

ИЗСЛЕДВАНЕ НА СЕНЗОР ЗА СИЛА ОТ РЕЛСОВ ТИП ПОСРЕДСТВОМ АНАЛИТИЧЕН И СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ

Ненчо Ненов, Емил Димитров, Петъо Пискулев
nnenov@vtu.bg, edim@vtu.bg, piskulev@abv.bg

*Висше транспортна училище „Тодор Каблешков”, София
Ул. Гео Милев №158, Факултет „ТСТТ”, катедра „Транспортна техника”
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: сензор от релсов тип, изследване на конструкцията, симулационен модел, концентрация на напрежения.

Резюме: Измерване на натоварването в колелата на железопътните возила, както след извършване на ремонт, така и по време на тяхната експлоатация, е важна част от дейностите по осигуряване безопасност на движението, намаляване износването на ходовата част на возилата и пътя, подобряване на сцеплението и др.

Основни елементи на системите за измерване на натоварването в колелата са техните сензори. Подобряването на конструкцията и оптимизирането на работата на сензорите води до повишаване точността и чувствителността на измерване.

В доклада са публикувани резултати от проведено числено изследване на сензор от релсов тип. Целта на изследването е оптимизация на конструкцията на сензора с цел повишаване на неговата чувствителност.

ВЪВЕДЕНИЕ

Основен критерий за работата на всеки сензор е неговата точност. Сензорът за измерване на натоварване от релсов тип по своя принцип на работа е тензометричен преобразувател. При него чрез разполагане на подходящи места и по подходящ начинна на тензометрични възприематели се измерва тангенциалното напрежение във вертикална равнина, което е пропорционално на вертикалното натоварване от колелата на железопътните возила. В случая от значение е не само точността на измерване, а и степента на усиливане на сигнала – възможността при малки вертикални натоварвания да се получава достатъчно силен полезен сигнал. С цел по-добро усиливане на сигнала зоните, в които се разполагат тензометричните възприематели се обработват механично до постигане на определена гладкост на повърхнината и определена дебелина на шийката на релсата. По правило колкото по-малка е дебелината на шийката в обработената зона толкова по-голямо ще бъде тангенциалното напрежение в нея следователно толкова по-силен ще бъде генерирация сигнал.

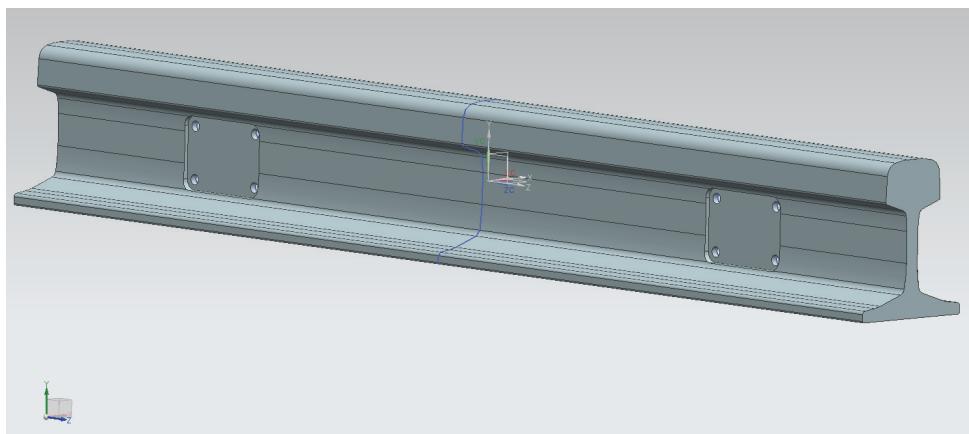
При така формираната постановка възникват няколко основни въпроса:

- Съществува ли възможност при намаляване дебелината на шийката на релсата в зоната на измерване под определена стойност, тя да започне да се държи като „фиктивен отвор“ (силовите потоци да започнат да заобикалят зоната, в резултат на което стойностите на измерваните тангенциални напрежения да станат значително по-малки)?;

- Как влияят концентраторите на напрежение (допълнителни технологични отвори) при намаляване дебелината на шийката на релсата в зоната на измерване?;
- Съществува ли опасност при намаляване дебелината на шийката на релсата под определена стойност тя да загуби устойчивост, в резултат на което сензорът за измерване на натоварване да се повреди?.

СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА СЕНЗОР ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА НАТОВАРВАНЕ ОТ РЕЛСОВ ТИП

Сензорът от релсов тип е част от релсова нишка (парче от релса тип P49 E1). В него са обработени места (площадки) за поставяне на тензометрични възприематели. Площадките са фрезовани симетрично спрямо напречната ос на сензора, с цел получаване на коректен сигнал при различни положения на разполагане на колелото на железопътното возило върху сензора. За пренебрегване на влиянието от напречното огъване на възприемателя такива площадки са изработени и симетрично спрямо наддължната ос на сензора. По такъв начин на един сензор от релсов тип има фрезовани 4 броя площадки, като между симетрично разположените спрямо наддължната ос площадки дебелината на стената е по-малка от дебелината на шийката на релсата. В четирите края на площадките са разпробити кръгли отвори за формиране на болтови връзки. Общ вид на сензор (3D модел) е показан на фиг. 1



Фиг. 1. Общ вид (3D модел) на сензор за измерване на натоварване от релсов тип.

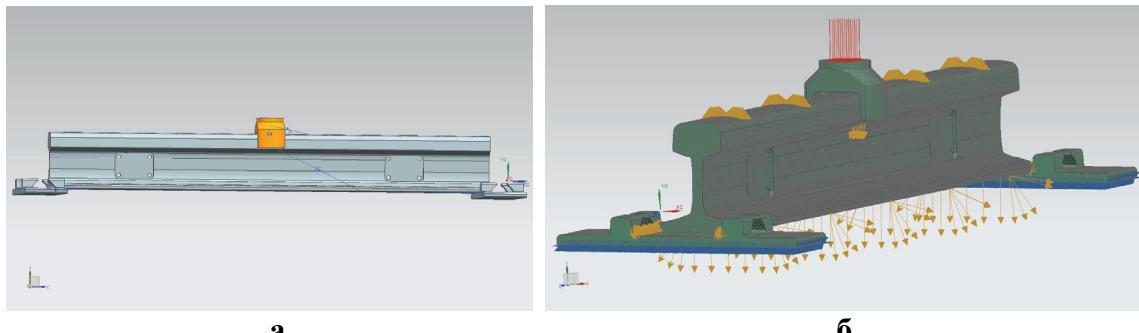
С цел максимално доближаване до реалните условия за изпитване на сензора на стенд, към него в изчислителния модел са добавени реброви подложки (служат за опори на сензора и са разположени в двата му края) и елемент за предаване на усилието от хидравличното натоварващо устройство към сензора (т. нар. лапа).

На фиг. 2 са показани общия вид на елементите (фиг. 2а) в изчислителния модел и приетата симулация на натоварване на сензора (фиг. 2б). Изчисленията са извършени по метода на крайните елементи (използвана програма за пресмятане – Nastran), като:

- Избраната мрежа е 3D мрежа с тетраедърни елементи (CTETRA(10) – броят на възлите за всеки елемент е 10). Големината на елементите на мрежата е 3 mm (съобразно големината на използваните в сензора тензометри), с възможност за автоматично изменение на елементите в зоните на промяна на сечението;
- Зададените връзки между мрежите на отделните елементи са:
 - между елемента за предаване на усилието и сензора - *Glue Coincident* (на границата между двата елемента се получава еднаква мрежа с общи възли);
 - между сензора и ребровите подложки - *Free Coincident* (на границата между

двета елемента се получава еднаква мрежа с различни възли, имащи еднакво местоположение (двойни възли);

- Сила действаща върху елемента за предаване на усилието – 100 kN;
- Реакции в ребровите подложки – подложките са фиксирани;
- Начин на предаване на усилията между елементите:
 - между елемента за предаване на усилието и сензора - surface to surface gluing (двете повърхнини са неподвижни една спрямо друга);
 - между сензора и ребровите подложки - surface to surface contact (двете повърхнини се преместват една спрямо друга).



