

## ПОВЕДЕНИЕ НА ХОРИЗОНТАЛНА ЕДРОПАНЕЛНА ФУГА

Радослав Орлинов<sup>1</sup>, Демир Атанасов<sup>2</sup>

*УАСГ, катедра „Масивни конструкции“*

## PERFORMANCE OF HORIZONTAL JOINT BETWEEN PREFABRICATED LARGE PANELS

**Radoslav Orlinov, Demir Atanasov**

*UACEG, department of Reinforced concrete structures*

***Abstract:** Result from an experimental investigation of large panel joints are presented in this paper. The horizontal connection is between two panels and consists of two reinforced joints. The characteristics and dimensions of the elements are implemented from the most common fabrication type of prefabricated building - Бс-69-Сф. Details about large panel connections performance and details about macromodels assumptions are discussed. Macromodels of the joints are developed in SeismoStruct software using nonlinear link elements. The performance of the experimental specimens and macromodels are compared and discussed.*

***Key words:** Large panel prefabricated buildings, large panel connections*

### 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.

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:

---

<sup>1</sup> Р.Орлинов, д-р инж., гр.София, бул.Хр.Смирненски 1, orlinov\_fce@uacg.bg

<sup>2</sup> Д.Атанасов, дипломант, гр.София, бул.Хр.Смирненски 1

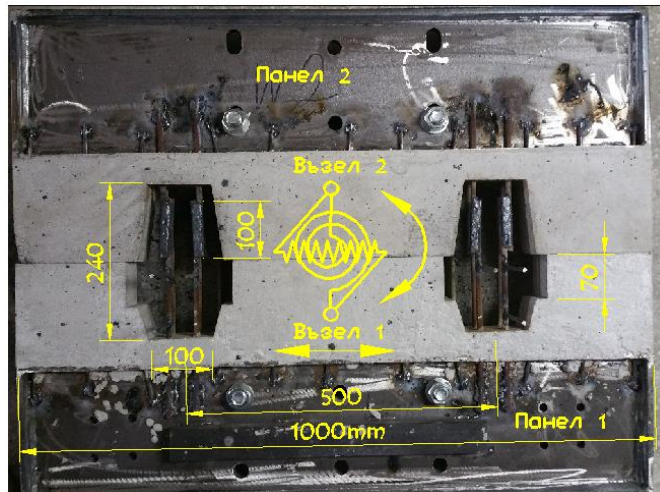
„срязване“ (shear slip) и „завъртане“ (rocking). Двата механизма работят съвместно и се проявяват в различна степен в зависимост от приложената нормална сила.

Панелните съединения, подложени на циклично знакопроменливо натоварване, каквото е сеизмичното, преминават през различни стадии на напрегнато и деформирано състояние с различна степен на взаимовръзка между бетон и стомана. Три на брой са механизмите, чрез които се осъществява трансферът на усилията през съединенията: триене, съпротива на замонолитващия бетон на срязване посредством образуване на натисков диагонал и дюбелно действие на армировката [5]. Механизмът на триене се състои и две компоненти: триене в резултат нормална натискова сила от вертикални постоянни товари и триене следствие дюбелното действие на армировката (dowel action). Тези три механизма са взаимосвързани и се проявяват в различна степен при различните стадии на работа на съединенията.

## **2. Експериментално изследване**

През 2015г. в Лабораторията по Строителни конструкции на УАСГ бе проведено експериментално изследване на ключова част от едропанелна хоризонтална фуга. 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 долен стенен панел са с дебелина 70mm и са армирани с пръти  $\phi 6,5$  от стомана В235 (А1), 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 В420 (АIII), които в последствие са заварени. Разстоянието между двете панелни връзки е подбрано спрямо възможностите на изпитващия стенд и приблизително отговаря на разстоянието при къси стенни панели. В реалност между горния и долния стенен панел се намира елементът за плоча с дебелина 140 mm. За да се оптимизира производството на образците е прибегнато до увеличаване на височината на долния панел със 70mm и поставянето на кухини между съединенията и тази допълнителна стоманобетонна част. По този начин се постигат коректните размери на съединенията без допълнителни елементи за плоча и се запазва коректното поведение и възможността за реализация на триене във фугата. Проектирани са стоманени закладни части към стенните панели, за да се осъществи връзката им с натоварващия стенд.

