

СИСТЕМА ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА СТАТИЧНОТО НАТОВАРВАНЕ НА КОЛЕЛАТА НА ЛОКОМОТИВИТЕ И МЕТОДИКА ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА ТЕХНИТЕ РАЗЛИКИ

Ненчо Ненов
rector@vtu.bg

Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”, София 1574, ул. “Гео Милев” № 158, България

***Ключови думи:** Възприемател на сила, натоварване на колелата, разлика в натоварването, ресор, тарирание.*

***Анотация:** В изследването се изясняват негативните последствия от разликите в натоварванията на отделните колела на локомотива върху параметрите на реакцията на екипажната му част на смущения от пътя. Установява се, че вероятността посочените разлики да бъдат в границите на допустимите е по-малка от единица. Последното налага измерването на статичното натоварване на колелата и извършване на операции по ресорната система с оглед тяхното минимизиране. Дадени са сведения за използваната за целта измервателна система: възприемател на сила, организацията на локалната информационна мрежа в която са включени възприемателите на сила, както и основните етапи на технологията за регулиране на ресорната система.*

1. Проблеми, възникващи при разлики в статичното натоварване на колелата на локомотива.

Различията в статичното натоварване в ходовите колела на локомотивите предизвикват съществени промени в процеса, протичащ в контактните точки на колелата и релсите – стойност на тангенциалните сили, плъзгане, мощност на тангенциалните сили, зони на контакта. В резултат на това, износването на повърхността на търкаляне на някои колела протича с повишена интензивност. Негативното развитие на процеса се засилва във времето в резултата и на измененията на условията за взаимодействие на контактуващите тела в резултат на неравномерното износване на повърхността на търкаляне на някои от колелата. Като последица се явява и повишена реакция на системата на

смущения от страна на пътя и намаляване на ограничението на теглителната сила по сцепление.

На основата на извършени изследвания е установено, че различията на статичното натоварване на колелата на локомотива довеждат и до други неблагоприятни явления:

- несиметричност на преместването на колоостта в аксиална посока и възможност за продължителен контакт на реборда на някои колела с релсите;
- намаляване на направляващата способност на колооста и увеличаване на износването на ребордите при движение в крив участък от пътя;
- намаляване на надеждността на отделни елементи от ходовата част и предавателните механизми.

2. Теоретични основи

За удобство при сравняването на данни за разпределението на статичното натоварване на колелата за различни локомотиви, както и съответствието им с нормативни стойности, е подходящо да се използва относителната стойност на разликата в натоварването на колелата α_{ov} , представляваща отношението на разликата в натоварването на колелата на една колоос ΔR_v и средното натоварване за колооста R_n : $\alpha_{ov} = \Delta R_v / R_n$ (v – номер на буксата на дадена колоос, намираща се в положителното полупространство, ограничено от вертикалната надлъжна равнина на симетрия на локомотива; същият номер се присвоява и на колооста и параметрите, които се отнасят за нея). За талиги и кошове с четири точки на окачване, стойностите на α_{ov} дават необходимата информация за разпределението на натоварването между колелата и възможностите ресорната система да бъде регулирана. При повече от четири точки на окачване на талигите и кошовете, за определяне на състоянието на ресорната система са необходими и допълнителни данни, например – стойностите на отношенията на разликите в натоварването между първата и v -тата колоос β_{ov} .

Изследването показва, че относителните стойности на разликите в натоварването на колелата α_{ov} и β_{ov} са функции, които принадлежат към класа функции на няколко случайни аргумента, означавани като „почти линейни”. Както е известно [1] в такъв случай резултатите от теоретичното разглеждане на подобен въпрос могат само да бъдат характеристики във вероятностен аспект. На основата на резултати от проведен числен експеримент е установено, че вероятността разликите в натоварванията на колелата на една колоос P_α да бъде в границата на приетия допуск α'_0 е по-малка от $1 - P_\alpha \{ \alpha_{ov} \in (-\alpha'_0, \alpha'_0) \} < 1$. От посоченото следва, че в технологията за производство и ремонт на локомотиви трябва да бъде включено обезателно измерване статичното натоварване на колелата.

При различия в натоварването на колелата по-големи от съответно приетите допуски ($\alpha_{ov} > \alpha'_0$), трябва да се извършат корекции в ресорното окачване с оглед различията да се сведат до стойности близки до тези определени от разположението на масовия център на локомотива – т.е. до най-

малките възможни. Това състояние на ресорната система се означава като „състояние на най-добро регулиране”. При система изградена от ресорни елементи с характеристики, попадащи в допусковите им полета, корекциите се свеждат до корекции в размерните вериги, в които са включени ресорите.

