

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ЯКОСТНИТЕ ИЗЧИСЛЕНИЯ И ИЗПИТВАНИЯ НА ВАГОН СЕРИЯ *Rgs*

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULT OF THE STATIC STRENGTH CALCULATIONS AND STRENGTH TESTS OF A WAGON SERIES *Rgs*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ИСПЫТАНИЙ ВАГОНА СЕРИИ *Rgs*

Assoc. Prof. Dr. Eng. Stoilov V.
Technical University of Sofia, Faculty of Transport

Abstract: The comparative analysis is based on the results of the static strength analysis of the body of a wagon series *Rgs* and the tests that have been carried out. Strength calculations have been made using the Finite Elements Method in the Railways Department of the Technical University – Sofia and the tests of the wagon have been carried out in the National Research Institute for Transport. It was found that the stress results are very close especially in the areas where they reach their maximal values. This proves that a suitable calculation model with a relatively small number of finite elements has been developed. This allows solving a wide range of problems concerning the improvement of the body of wagons with similar construction.

KEYWORDS: WAGON, STRENGTH, CALCULATIONS

1. Въведение

В статията е направен сравнителен анализ на резултатите от статичния якостен анализ на носещата метална конструкция на вагон серия *Rgs* и проведените изпитания. Вагонът е проектиран във Вагоно-ремонтен завод-99 АД гр. Септември. Изчисленията са направени по Метода на крайните елементи в катедра “Железопътна техника” при Технически университет – София. Използваните изчислителни модели подробно са описани в [14]. Изпитванията са проведени в Националния изследователски институт по транспорта [13]. Теоретичните и експериментални изследвания са направени в пълно съответствие с Евростандарт DIN EN 12663, TSI и фиш 577 на Международния железопътен съюз (UIC). Според тях са предвидени над 35 режима на натоварване, позволяващи пълно изследване на напреженията и преместванията в коша на вагона. Поради ограничения обем са представени резултатите само за 3 от задължителните режима: натиск по буферите, натиск по автосцепката и опън по автосцепката. Избрани са режими, при които силите се прилагат само по една от координатните оси. Това позволява да се избегнат някои субективни фактори, произтичащи от неправилно разположение на силовъвеждащите елементи. Броят на точките, в които се извършва сравнението също е ограничен. Отчетени са само тези, които имат относително високи стойности или са разположени в зони с изявени концентратори на напреженията.

2. Анализ на резултатите

В статията са представени: диаграми на напреженията, получени по изчислителен път (фиг. 1, 5, 6, 7 и 8), схеми на местоположението на възприемателите (фиг. 2, 3 и 4), конкретни стойности на теоретично получените напрежения (фиг. 6 и 8) и таблици за сравняване на резултатите (табл. 1, 2 и 3). В таблиците са използвани следните означения: **ТВ №** – номер на тензометричния възприемател; **МКЕ** – резултати от изчисленията по Метода на крайните елементи; **Изпитване** – резултати от изпитването; **%** – процентната разлика между стойностите получени при изпитване и по изчислителен път.

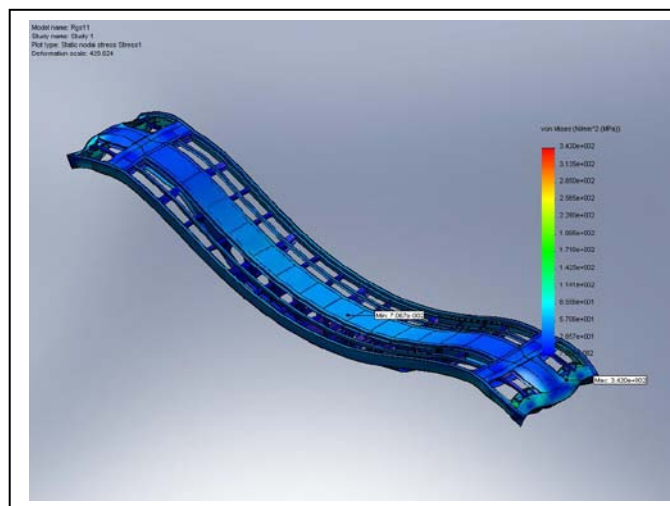
2.1. Режим “Натиск по буферите със сила $2 \times 1000 \text{ kN}$ ”