Фиг. 2. Тангенциални напрежения в площадките за тензометриране на сензор от релсов тип при изменение дебелината

КОНЦЕНТРАТОРИ НА НАПРЕЖЕНИЕ

Разпробитите в четирите края на фрезованите площадки кръгли отвори при натоварване на сензора предизвикват концентрация на напреженията.

В случая на чисто огъване (вж фиг 3а), нормалните напрежения по контура на единичен кръгъл отвор, разположен на произволна височина по отношение неутралната линия на гредата се определят по формулата:

$$\sigma_\theta = -\frac{M \cdot r}{I_x} (\sin \theta - \sin 3\theta) - \frac{M}{I_x} \cdot h \cdot (1 - 2 \cos 2\theta),$$

където σ_θ - нормално напрежение в площадка съвпадаща с радиуса r ;

r - радиус на отвора;

θ - полярна координата на точка от контура на отвора;

I_x - инерционен момент на сечението на гредата спрямо неутралната ос;

M - огъващ момент;

h - разстояние от центъра на отвора до неутралната ос на гредата.

За определяне компонентите на напрежението в близост до кръгов отвор при чисто срязване (вж фиг 3б), се използват формулите:

$$\sigma_r = \tau \left(1 - 4 \frac{R^2}{r^2} + 3 \frac{R^4}{r^4} \right) \sin 2\theta;$$

$$\sigma_\theta = -\tau \left(1 + 3 \frac{R^4}{r^4} \right) \sin 2\theta;$$

$$\tau_{r\theta} = \tau \left(1 + 2 \frac{R^2}{r^2} - 3 \frac{R^4}{r^4} \right) \cos 2\theta$$

Където σ_r - нормално напрежение в площадка перпендикулярна на радиуса r ;

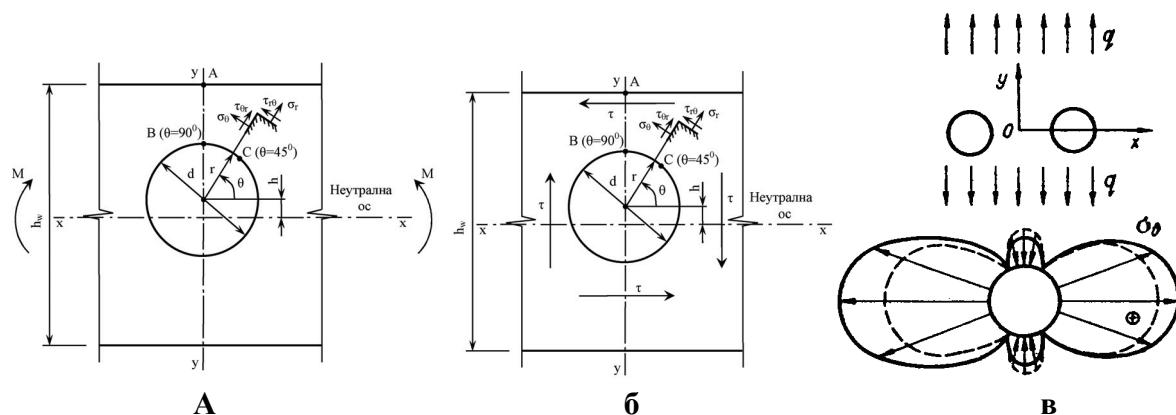
$\tau_{r\theta}$ - тангенциално напрежение, действащо във взаимно перпендикулярните площадки на σ_r и σ_θ ;

R - разстояние от центъра на отвора до разглежданата точка.

