

*Получена: 15.09.2017 г.*

*Приета: 15.11.2017 г.*

## СЪСТАВЯНЕ НА МАКРОМОДЕЛИ НА ХОРИЗОНТАЛНИ СЪЕДИНЕНИЯ ОТ РАЗЛИЧНИ ЕТАЖИ НА ЕДРОПАНЕЛНА СГРАДА

А. Николов<sup>1</sup>, Д. Атанасов<sup>2</sup>

*Ключови думи: едропанелни сгради, хоризонтални съединения, макромодели*

### РЕЗЮМЕ

В тази статия са представени макромодели на хоризонтални съединения от три различни нива на едропанелна сграда. Едропанелната сграда е от най-използваната номенклатура Бс-69-Сф. Макромоделите са съставени с помощта на програмния продукт SeismoStruct, като са използвани нелинейни линк елементи. Макромоделите описват поведението на експериментални образци на хоризонтални съединения от едропанелна сграда.

### 1. Въведение

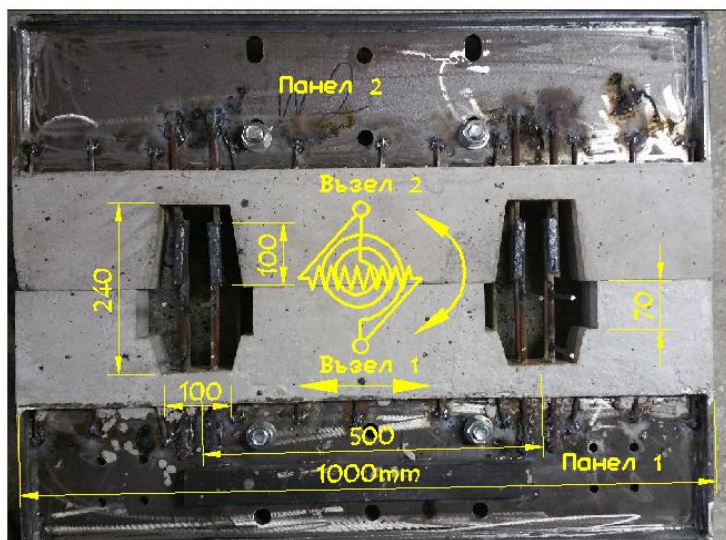
Едропанелните сгради заемат значителен дял в общия жилищен фонд у нас. С достатъчна достоверност може да се приеме, че около 25% от населението на България живее в едропанелни жилища. Тази статистика обуславя важното социално и икономическо значение на физическото благосъстояние и експлоатационна пригодност на панелните сгради. Едропанелните сгради са проектирани по различни номенклатури, като обект на настоящата разработка е системата Бс-69-Сф, която е и най-прилаганата в София.

---

<sup>1</sup> Атанас Николов, доц. д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: nikolov\_at@abv.bg

<sup>2</sup> Демир Атанасов, ред. докт. инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: dipl.eng.d.atanasov@gmail.com

Поведението на едропанелните конструкции е специфично и се различава съществено от това на монолитно изградените стенни конструкции. Характерно за панелите, изграждащи носещите стени, е липсата на стремена и зони с обемно ограничен бетон. Връзката между отделните панелни елементи става чрез използване на съединения, където армировката се заварява и следва замонолитване – фиг. 1. Поради тези причини не може да се говори за пластични стави, капацитивно проектиране и конструиране съгласно изискванията на съвременните норми. Два са механизмите, чрез които се осъществява трансферът на усилията между панелите: „срязване“ (shear slip) и „завъртане“ (rocking). Двата механизма работят съвместно и се проявяват в различна степен в зависимост от приложената нормална сила.



**Фиг. 1. Образец на композиция от две хоризонтални съединения преди замонолитване в мащаб 1:2**

Пространственият модел е най-добрият начин за идеализиране на поведението на една конструкция. За съставянето на пространствен модел на цяла едропанелна сграда е необходимо да се обхванат всички детайли и особености, които тя притежава. Едно от най-чувствителните места от една едропанелна конструкция са нейните хоризонтални връзки между стенните панели. Хоризонталните съединения в различните етажи са натварени с различни по големина нормални сили. Както е известно от [1, 2, 3] податливостта и носещата способност на такива съединения се различава, както се различава и поведението им. Това поражда необходимостта от съставяне на макромодели на съединения от различни етажи на едропанелна сграда, за да може да бъдат използвани в съставянето на коректен пространствен модел.