Образците са еднотипни и са изпитани в три варианта - W01, W02 и W03, като разликата между тях е прилаганата нормална сила. Образец W01 е подложен на нормална сила от 5.0t, образец W02 – 0.5t и образец W03 – 2.0 тона. По този начин се обхваща работата на едропанелната хоризонтална фуга в различните етажи от конструкцията.



**Фиг. 1.** Образец на хоризонтална фуга преди замонолитване в мащаб 1:2

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

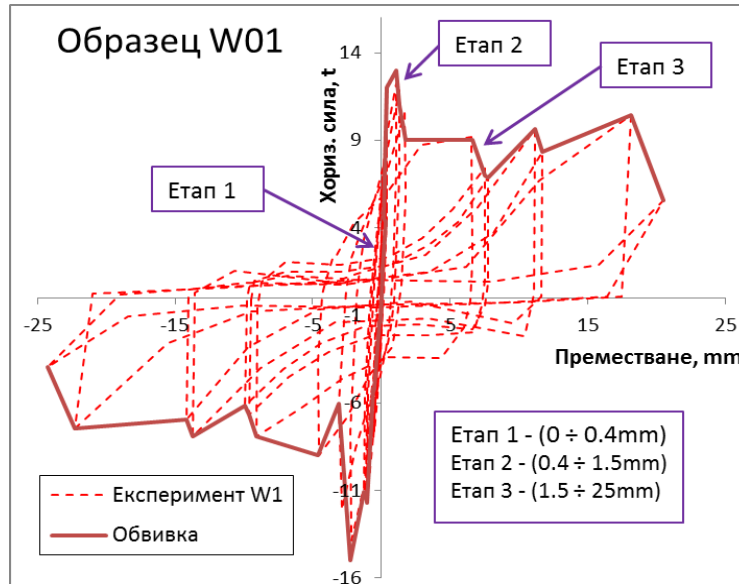
Експериментът е проведен с контрол по преместванията, които се задават по електронен път на хидравличния актуатор. Приложеното въздействие е циклично, знакопроменливо и с увеличаваща се интензивност. Хоризонталното натоварване върху образците се осъществява от серво-хидравличен цилиндър с максимална сила от 100 тона, който привежда в движение горния стенопанел 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) стенопанел. Така се имитира реалната работа на хоризонталната фуга, която е съвкупност от срязване и пластична ротация с приложена нормална натискава сила.

### **3. Етапи на работа на едропанелно съединение**

Могат да се разграничат три етапа на работа на едропанелно съединение:

- Първи етап – Еластичен (до 0,4mm хоризонтално преместване)

- Втори етап - Еласто-пластичен до срязване на замолитващия бетон (от 0,4mm до 1,5mm хоризонтално преместване)  
 - Трети етап - големи хоризонтални премествания (над 1,5mm);  
 Тези три етапа се наблюдаваха при всеки един от проведените експерименти.  
 На фиг.3 са показани резултатите от изпитването на образец W01 и обвивната графика, даваща връзката между хоризонтална сила и преместване.



**Фиг. 3.** Етапи на работа на едропанелни съединения

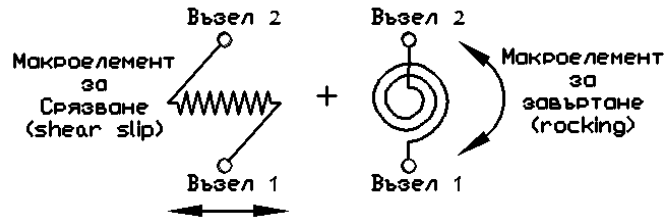
Еластична работа на съединенията (първи етап) се приема при малки хоризонтални премествания до около 0,4 mm. Моментът на образуване на първите диагонални пукнатини в замонолитващия бетон дава началото на еласто-пластичната работа (втори етап). Тогава започва нелинейната работа на съединението, която 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 долен 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 дюбелното действие на армировката.

