
ЧИСЛЕНИ МОДЕЛИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НОСИМОСПОСОБНОСТТА НА ОГЪВАЩ МОМЕНТ НА ВЪЗЕЛ РИГЕЛ – КОЛОНА, РЕШЕН С ФЛАНЦЕВО СЪЕДИНЕНИЕ

Д. Желев¹

Ключови думи: фланцеви съединения, предварително налягане, числени модели

Научна област: строителни конструкции

РЕЗЮМЕ

В материала е разгледан вариант за числено моделиране на възел ригел-колона, решен с фланцево съединение при предварително налягнати болтове и при неналягнати болтове. Разгледан е вариант със и без напречни ребра в колоната. Направено е сравнение на резултатите с експериментално изследване [1].

1. Увод

Численият подход за решение на възли с фланцево съединение отдавна е намерил своето място в практиката и в научните изследвания. С такъв подход може да използваме материал с нелинейно поведение, предварително налягане на болтове, контактна задача, триене между повърхности. В рамките на научно изследване с решение с крайни елементи се получава богат набор от резултати, като някои от тях е невъзможно да се получат с тест на натурен образец, например наляженията в контактната зона между фланцевата плоча и пояса на колоната. Цената на натурен експеримент е съществено по-голяма от стойността на числово моделиране и това също е причина за внедряване на числовите симулации в изследователската работа. За практически цели използването на модел за определяне на носимоспособността на възел е по-времеемко, отколкото класическо „ръчно“ решение, но при трудни възли е незаменим подход. В това изследване моделът с крайни елементи е направен посредством софтуерния продукт Mechanical APDL (ANSYS) 14.0. Резултатите ще се сравнят с експериментални резултати от публикация [1].

¹ Димо Желев, инж., редовен докторант, кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: dimosiderov@abv.bg

ANSYS разполага с богат набор крайни елементи, подходящи за решение на възли с фланцеви съединения, с отчитане на нелинеен материал, напрегане на болтове, контактна задача.

Първооткривател на моделирането на възли с фланцеви съединения е N. Krishnamurthy. В публикация [2] е изследвал много на брой възли с фланцеви съединения. Авторът създава подход за определяне дебелината на фланцевата плоча и подходящо болтово съединение, изцяло базиран на получените резултати, като, разбира се, е отчетено: поведението на контактната зона, лостовият ефект, нелинейността на материалите. Подходът се отличава с лекота на използване и съответно е с практическа насоченост. Методът е приет в AISC Steel Construction Manual, издание 8.

Фланцеви съединения изследват с крайни елементи Mohammed R. Bahaari и Archibald N. Sherbourne. Изследванията им са за поведение на Т-парче [4] и възел ригел-колона с фланцево съединение [5].

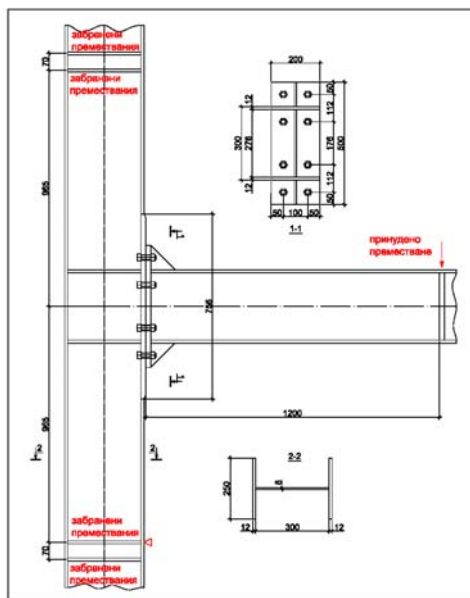
Изследователите O.S. Bursi и J.P. Jaspart определят зависимостта момент-ротация с модел с тримерни крайни елементи, използвайки ABAQUS [7].

Darko Beg, Erik Zupančič и Ioannis Vayas получават ротационния капацитет на възел, като разработват и ръчен метод [9].

J.A. Swanson, D.S. Kokan и R.T. Leon [10] решават Т-парче с числен метод (ABAQUS), като подчертават ползотворността на модела с крайни елементи.