## 2. Експериментално изследване

През 2015 г. в Лабораторията по строителни конструкции на УАСГ бе проведено експериментално изследване на ключова част от едропанелна сграда. Изготвени бяха три броя образци, представляващи композиция от две хоризонтални съединения, свързващи носещите панелни стени по височина. Размерите и вложената армировка отговарят на

номенклатура Бс-69-Сф като използваният мащаб е 1:2 – фиг. 1. Горният и долният стенови панел са с дебелина 70 mm и са армирани с пръти  $\phi 6,5$  от стомана B235 (A1), като количеството на армировъчната стомана е съобразено с предписаното от номенклатурата. Вертикалната преминаваща армировка във всяко едно съединение е от 4 пръта  $\phi 8$  от стомана B420 (AIII), които в последствие са заварени. Разстоянието между двете панелни връзки е подбрано спрямо възможностите на изпитвания стенд и приблизително отговаря на разстоянието при къси стенови панели. Проектирани са стоманени закладни части към стенните панели, за да се осъществи връзката им с натоварвания стенд.

Образците са еднотипни и са изпитани в три варианта – W01, W02 и W03, като разликата между тях е приложената нормална сила. Образец W01 е подложен на нормална сила от 5,0 t, образец W02 – 0,5 t и образец W03 – 2,0 тона. По този начин се обхваща работата на съединенията в различните етажи от конструкцията.

За провеждане на експерименталната постановка е използван стоманен стенд, който е проектиран и изготвен съобразно с наличния инвентар на Лабораторията по строителни конструкции (фиг. 2).



**Фиг. 2. Експериментална постановка**

Експериментът е проведен с контрол по преместванията, които се задават по електронен път на хидравличния актуатор. Приложеното въздействие е циклично, знакопроменливо и с увеличаваща се интензивност. Хоризонталното натоварване върху образците се осъществява от серво-хидравличен цилиндър с максимална сила от 100 тона, който привежда в движение горния стенови панел посредством червената греда. Вертикалното натоварване е постоянно, прилага се преди хоризонталното и се осъществява от маслен крик с максимална сила от 20 тона. Експерименталната постановка е проектирана да предава единствено хоризонтално преместване и взаимна ротация между горния (подвижен) и долния (стационарен) стенови панел. Така се имитира реалната работа на хоризонталните съединения, която е съвкупност от срязване и пластична ротация с приложена нормална натискава сила.

### 3. Етапи на работа на съединенията в едропанелните сгради

Могат да се разграничат три етапа на работа на съединенията:

- първи етап – еластичен (до 0,4 mm хоризонтално преместване);
- втори етап – еласто-пластичен до срязване на замонолитващия бетон (от 0,4 mm до 1,5 mm хоризонтално преместване);
- трети етап – големи хоризонтални премествания (над 1,5 mm).

Тези три етапа се наблюдаваха при всеки един от проведените експерименти. На фиг. 3 са показани резултатите от изпитването на образец W01 и обвивката графика, даваща връзката между хоризонтална сила и преместване.

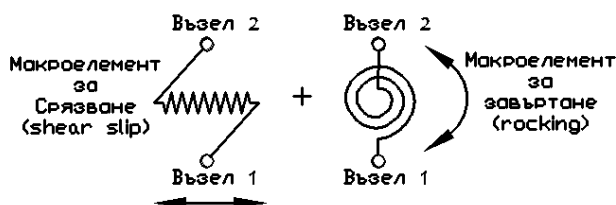


Фиг. 3. Етапи на работа на едропанелни съединения

Еластична работа на съединенията (първи етап) се приема при малки хоризонтални премествания до около 0,4 mm. Моментът на образуване на първите диагонални пукнатини в замонолитващия бетон дава началото на еласто-пластичната работа (втори етап). Тогава започва нелинейната работа на съединението, която при експериментите трае до хоризонтални премествания до 1,5 mm. Срязването на замонолитващия бетон чрез образуване на диагонални пукнатини обуславя старта на етапа на големи премествания. В този трети етап на работа коравината и носещата способност на съединенията значително са деградирани и единственото, което свързва горния и долния стенен панел, е заварената хоризонтална армировка. В нея се наблюдават значителни деформации, които предизвикват допълнително триене при големи хоризонтални премествания (над 10 mm) и се проявява дубелното действие на армировката.