При комбинирано натоварване за определяне на напреженията в близост до отвора може да бъде използван принципа на суперпозицията:

$$\sigma_{\theta} = \sigma_{\theta}^M + \sigma_{\theta}^Q$$

На фиг. 3в е показана графика, характеризираща разпределението на напреженията в близост до кръгъл отвор, в случая когато са налице два отвора. По подобен начин изглежда разпределението на напреженията и при 3 и повече отвори.

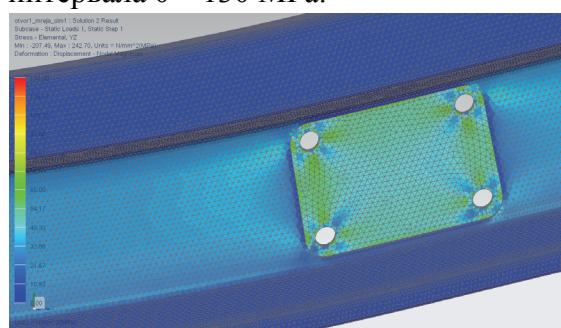


Фиг. 3. Концентрация на напрежение в зоната на кръгъл отвор

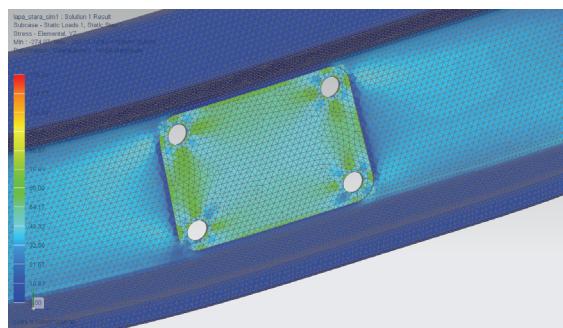
РЕЗУЛТАТИ

С така направения модел са извършени няколко числени експеримента с цел определяне влиянието на дебелината на шийката на релсата в зоната на разполагане на чувствителните елементи.

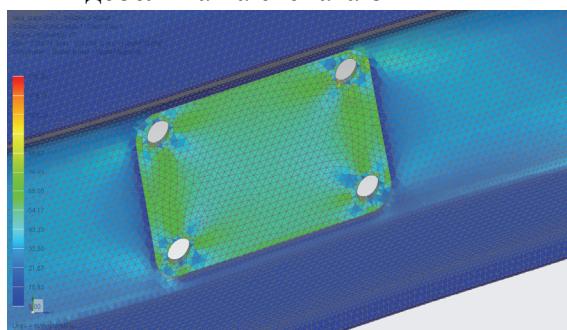
В резултат на проведените числени експерименти са получени резултати за напрегнатото състояние на сензора от релсов тип за различна дебелина на стената на фрезованите площиадки. На фиг. 4 са показани тангенциалните напрежения в площиадката за тензометриране при дебелина на стената: 8, 7.5, 7, 6.5, 6, 5.5, 5, 4.5, 4 и 3 mm. С цел постигане на еднакви условия за наблюдение са визуализирани напреженията в интервала 0 – 130 MPa.