Според изчисленията напреженията в рамата на вагона са със сравнително малка стойност. Така например в страничните греди (фиг. 1) те се изменят в границите от 12 до 136 МПа; в двойно-Т-образните греди, разположени срещу буферите – от 68 до 119 МПа; в обшивката над гръбначните греди – от 16 до 89 МПа; в гръбначните греди – от 28 до 141 МПа; в челните греди – от 57 до 178 МПа.

Максимални напрежения са получени в зоната на прехода между челната греда и надлъжните греди за тегличните

съоръжения – 342 МПа. Напрежения по-големи от 100 МПа са отчетени в ограничен брой сечения, които се намират в зони с ясно изразени концентратори на напрежения – ребра от челната греда, отвори в същата и в близост до опорите на ресорните стойки.

При изпитанията са регистрирани напрежения близки по стойност и разпределение до получените по теоретичен път. Сравнителен анализ на резултатите е предложен в табл. 1.



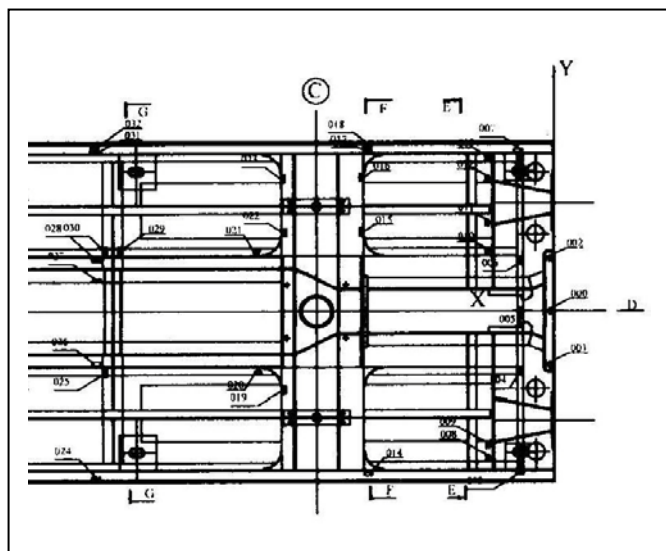
Фиг. 1.

Таблица 1.

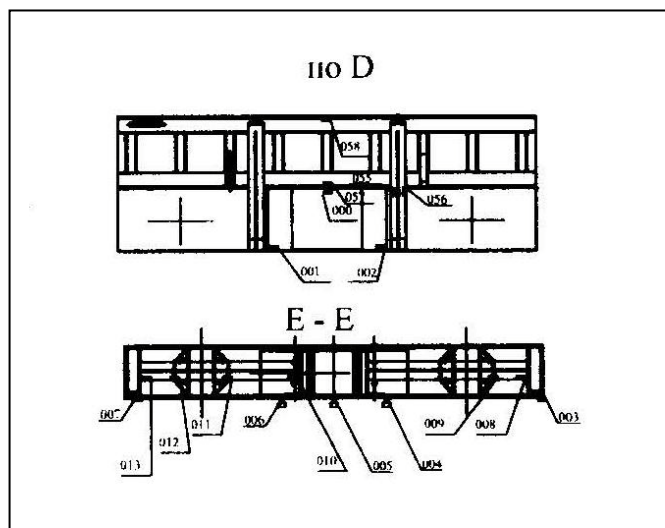
ТВ № (Датчик)	Натиск по буферите		
	Изпитване	МКЕ	%
001≡002	196.50	228.70	14.08%
002	243.60	228.70	-6.52%
003≡007	128.00	124.60	-2.73%
007	133.00	124.60	-6.74%
004	110.70	97.00	-14.12%
005	165.80	151.20	-9.66%
010	22.70	57.10	60.25%
026	110.70	108.30	-2.22%
027	77.60	76.60	-1.31%

В таблицата напреженията са дадени по модул.