#### 4. Макромодели на хоризонтални съединения от различни етажи на едропанелна сграда

Разработени са макромодели, целта на които е да опишат най-точно поведението на композицията от двете хоризонтални съединения, получено от експерименталните изследвания. Използван е програмният продукт SeismoStruct [4], който предоставя възможност за използване на пружинни елементи с нелинейни характеристики (link elements). Използваните хистерезисни модели включват деградация на коравината и носимоспособността, позволяват еласто-пластична работа и сравнително кратко изчислително време. Има възможност и за съвместно действие на няколко модела, което допринася за по-доброто идеализиране на сложното поведение на хоризонталните съединения. Макромодельт за хоризонталните съединения е представен чрез макромодел за сръзване (хоризонтални премествания), комбиниран с макромодел за ротация – фиг. 4.



Фиг. 4. Схема на макроеlementи

За създаване на макромодели на едропанелната хоризонтална fuga е използван програмният продукт SeismoStruct (4), който предоставя възможност за използване на пружинни елементи (link elements). Използваните хистерезисни модели включват деградация на коравината и носимоспособността, позволяват еласто-пластична работа и сравнително кратко изчислително време. Има възможност и за съвместно действие на няколко модела, което допринася за по-доброто идеализиране на сложното поведение на хоризонталните съединения.

За аналитичното представяне на хоризонталното въздействие е използван статичен нелинеен анализ във времето (static time-history analysis). Този анализ обикновено се използва при статично изследване на конструкции, подложени на циклично знакопроменливо натоварване, каквато е случаят с проведения експеримент. Приложеното действие може да бъде от сила, преместване, или комбинацията от двете.

С цел по-добро моделиране на поведението на хоризонталните съединения в отделните етапи, особено в първите два (еластичен и еласто-пластичен), които са и най-често проявяващите се, при макромоделирането се прибегва до разделяне на етапите на първи и втори (до 1,5 mm) и на трети (над 1,5 mm) (фиг. 3). По този начин се съставят опростени макромодели за малки премествания (до 1,5 mm) и за големи премествания (над 1,5 mm).

След комбиниране на опростените макромодели се получават комплексните макромодели. Те обхващат поведението на хоризонталните съединения и в трите етапа (еластичен, еласто-пластичен и етап на големи премествания). В комплексните модели се включва влиянието на триенето в контактната fuga, породено от нормалната натискова сила и работата на замонолитващия бетон чрез сформирание на натисков диагонал, явления, които са характерни за еластичния и еласто-пластичния етап. Също така комплексните модели обхващат и намаляването на влиянието на триенето и разрушаването и „изхвърлянето“ от армировката на замонолитващия бетон, както и дубелното действие