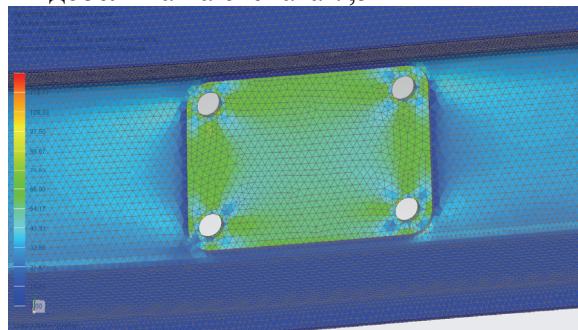
дебелина на стената 8 mm



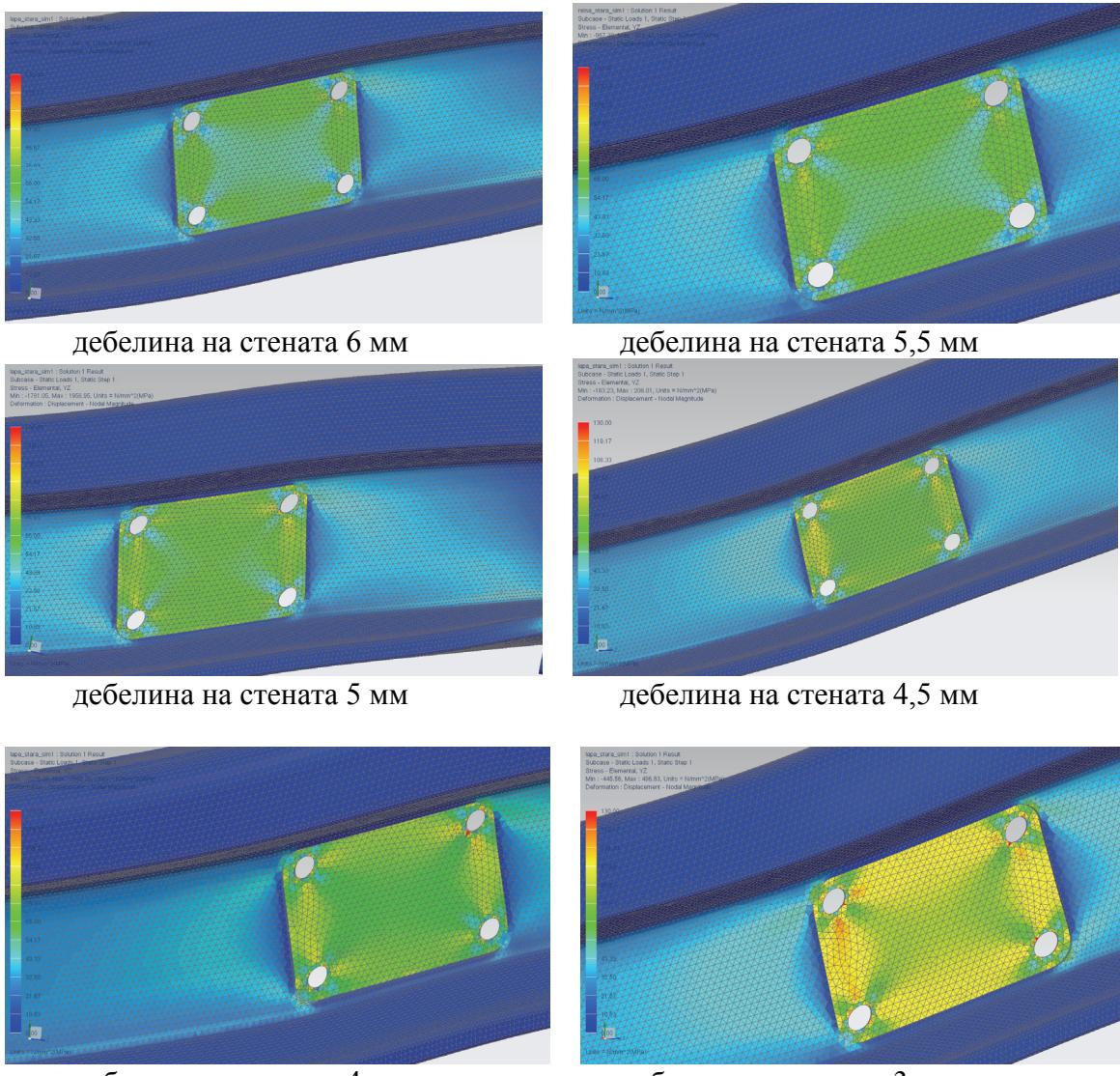
дебелина на стената 7,5 mm



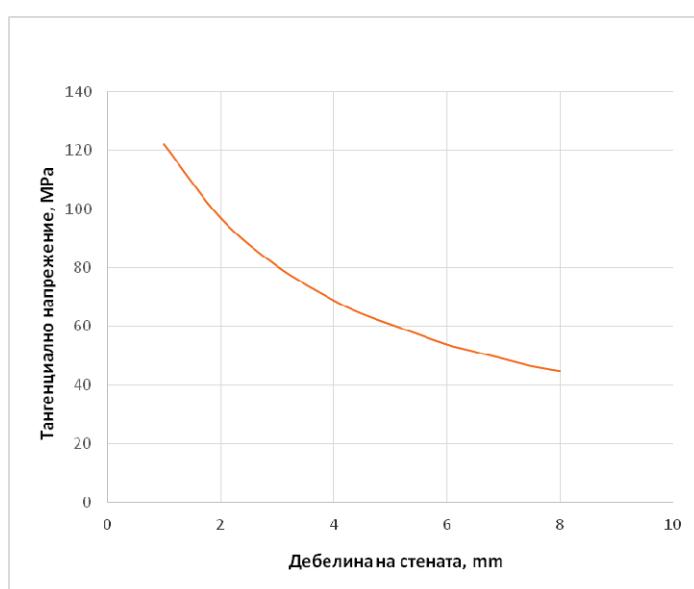
дебелина на стената 7 mm



дебелина на стената 6,5 mm



Фиг. 4. Тангенциални напрежения в площадките за тензометриране на сензор от релсов тип при изменение дебелината на стената в интервала 8 – 3 мм.



Стойностите на тангенциалните напрежения в местата на разполагане на тензометрите (централната част на площадката) за различните случаи на провеждане на числовия експеримент са показани на фиг. 5

Фиг. 5. Зависимост на тангенциалните напрежения в мястото на разполагане на тензометричните възприематели от дебелината на шийката на релсата.

АНАЛИЗ И ИЗВОДИ

Получените резултати показват, че с намаляване на дебелината на шийката на релсата тангенциалното напрежение в зоната на разполагане на тензометричните възприематели нараства и в разглеждания интервал на изменение на дебелината не се наблюдава поведение на „фиктивен отвор”.

Стойностите на тангенциалното напрежение и при малки дебелини на шийката са под допустимите за релса Р49Е1. Но при дебелини на шийката под 4 mm се наблюдава нарастване на концентрацията на напрежение около отворите, което увеличава вероятността за възникване на уморъчни пукнатини и повреждане на сензора.

При дебелина на шийката в интервала 4 – 8 mm концентрацията на напрежение около отворите не влияе върху напрегнатото състояние в зоната на разполагане на тензометричните възприематели.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Е. Димитров, Ружеков Т., Ненов Н., Ангелов К., Система за измерване на товарването на колелата на железопътни возила в движение с експлоатационна скорост