Gang Shia, Yongjiu Shia, Yuanqing Wang и Mark A. Bradfordb [1] осъществяват експериментална програма за намиране на зависимостта момент-ротация на възел с фланцево съединение при монотонно натоварване. Сравняват се резултати от експеримента с резултати от модел с крайни елементи, като не се наблюдават съществени разлики.

2. Постановка числено симулиране



Фиг. 1. Геометрия на изследвания възел

Геометрията на възела в числения модел е пряко заимствана от публикация [1]. Ригелът е заварено 2Т-сечение с височина 300 mm, поясни плочи 200/12 mm и стъблена плоча с 8 mm дебелина. Колоната е заварено 2Т-сечение с височина 300 mm, поясни плочи 250/12 mm и стъблена плоча с 8 mm дебелина, като в зоната, в която контактува с фланцевата плоча, поясът на колоната е приет с дебелина 20 mm. Фланцевата плоча е изготвена с 20 mm дебелина, усилващите ребра на фланцевата плоча са с 8 mm дебелина.

Авторите са изследвали 8 възела с фланцеви съединения с предварително напрегнати болтове, като са направили и числово решение с ANSYS.

В настоящата публикация се разглежда експериментален образец SC2, като освен с предварително напрегнати болтове се разглежда и вариант с ненапрегнати болтове. Също се разглежда и експериментален образец SC4 с предварително напрегнати болтове. Целта на изследването е да се сравнят резултатите между експериментално изследване и числена симулация и да се направи сравнение между фланцево съединение с напрегнати и ненапрегнати болтове.

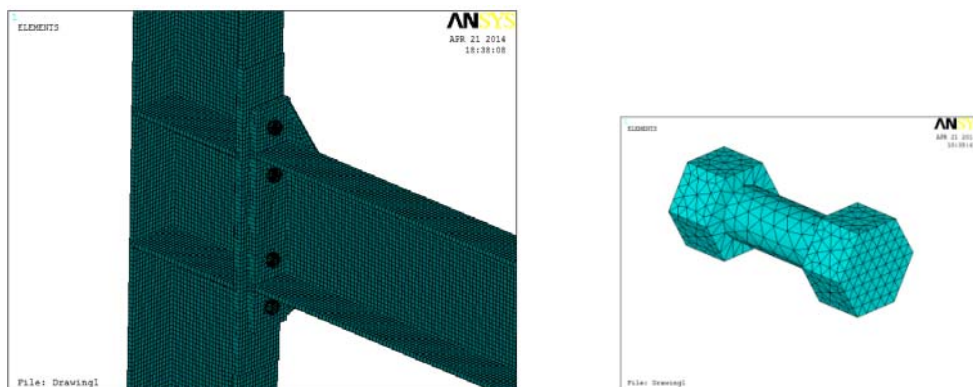
Таблица 1. Модели – пояснения

Модел	Означение в (1)	Схема
M1	SC2	фиг. 1, болтовете са M20, напрегнати с по 155 kN
M2	-	като фиг. 1, но с ненапрегнати болтове M20
M3	SC4	като фиг. 1, но без укрепващи ребра при сечението на колоната

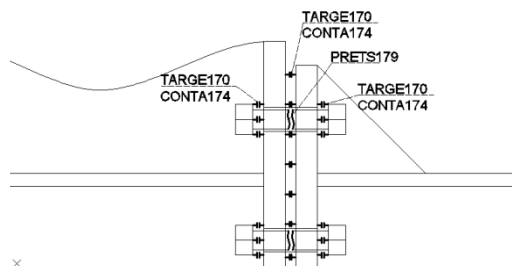
2.1. Крайни елементи

За числовото решение на възела е използван Mechanical APDL (ANSYS) 14.0.

Използваните крайни елементи са SHELL181 за стените на 2Т-сеченията и SOLID187 болтовете. За моделиране на контакта е използван TARGE170 и съответно CONTA174. За напрегането на болтовете е въведен PRETS179. Подробна информация за възможностите на използваните крайни елементи е посочена в [11]. Схеми на дискретизацията са представени на фиг. 2, а на фиг. 3 са описани крайните елементи за решение на контактната задача и за напрегане на болтовете.