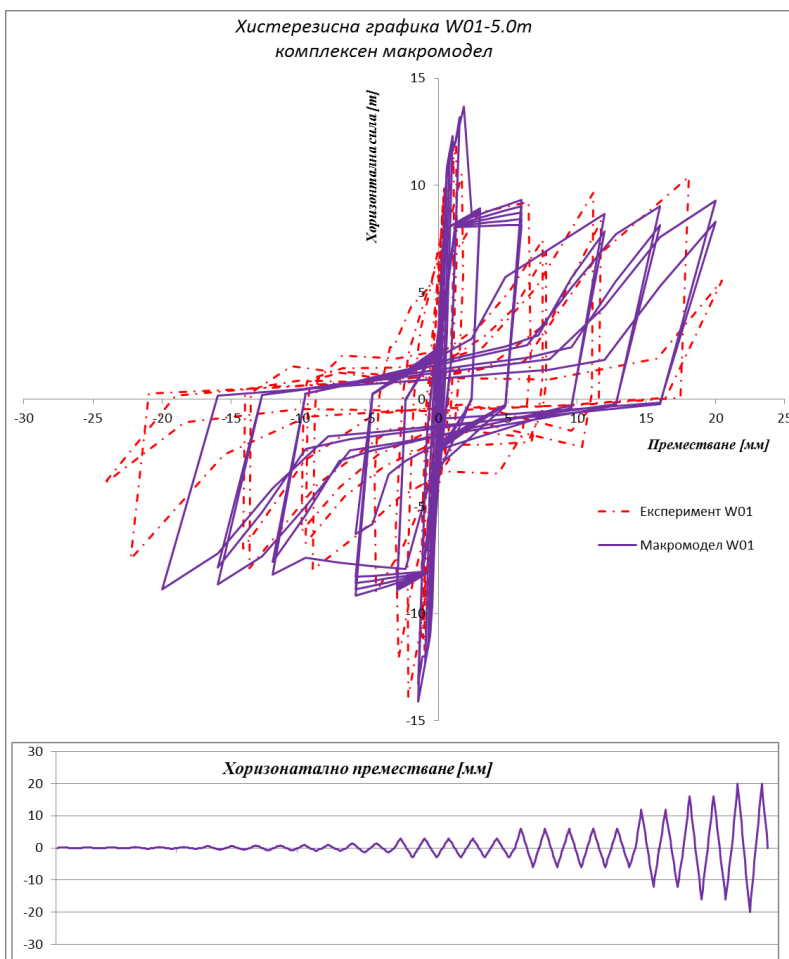
на преминаващата армировка (dowel action effect), явления, характерни за етапа на големите премествания. По този начин се предлагат комплексни макромодел и за трите експериментални образца, които обхващат цялостното поведение на работа на хоризонталните съединения в различните по височина етажи.

Показани и сравнени са резултатите от комплексните макромодел и резултатите от експерименталното изследване, при което се следи за еднаквост на формата на хистерезисните примки, коравината, носимоспособността при съответни премествания и графиките на енергиите.

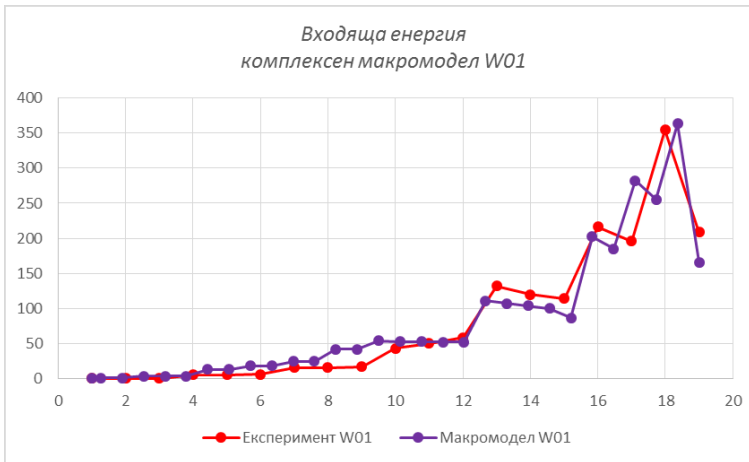
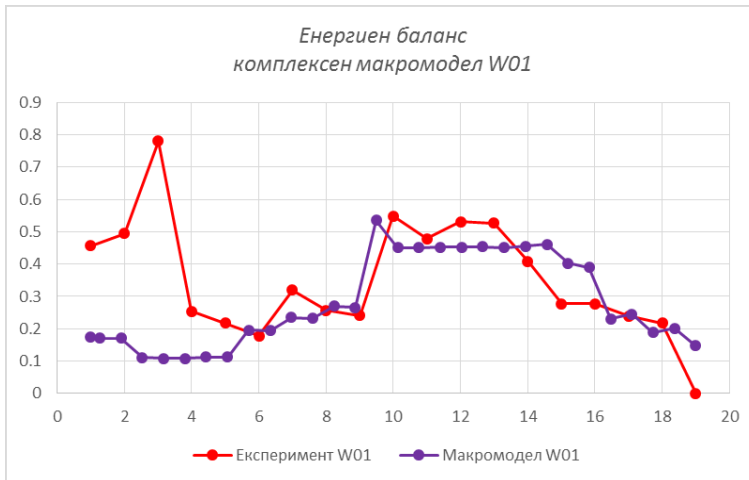
#### 4.1. Комплексен макромодел W01

От фиг. 4.1 ясно се вижда доброто съвпадение на резултатите. Обхванати са всички етапи на работа на хоризонталните съединения.