Решаването на въпросите свързани с разпределението на натоварването на колелата се извършва при допускането, че ресорната система е консервативна. Резултатите могат да бъдат приложени и при наличието на листови ресори, фрикционни демпфери и гумени елементи. Проведеният числен експеримент показва, че посоченото може да бъде извършено при положение, че се осигури състояние на ресорната система, при която всички ресори работят по клон “натоварване” или по клон “разтоварване” на силовата си характеристика. При несъобразяване с посоченото системата не може да бъде регулирана (фиктивно регулирана система) [2].

Въпросните корекции се извършват в статично положение на локомотива, разположен на прав, строго хоризонтиран участък, с еднаква коравина във всички точки.

Определянето на корекциите, които трябва да бъдат осъществени в системата на ресорното окачване, извършвано на основата на измерени натоварвания на колелата, може да се осъществи посредством сравняване на силите, които действуват на ресорите в конкретната ситуация и тези, които биха действали при състояние на най-добро регулиране на ресорната система.

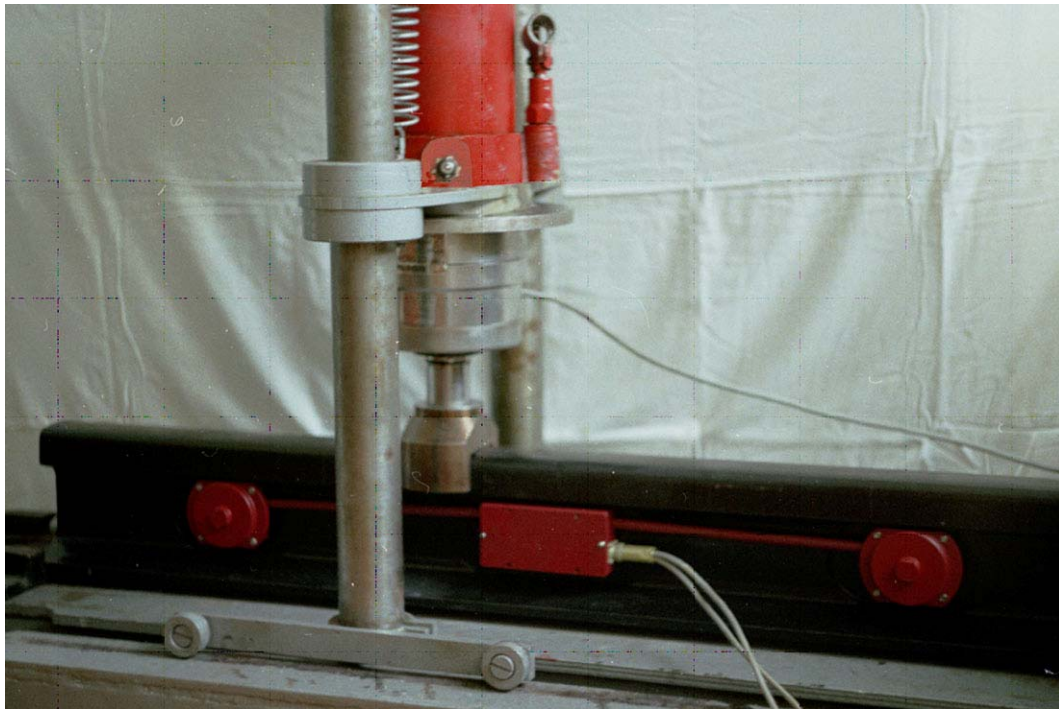
3. Електронно-измервателна апаратура

Технологията за регулиране на ресорната система е осигурена със специално за целта разработена електронно-измервателна апаратура и необходимите програми за ЕИМ.

Възприемателят на сила е изработен от стандартна релса. Принципът на измерване на възприемателя се основава на измерване на деформациите на греда на две опори. Опорите се намират в двата край на релсата като за целта се използват стандартни скрепителни елементи. Деформациите се измерват в областта на шийката на релсата в зони близки до двата ѝ края. В двете зони се измерват линейни деформации, посредством тензорезистори.