Фиг. 2. Дискретизация на възела (отляво) и на болта (отгоре)



Фиг. 3. Крайни елементи за решение на контактната задача и за напрегане на болтовете

2.2. Материали

Използваните материали в модела с крайни елементи отговарят на използваните в експерименталната постановка в [1]. Въведени са като BISO (билинеен материал с изотропно уякчаване) за стените на 2Т-сеченията и фланцевата плоча и като MISO (мултилинеен материал с изотропно уякчаване) за болтовете, като не е въведено уякчаване, което отговаря и на приетото в публикация [1]. Коефициент на триене между повърхностите е приет 0,44.

Стените на 2Т-сеченията с дебелина над 16 mm са с модул на еластичност от 204227 MPa и граница на провлачване 363 MPa, а стените с дебелина до 16 mm са с модул на еластичност от 190707 MPa и граница на провлачване 391 MPa.

Таблица 2. Характеристики на болтове

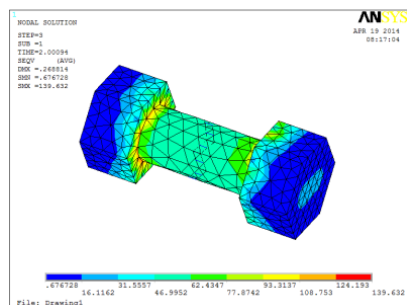
Напрежение, σ	MPa	990	1160	1160
Относителни деформации, ε	%	0,483	13,6	15

3. Резултати от числените симулации

3.1. Резултати в модел M1 и сравнение с модел SC2 (1)

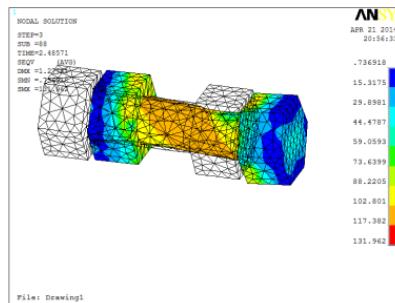
Напрежения по четвърта якостна теория при напрегане на болта с 155 kN

kN/cm²

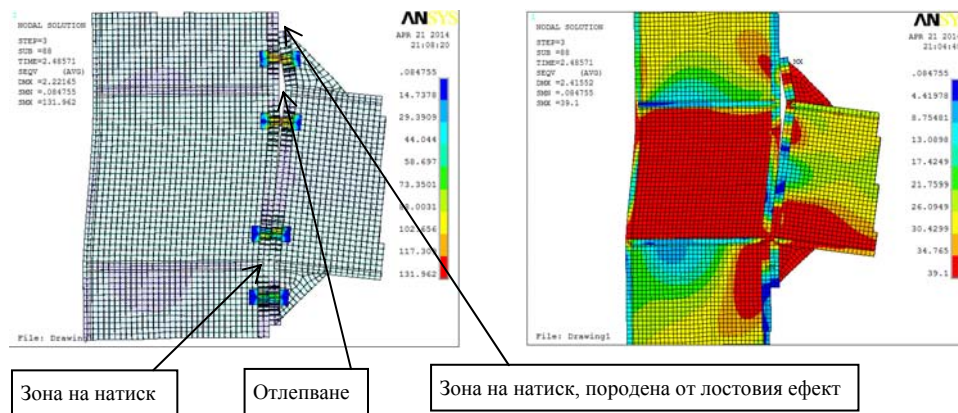


Напрежения по четвърта якостна теория в първа болтова редица при достигане на носимоспособността на огъващ момент на възела

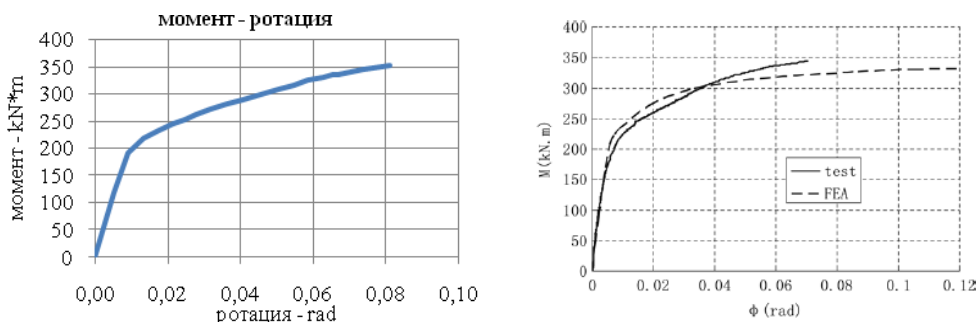
kN/cm²



Фиг. 4. Напрежения в болтово съединение



Фиг. 5. Напряжения по четвърта якостна теория в елементите във възела



Фиг. 6. Зависимост момент-ротация в модел M1, отговарящ на SC2 - (1) отляво резултат от числен модел, отдясно – от експеримент