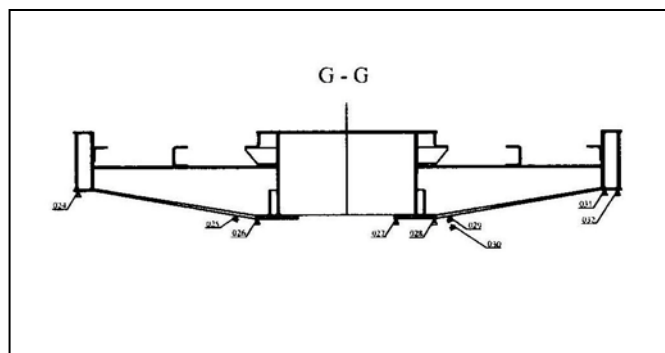
Анализът на данните от табл. 1 показва, че е налице добро съвпадение на резултатите. Специален коментар следва да се направи на измерените стойности на симетрично разположените датчици 0002 и 003 $\equiv$ 007. За двоицата 003 $\equiv$ 007 е констатирана сравнително малка разлика, която е в границите на допустимото отклонение. При възприемателите 001 и 002 измерените напрежения се различават с 24%, което е недопустимо високо отклонение. То може да се дължи на следните по-важни причини: грешка при залепване и/или разполагане на възприемателите; проблем на самите датчици; неточности при изработване на носещата конструкция и др.



Фиг. 2.



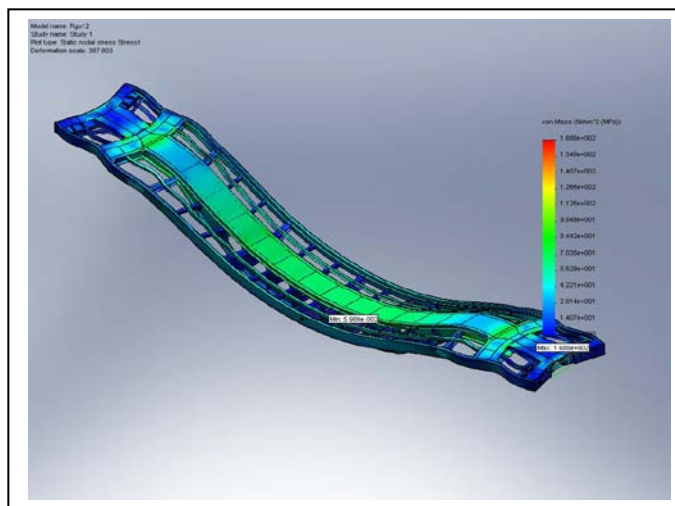
Фиг. 3.



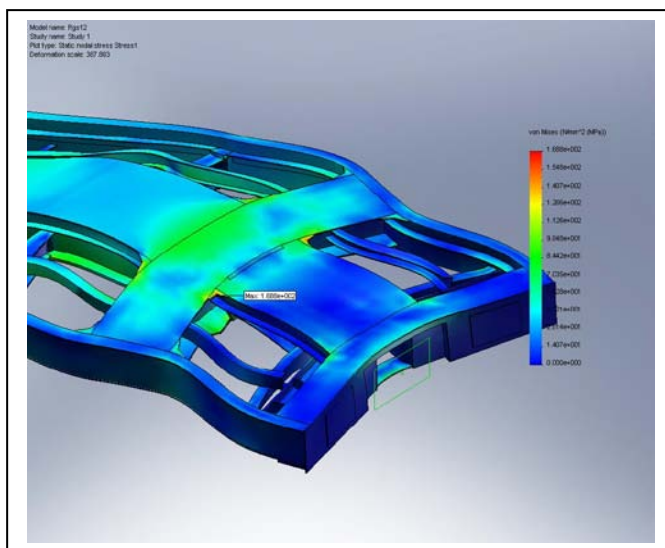
Фиг. 4.