На фиг. 4.2 са показани и сравнени графиките на енергийния баланс, входящата и дисипираната енергия на комплексен макромодел W01 и експериментален образец W01.



**Фиг. 4.1. Хистерезисна графика на поведение на макромодел W01.  
Графика на приложеното въздействие във вид на хоризонтално преместване**



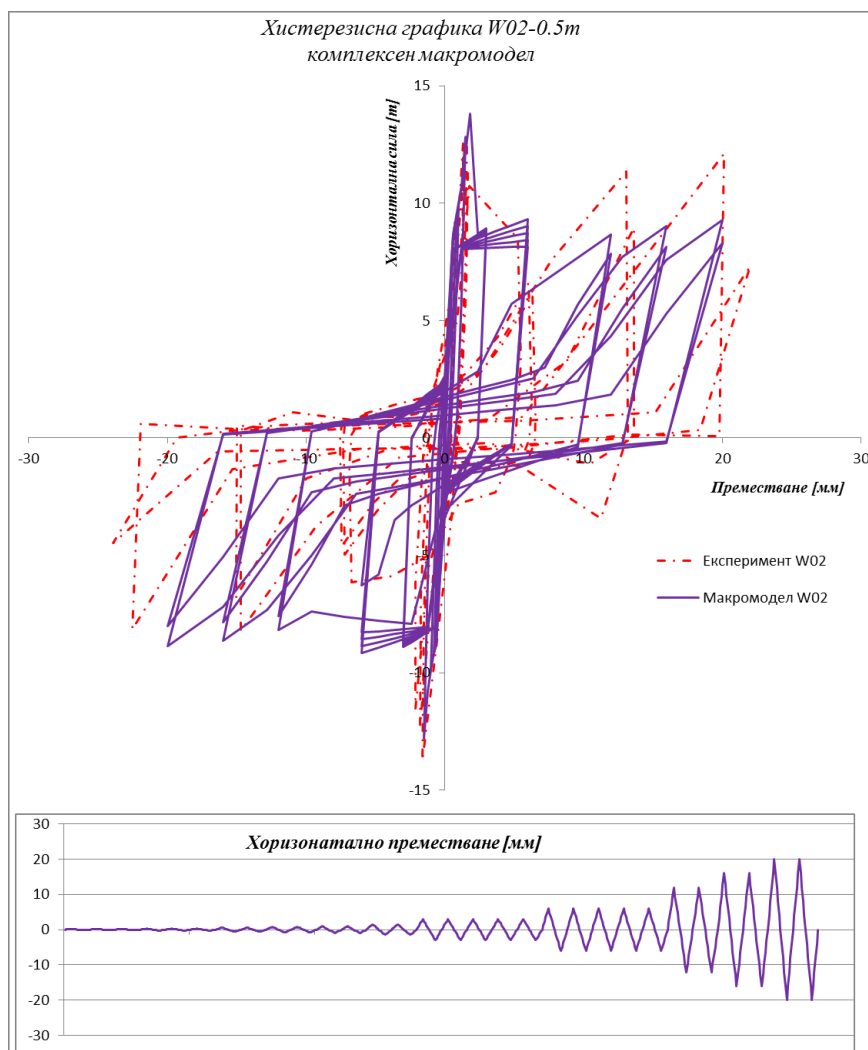
**Фиг. 4.2. Графики на енергиен баланс, входяща и дисипирана енергия на макромодел W01**