В числовия модел, означен като M1, носимоспособността на огъващ момент е 351 kNm. Носимоспособността на огъващ момент в експерименталния образец е 343,7 kNm. Разликата е 2,1%, което показва добро съвпадение.

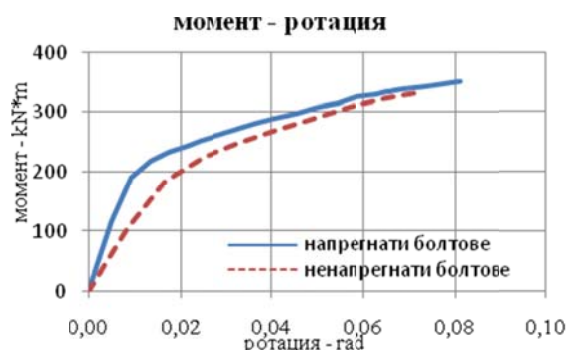
3.2. Резултати от модел M2 и сравнение с M1

При сравнение на резултатите от модела с напрегнати болтове M1 и модела с ненапрегнати болтове M2 се наблюдава, че крайната носимоспособност на огъване на възела и носимоспособността му в еластичен стадий са с близки стойности, докато очаквано се наблюдава значителна разлика в коравината.

Началната коравина $S_{j,ini}$, както е дефинирана в (12), е коравината на ротационна пружина. Коравината на ротационна пружина е реципрочната стойност на завъртане от момент, равен на единица.

За модел M1 (с напрегнати болтове) началната коравина е

$$S_{j,ini_M1} = \frac{1}{\frac{\varphi_{el_M1}}{M_{el}}} = \frac{1}{\frac{0,00933}{191\text{kN}\cdot\text{m}}} = 20472\text{ kN}\cdot\text{m}.$$



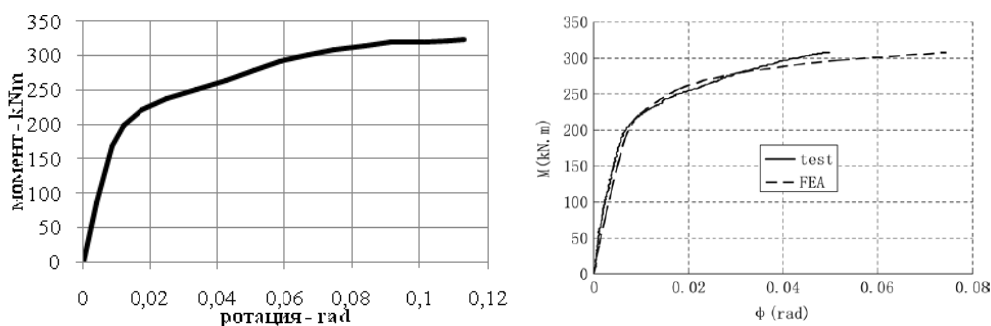
Фиг. 7. Зависимост момент-ротация при ненапрегнати и напрегнати болтове

За модел M2 (с ненапрегнати болтове) началната коравина е

$$S_{j,ini_M2} = \frac{1}{\frac{\varphi_{el_M2}}{M_{el}}} = \frac{1}{\frac{0,01667}{191 \text{ kN*m}}} = 20472 \text{ kN*m}.$$

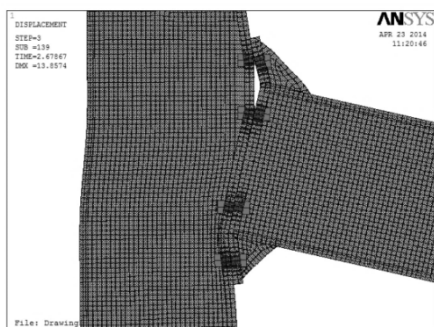
Резултатите показват, че началната коравина на възела при налягане на болтовете M20 с 155 kN е 178% от началната коравина на възела при ненапрегнати болтове.