2.2. Режим “Натиск по автосцепката със сила 1x2000 kN”

Напреженията, получени след пресмятане на носещата метална конструкция показват, че общото якостно състояние на вагона е много добро. Рамата е напрегната сравнително равномерно (фиг. 5), което говори за правилен подбор на параметрите на използваните материали – греди и листов стомана. Това ще доведе до приблизително еднаква дълготрайност и надеждност на конструктивните елементи на вагона.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

Според изчисленията максимални стойности на напреженията са получени в преходите (ребрата) между централно-болтовите греди и надлъжните греди за тегличните съоръжения (фиг. 6). Те достигат до 168,8 МПа и са по-ниски от допустимите повече от 2 пъти.

Други относително високи напрежения са отчетени в централно-болтовата греда (до 126 МПа) и гръбначните греди – до 112 МПа.

При изпитанията в рамата са регистрирани максимални напрежения в границите до 113,9 МПа (датчик № 26 на фиг. 2 и фиг. 4) и 109,5 МПа (датчик № 27) в зоната на гръбначната греда. Останалите напрежения са с относително малки стойности.

Част от резултатите от изчисленията и изпитанията са представени в таблица 2.

Таблица 2.

ТД № (Датчик)	Натиск по автосцепката		
	Изпитване	МКЕ	%
001≡002	0.40	4.00	90.00%
002	4.20	4.00	-5.00%
003≡007	3.80	4.00	5.00%
007	4.20	4.00	-5.00%
004	20.70	17.70	-16.95%
005	45.80	42.20	-8.53%
010	19.50	18.50	-5.41%
026	113.90	112.60	-1.15%
027	109.50	106.40	-2.91%

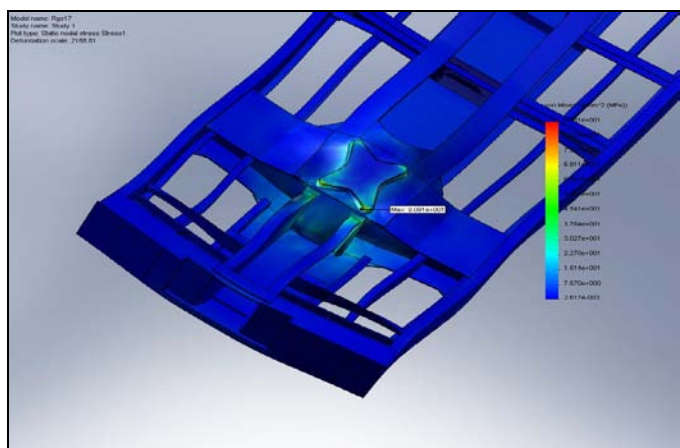
Анализът на данните от таблица 2 показва, че е налице добро съвпадение на резултатите. Констатиран са сериозни отклонения в показанията на датчици 001 и 002, които потвърждават направените изводи в т. 2.1.

2.3. Режим “Опън по автосцепката със сила 1x1500 kN”

Според изчисленията напреженията в рамата са разпределени равномерно (фиг. 7). Максималната им стойност е 90,8 МПа (фиг. 8) и са по-малки от допустимите с 76%.



Фиг. 7.



Фиг. 8.

При изпитанията в рамата са измерени максимални напрежения от 114,3 МПа, (датчик № 10 на фиг. 3), 109,5 МПа (датчик № 28) и 110,7 МПа (датчик № 27) в зоната на гръбначната греда. Останалите напрежения са с относително малки стойности.

Сравнителен анализ на резултатите от изчисленията и изпитанията е представен в таблица 3.

Таблица 3.

