emphasis on earthquake engineering, ISBN 0-923907-00-9, CSI, 2007.

## APPLICATION OF VISCOUS WALL DAMPERS FOR THE EXTENSION OF THE RADISSON HOTEL IN SOFIA

**J. Milev<sup>1</sup>, D. Filatova<sup>2</sup>, N. Milev<sup>3</sup>, A. Toteva<sup>4</sup>, G. Georgiev<sup>5</sup>, P. Dyulgerov<sup>6</sup>**

**Keywords:** *strengthening, extension, viscous wall dampers, monitoring*

**Research area:** *retrofitting and strengthening of existing structures*

### ABSTRACT

This paper presents the extension of a two-storey existing RC structure by seven new floors. The extension of the building is a steel structure with braces in the two main directions. The existing structure is built in the 1960s and is designed to bear gravity loads only. This requires its seismic retrofit before the execution of the extension part. To avoid the pounding of the extension to the neighbouring buildings during earthquakes, some passive energy dissipating devices are introduced for its seismic control. The passive energy system consists of 21 viscous wall dampers which considerably reduce the absolute interstorey drifts as well as the reduction of the seismic effect transferred to the existing RC structure.

---

<sup>1</sup> Jordan Milev, Prof. Dr. Eng., Dept. “Reinforced Concrete Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: j.milev@yoda-bg.com

<sup>2</sup> Diana Filatova, Eng., “Yoda” Ltd, 10 Kупenite St., Sofia, e-mail: office@yoda-bg.com

<sup>3</sup> Nikolay Milev, Eng., PhD student, Dept. “Geotechnics”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: n.milev@yoda-bg.com

<sup>4</sup> Aneta Toteva, Eng., “Yoda” Ltd, 10 Kупenite St., Sofia, e-mail: office@yoda-bg.com

<sup>5</sup> Georgi Georgiev, Eng., “Yoda” Ltd, 10 Kупenite St., Sofia, e-mail: office@yoda-bg.com

<sup>6</sup> Pavel Dyulgerov, Eng., “Yoda” Ltd, 10 Kупenite St., Sofia, e-mail: office@yoda-bg.com