- [2] Космодамианский А. С. Напряженное состояние анизотропных сред с отверстиями или полостями. Изд. „Вища школа”, Киев, 1976.
- [3] Кудрявцев С. В. Концентрация напряжений вблизи круговых отверстий в гофрированных стенках балок. Изд. АМБ, Екатеринбург, 2010.
- [4] NX Nastran 8 Advanced Nonlinear Theory and Modeling Guide. – 2011.
- [5] N. Nenov, Ruzhekov T., Mihov G., Dimitrov E., Measuring of Wheel Load of Railway Carriages

RESEARCH OF A FORCE SENSOR USING ANALYTICAL AND SIMULATION MODELS

Nencho Nenov, Emil Dimitrov, Petyo Piskulev
nnenov@vtu.bg, edim@vtu.bg, piskulev@abv.bg

**Todor Kableshkov University of Transport,
Sofia, 1574, 158, Geo Milev str.,
BULGARIA**

Key words: railway sensor, research of the construction, simulation model, concentration of strain.

Abstract: Weighing the loading on the wheels of railway vehicles, both after completing repairs and during their exploitation, is an important part of the activities that provide safety during movement, reduce the wearing out of the wheelsets and the road, improve cohesion, etc.

Basic elements of the systems for weighing the loading on the wheels are their sensors. Improving the construction and the optimizing the work of the sensors leads to increase in the accuracy and sensitivity of the weighing.

The report presents some results, obtained in a research of a railway sensor. The aim of the research is optimization of the construction of the sensor in order to increase its sensitivity.