## 4.2. Комплексен макромодел W02

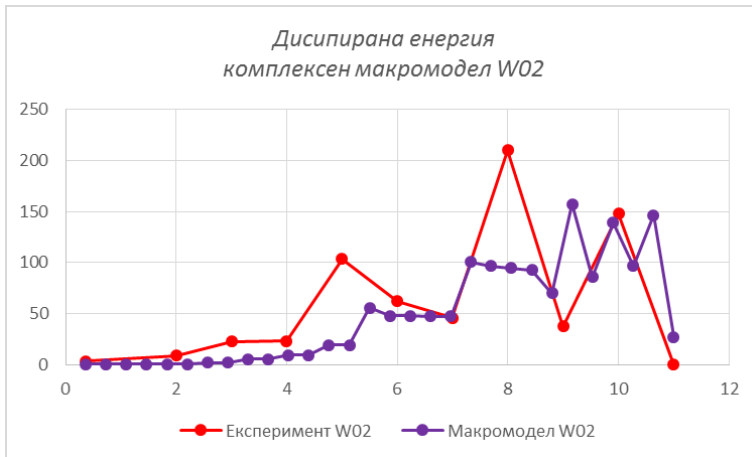
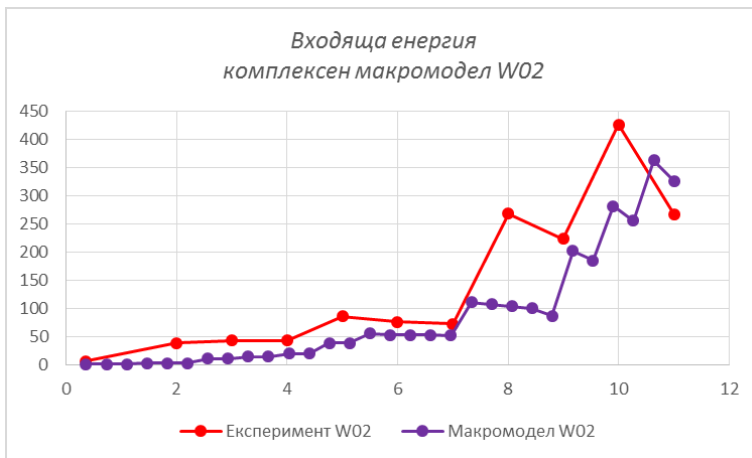
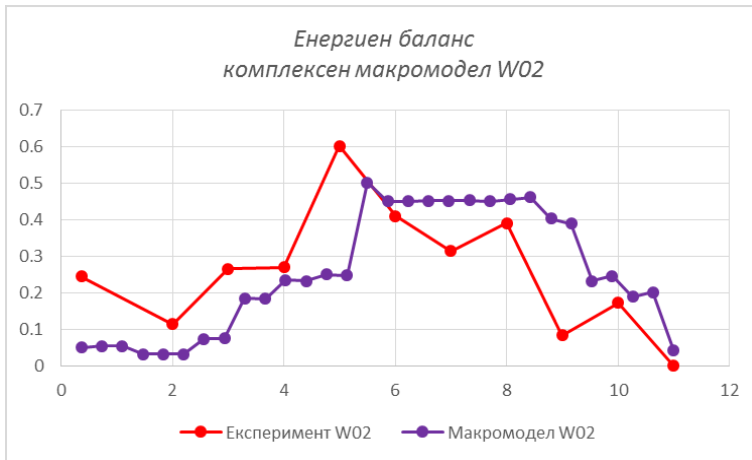
На фигура 4.3 е показана хистерезисна графика на комплексен макромодел W02 и графика на хоризонталното преместване, с което се натоварва модела в SeismoStruct. Хистерезисната графика на модела е сравнена с хистерезисната графика, получена от експерименталното изследване на образец W02.

На фигура 4.4 са показани и сравнени графиките на енергийния баланс, входящата и дисипирана енергия на комплексен макромодел W02 и експериментален образец W02.

Енергийните графики на макромодел имат по-ниски стойности от тези, получени от експеримента. Въпреки това поведението на увеличаване и спад в стойностите е еднакво.



**Фиг. 4.3. Хистерезисна графика на поведение на макромодел W02. Графика на приложеното въздействие във вид на хоризонтално преместване**