3.3. Резултати в модел M3 и сравнение с модел SC4 (1)

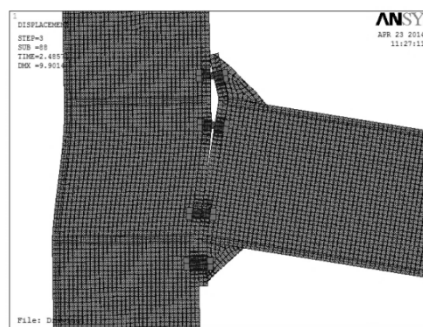


Фиг. 8. Зависимостта момент-ротация на възел M3 отляво е резултат от числен модел, а отдясно – от експериментален

В числен модел M3 се достига до носимоспособност от 320 kNm, докато в експериментален образец SC4 носимоспособността е 308 kNm, разликата е 3,9%, което показва добро съвпадение. Очаквано се получава, че достигнатата носимоспособност на огъващ момент на възела без напречни ребра в колоната, е по-малка от носимоспособността му при наличие на ребра.



Фиг. 9. Модел М3 – Деформирана схема



Фиг. 10. Модел М1 – Деформирана схема

6. Заключение

Числено моделиране на възли с фланцеви съединения дава резултати, много близки до експерименталните. Минималните разлики се дължат на неотчетените несъвършенства в експерименталните образци. Избраните равнинни крайни елементи за числена симулация на 2Т-сеченията вместо обемни крайни елементи, водят до ускоряване на работния процес, без да влошават видимо качествата на резултатите.

При сравнение на числените модели с напрегнати и ненапрегнати болтове не се забелязва промяна на носимоспособността на възела, но разликата в коравината е съществена.

Наличието на укрепващи ребра в колоната води до увеличение на носимоспособността на възела.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gang Shia, Yongjiu Shia, Yuanqing Wang, Mark A. Bradford*. Numerical simulation of steel pretensioned bolted end-plate connections of different types and details. *Engineering Structures*. 30, 2008.
2. *Krishnamurthy, N.* A Fresh Look at Bolted End-Plate Behavior and Design. *Engineering Journal*. AISC, 1978, Том 15, 2, стр. 39-49.
3. *Sherbourne, Archibald N., Bahaari, Mohammed R.* 3D Simulation of Bolted Connections to Unstiffened Columns – I. T-stub Connections. *Journal of Constructional Steel Research*. Elsevier, 1996, Том 40, 3.
4. *Mohammed R. Bahaari, Archibald N. Sherbourne.* 3D Simulation of Bolted Connections to Unstiffened Columns II. Extended Endplate Connections. *Journal of Constructional Steel Research*. Elsevier, 1996, Том 40, 3.
5. *O. S. Bursia, J. P. Jaspert.* Basic issues in the finite element simulation of extended end plate connections. *Computers and Structures*. 69, 1998.
6. *Darko Beg, Erik Zupančič, Ioannis Vayas.* On the rotation capacity of moment connections. *Journal of Constructional Steel Research*. 60, 2004.
7. *J. A. Swanson, D. S. Kokan, R. T. Leon.* Advanced finite element modeling of bolted Tstub connection components. *Journal of Constructional Steel Research*. 58, 2002.
8. Mechanical APDI (ANSYS) 14.0 Documentation.
9. БДС. БДС EN 1993-1-8 ПРОЕКТИРАНЕ НА СТОМАНЕНИ КОНСТРУКЦИИ Част 1-8: Проектиране на възли.

Постъпила: септември 2014 г.

NUMERICAL SIMULATION OF END PLATE CONNECTION

D. Zhelev¹

Keywords: end plate, finite element analysis

Research area: civil engineering structures

ABSTRACT

The paper discusses the possibility for numerical modelling of end plate connection for the beam – column joint. Several models are made, using pre-tensioned and non-pre-tensioned bolts. The general purpose software ANSYS is used for the numerical simulation. The results are compared with the test results, verifying that the numerical model can simulate the behaviour of the connection with good precision.

¹ Dimo Zhelev, Eng. PhD student, Dept. “Steel, Timber and Plastic Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: dimosiderov@abv.bg