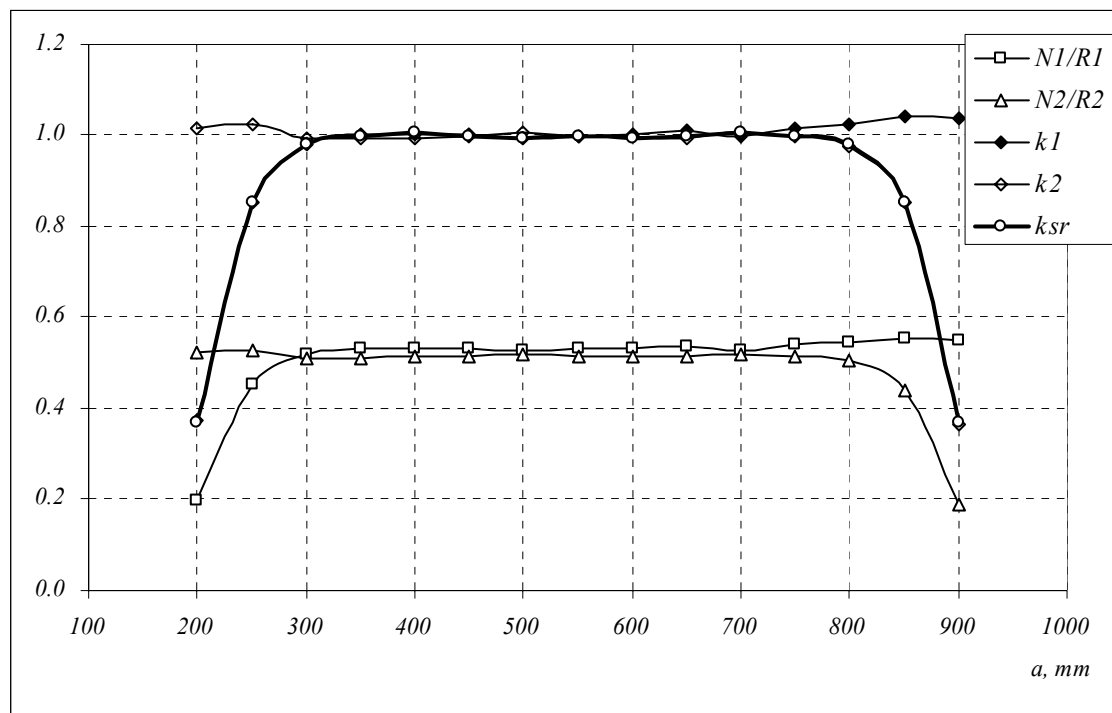
За възприемателя на сила е необходимо да бъде определена зоната, в която независимо от положението на приложната точка на силата (положението на колелото върху релсата) изходният сигнал не се изменя под влияние на местен ефект.

За проверка на теоретичните резултати е проведен експеримент, чиято опитна постановка е показана на фиг.1. Тя представлява метална рамка, в която е поставен изпитвания възприемател. За натоварването му се използва хидравличен крик. Силата на крика се измерва от еталонен възприемател на сила с клас на точност 0,05.



фиг.1. Стенд за тариране на възприемател на сила

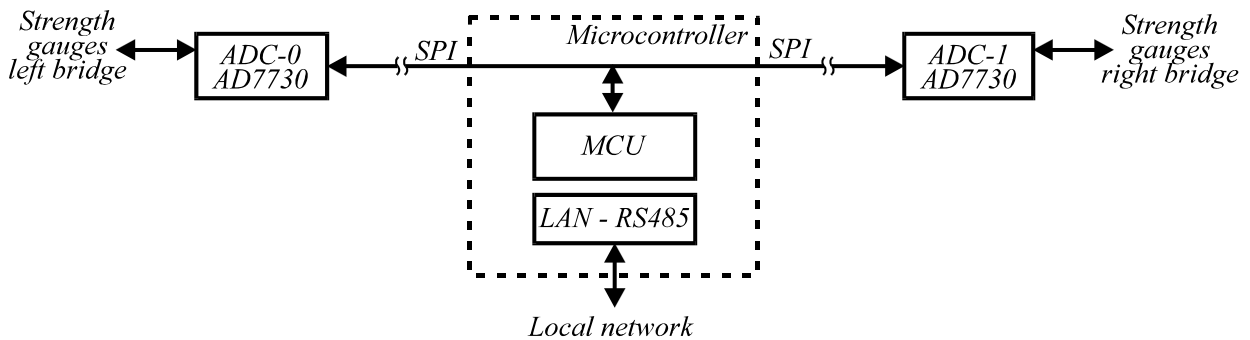
Получените резултати от изследването на един възприемател са показани на графиките на фиг.2 [3].



фиг.2. Резултати от изпитване на възприемател на сила

От тях следва, че зоната на местния ефект от действието на силата P е 0,15 м, т.е. колелото, на което се измерва статичното натоварване, не трябва да бъде по-близо от 0.15 м до някои от двата измервателни моста;

За намаляване нивото на шумовете е целесъобразно частта от електронната схема, осъществяваща усилване на аналоговия сигнал от тензометричния мост и преобразуването му в цифров код, да се намира непосредствено до моста. Това се постига като в защитните кутии се поставят печатни платки, включващи интегралната схема AD7730 (фиг.3).