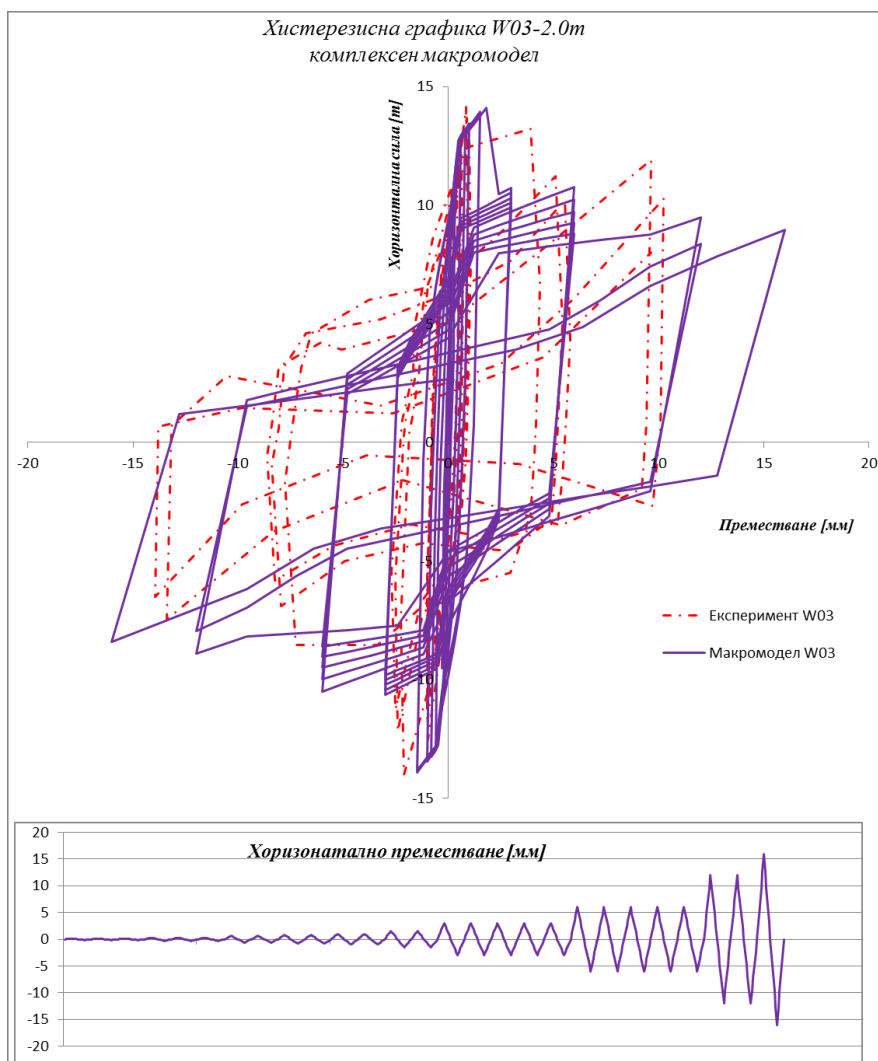


**Фиг. 4.4. Графики на енергиен баланс, входяща и дисипирана енергия на макромодел W02**

### 4.3. Комплексен макромодел W03

На фиг. 4.5 е показана хистерезисна графика на комплексен макромодел W03 и графика на хоризонталното преместване, с което се натоварва моделът в SeismoStruct. Хистерезисната графика на модела е сравнена с хистерезисната графика, получена от експерименталното изследване на образец W03.