Обект на настоящата разработка са първите два етапа на работа, тъй като след срязване на замонолитващия бетон в съединенията се предполага, че междуетажните премествания ще станат неконтролируеми, а ефектите от II-ри ред значителни. Това би довело до значителни повреди на стенните панели и до евентуално разрушение на конструкцията.

#### 4. Макромодели на едропанелна хоризонтална фуга

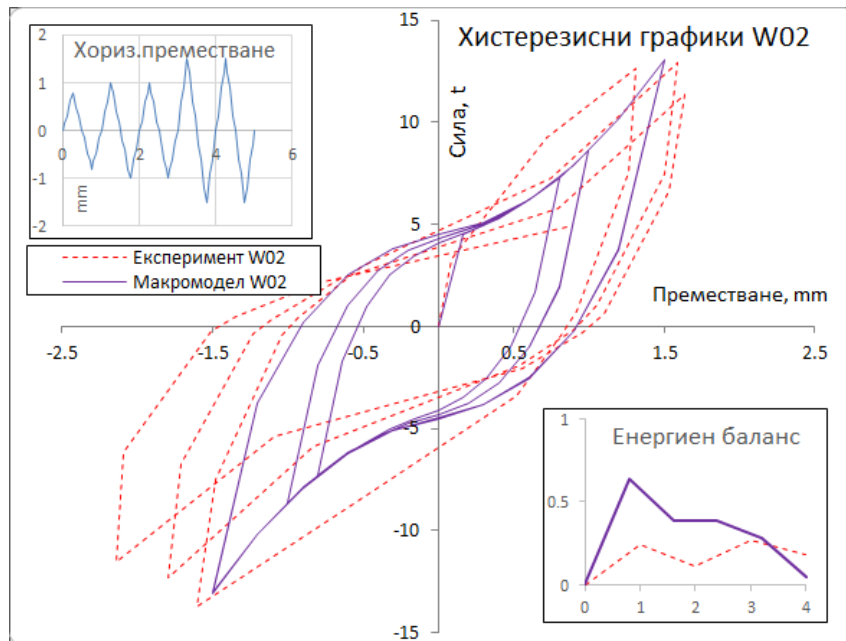
Разработени са макромодели, целта на които е да опишат най-точно поведението на едропанелната хоризонтална фуга, получено от експерименталните изследвания. Използван е програмният продукт SeismoStruct [1], който предоставя възможност за използване на пружинни елементи с нелинейни характеристики (link 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 едропанелната хоризонтална fuga. Експериментално изследваната едропанелна fuga е представена чрез макромодел за срязване (хоризонтални премествания) комбиниран с макромодел за ротация – фиг.4.