ТД № (Датчик)	Опън по автосцепката		
	Изпитване	МКЕ	%
001≡002	4.20	2.00	-110.00%
002	2.40	2.00	-20.00%
003≡007	16.90	15.00	-12.67%
007	17.50	15.00	-16.67%
004	12.50	11.00	-13.64%
005	39.20	17.00	-130.59%
010	114.30	65.30	-75.04%
026	109.50	75.50	-45.03%
027	110.70	78.60	-40.84%

Анализът на данните от таблици 1, 2 и 3 показва, че е налице относително добро съвпадение на резултатите за напреженията, получени по теоретичен и експериментален път. Разликите се характеризират с това, че при ниски стойности на напреженията (например под 50 МПа) е налице малко абсолютно отклонение. За същите относителното отклонение е съществено и в единични случаи достига до 110-130% (вж. ред 1 и ред 6 на табл.3). Този факт (наличие на голямо относително отклонение при малки стойности на напреженията) не може да се счита като недостатък на изчислителния модел, тъй като абсолютното отклонение е с минимална стойност.

Установените разлики между теоретичните и експериментални данни могат да се обяснят с:

- опростяванията, приети при моделирането;
- начина на залепване и/или разполагане на възприемателите;
- грешките на измерителната апаратура;
- неточностите при изработване на носещата конструкция;
- технологичните отклонения на материала;
- наличието на сериозни концентратори на напреженията;
- невъзможността да се възпроизведе точно натоварването по време на изпитанията и др.

3. Основни изводи и препоръки

Обобщавайки цялостната работа по настоящото изследване могат да се направят следните основни изводи:

1. *Констатирано е много добро съответствие на резултатите за напреженията и преместванията, получени по изчислителен път и тези от изпитването на вагона. Това позволява изчислителните модели да се използват за изследване и оптимизация на други подобни обекти със сходна конструкция.*
2. *Моделите са използвани за приемане на редица конструктивни изменения [14] за усилване на зони с недостатъчна якост. След направените промени рамата е подложена на повторни изчисления, а реалният обект е изпитан в НИИТ [13].*
3. *Натурните изпитвания показват, че вагонът издържа регламентираните в [4, 5 и 6] натоварвания без превишаване на допустимите напрежения и премествания.*
4. *Разработените модели за статичен якостен анализ на носещата метална конструкция на специализиран вагон серия Rgs могат да се използват за оптимизация на зоните с напрежения, значително по-ниски от допустимите. Това ще доведе до сериозно намаляване на собствената маса на вагона и увеличаване на неговата товароносимост.*

ЛИТЕРАТУРА

- [1] **Zenkiewicz O.C.** The Finite Element Method in Engineering Science. McGraw-Hill, London, 2002.

- [2] **Seegerlind, L.** Applied Finite Element Analysis. New York, 1976.
- [3] Програмна система SolidWorks - описание за оператора. 2009.
- [4] DIN EN 12663.
- [5] TSI–Техническа спецификация за оперативна съвместимост на подсистема: Подвижен състав-Товарни вагони. Брюксел, 2007.
- [6] UIC 577.
- [7] ORE B 12/RP 17.
- [8] **Стоилов В., А. Майстер.** Якостен анализ на коша на открит специализиран вагон с подвижен покрив. Trans&MOTAUTO'02, Русе 30.09-01.10.2002.
- [9] **Стоилов В., А. Майстер.** Статичен якостен анализ на коша на вагон серия Falns, C., Trans&MOTAUTO'03, 2003.
- [10] **Стоилов В., Св. Славчев.** Сравнителен анализ на резултатите от якостните изчисления и изпитвания на вагон серия Lagrs. Созопол, Trans&MOTAUTO'08, 2008.
- [11] **Стоилов В., Св. Славчев.** Изчислителни модели за якостен анализ на коша на специализиран вагон серия Smnps. Созопол, BULTRANS-2009.
- [12] **Стоилов В., Св. Славчев.** Сравнителен анализ на резултатите от якостните изчисления и изпитвания на вагон серия Smnps. Созопол, BULTRANS-2009.
- [13] Отчет по Договор за изпитване на товарен вагон Rgs. С. НИИТ, 2009.
- [14] **Стоилов В.** Изчислителни модели за якостен анализ на специализиран платформен вагон Rgs по метода на крайните елементи. Русе, Trans&MOTAUTO'10, 2010.