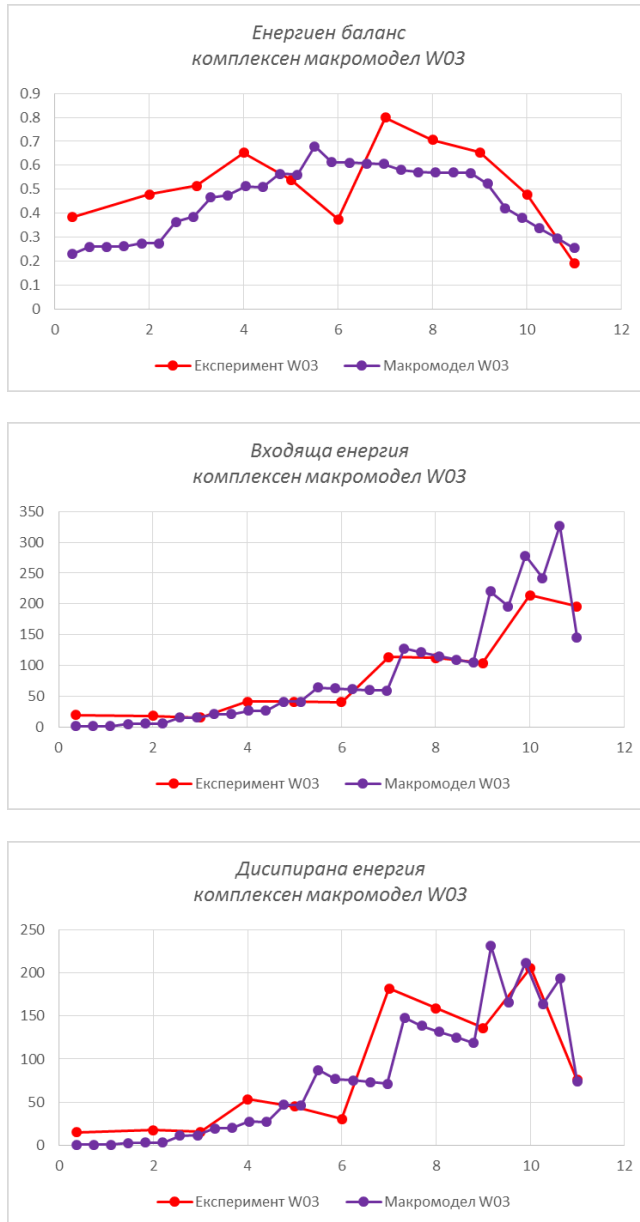
Стойностите на коравината и максималната носеща способност са еднакви. С този комплексен макромодел се обхващат много добре първите два етапа на работа на едропанелната хоризонтална fuga. В третия етап, на големи премествания, експерименталният образец демонстрира принципнат вид на хистерезисните примки. Тази особеност липсва в хистерезисната графика на макромодела.



Фиг. 4.5. Хистерезисна графика на поведение на макромодел W03. Графика на приложеното въздействие във вид на хоризонтално преместване

На фиг. 4.6 са показани и сравнени графиките на енергийния баланс, входящата и дисипирана енергия на комплексен макромодел W02 и експериментален образец W02.

Въпреки някои различия в хистерезисните графики, графиките на енергийния баланс, входящата и дисипираната енергия имат много сходен характер. Графиката на енергийния баланс има тенденция за увеличаване в началото, последвано от спад в стойностите. Графиките на входящата и дисипираната енергия имат тенденция за увеличаване с увеличаване на циклите на натоварване.



**Фиг. 4.6. Графики на енергиен баланс, входяща и дисипирана енергия на макромодел W03**

## 5. Заключение

Предложените макромоделни на хоризонтални съединения показват сходно поведение и резултати спрямо това на експерименталните образци. Използването на такива макромоделни прави възможно отчитането на приложената нормална натискава сила в различни етажи от едропанелната конструкция, като в същото време намалява изчислителното време. Макромоделите са подходящи за нелинейни статически и динамични анализи (Pushover и Time-history). Насока за бъдеща работа е въвеждането на такива макромоделни в тримерен изчислителен модел на едропанелна конструкция.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Косев, С.* Изследване на носеща и деформационна способност на хоризонталните фуги. // сп. Строителство, 1966.
2. *Косев, С.* Податливост на съединенията на ЕПЖС на срязване. // сп. Строителство, 1979.
3. *Косев, С.* Носеща способност на армирани дюбели в ЕПЖС. // сп. Строителство, 1983.
4. Seismosoft, SeismoStruct, [www.seismosoft.com](http://www.seismosoft.com), 2015.

## COMPILATION OF MACROMODELS OF HORIZONTAL CONNECTIONS FROM DIFFERENT STORIES OF LARGE PANEL PREFABRICATED BUILDINGS

A. Nikolov<sup>1</sup>, D. Atanasov<sup>2</sup>

*Keywords: large panel prefabricated buildings, horizontal connection, macromodels*

## ABSTRACT

This paper presents macromodels of horizontal connections from three different stories of large panel prefabricated buildings. The prefabricated building is from the most common fabrication type Бс-69-Сф. The macromodels of the joints are developed in SeismoStruct software using nonlinear link elements. The macromodels describe performance of experimental specimens of horizontal connections.

---

<sup>1</sup> Atanas Nikolov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: [nikolov\\_at@abv.bg](mailto:nikolov_at@abv.bg)

<sup>2</sup> Demir Atanasov, Eng. PhD Student, Dept. "Reinforced Concrete Structures", UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: [dipl.eng.d.atanasov@gmail.com](mailto:dipl.eng.d.atanasov@gmail.com)