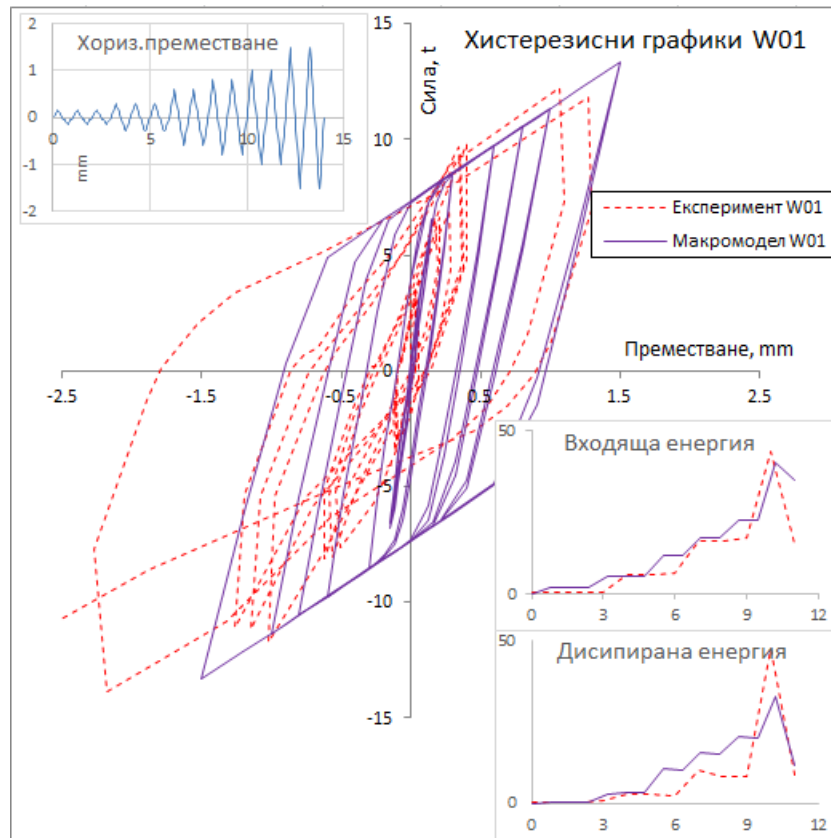
Фиг. 4. Схема на макроелементи

Недостатък на SeismoStruct е независимостта на степените на свобода на пружинните елементи (coupling), което засяга един от главните механизми на работа на едропанелните съединения, а именно триенето. Този проблем е преодолян чрез косвено отчитане на триенето за всеки отделен макромодел. Триенето от нормалната натискава сила предизвиква повишаване на носещата способност и коравината на цялата едропанелна fuga. Но при взаимната ротация между двата стенни панела едното съединение винаги е с по-голяма натискава сила от другото. Както е известно от [2, 3, 4] податливостта и носещата способност на такива едропанелни съединения се различава, както се различава и поведението им. Различният принос на двете съединения в композицията на едропанелната fuga обуславя нейното цялостно поведение. Ето защо се прибегва към използването на макромодели за цялата едропанелна fuga, а не за отделните съединения и последващото им суперпониране. По този начин се предлагат различни макромодели за натоварените с различна стойност на нормалната натискава сила хоризонтални fugи. Така механизмът на триенето наред с различаващите се характеристики на двете съединения съвкупно са представени в поведението на макромодела.



Фиг. 5. Хистерезисни графики на образец W02

Показани са резултатите от експерименталното изследване на образец W01 и W02 и сравнението им с резултатите от аналитични макромодели - фиг.5 и фиг.6. Хистерезисните графики са във вид на хоризонтално преместване и съответна сила. Прави впечатление разликата между формата на хистерезисните графики, но стойностите на коравината и максималната носеща способност са близки. Показани са графиките на дисипирана и входяща енергия, както и тяхното отношение в графиката на енергийния баланс.



Фиг. 6. Хистерезисни графики на образец W01

## 5. Заключение

Предложените макромодели на хоризонтална едропанелна фуга показват сходно поведение и резултати спрямо това на експерименталните образци. Използването на такива макромодели 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 макромодели в тримерен изчислителен модел на едропанелна конструкция.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Seismosoft, SeismoStruct, [www.seismosoft.com](http://www.seismosoft.com), 2015
- [2] Косев, С., Изследване на носеща и деформационна способност на хоризонталните фуги, сп.Строителство, 1966.
- [3] Косев, Податливост на съединенията на ЕПЖС на срязване, Строителство, 1979.
- [4] Косев, Носеща способност на армирани дюбели в ЕПЖС, сп.Строителство, 1983.
- [5] Орлинов, Р., Нелинейно поведение на едропанелни конструкции, Дисертация, УАСГ, 2015.