фиг.3. Блокова схема за комуникация на възприемател на сила

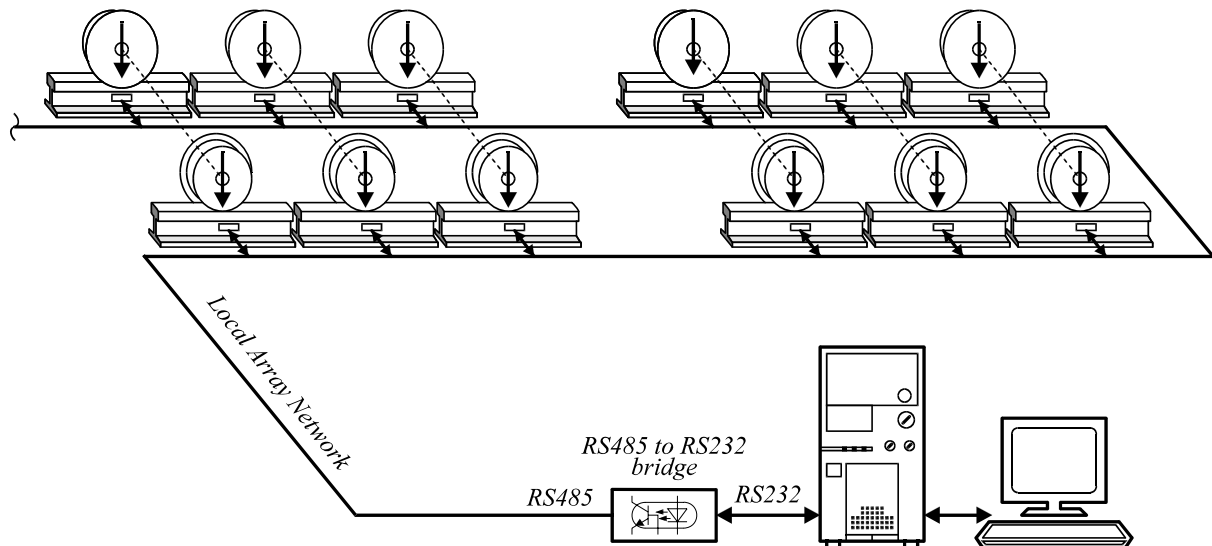
Връзката между микроконтролера MC68HC11 с интегралните схеми AD7730 се осъществява посредством синхронен сериен интерфейс SPI (Serial Peripheral Interface). За повишаване точността на измерване с възприемателя е необходимо да се отчете температурното влияние. Това може да се реализира по два начина. При първия начин се използват стандартни елементи, предлагани от фирмата HBM-Germany за температурна компенсация на нулата и чувствителността. Добавянето на тези елементи усложнява конструкцията и повишава нейната цена. При втория начин се използва температурен възприемател тип Pt100, който се включва в свободния втори вход на схемата AD7730. Температурният възприемател се захранва от еталонен източник на ток, разположен върху същата платка.

Посредством измерване на температурата и експериментално установената зависимост между нея и изходния сигнал се извършват изчислителни корекции.

Стендът за регулиране ресорната система представлява покрит участък от железния път, на който са монтирани възприематели на сила и компютърна електронно-измервателна система. Под всяко колело на локомотива е необходимо да се намира възприемател на сила. Разполагането на възприемателите на сила в релсовия път се определя от базите на локомотива и талигите и общия брой колооси. Когато на един и същи стенд се регулират различни серии локомотиви, се извършва оптимизация на броя и разположението на възприемателите с цел всички колооси да попадат в зоната с гарантирана точност на измерване. Основата на железния път трябва да притежава висока стойност на коравината във вертикална равнина. Необходимо

е релсовите нишки да лежат в една хоризонтална равнина с допустими отклонения от $\pm 0,3$ мм.

Всички възприематели са включени заедно с персоналния компютър в локална мрежа, използваща интерфейс RS485 (фиг.5). Към персоналния компютър е включен адаптер, преобразуващ интерфейс RS232 в интерфейс RS485.



фиг.5. Локална мрежа за измерване натоварването в колелата на локомотив

4. Технология за регулиране

Технологията за регулиране ресорната система на локомотивите включва следната последователност:

1. Подготовка на измервателната система за работа, състояща се в температурно установяване на системата.

2. В диалогов режим се задава серията, номера на локомотива в серията и номера на кабината, с която локомотива влиза на стенда.

3. Измерване стойностите на началното състояние на стенда (без локомотив). Същите се записват в дисков файл.

4. Въвеждане и позициониране на локомотива върху възприемателите на сила, съгласно обозначенията за всяка серия. За точното позициониране на локомотива се използва определянето на изместването на приложната точка от средата на възприемателя на сила.

5. Измерване натоварването в колелата и извеждането им върху екрана на монитора. (фиг.6). Стойностите на натоварване във всяко едно колело са показани в полетата, разположени най-близо до колелата (редове 4 и 5). Абсолютните стойности на разликите в статичните натоварвания между колелата в една колоос определят коефициентите α_{jr} ($j = 1, 2$ – номер на талигата, $r = 1, 2, 3$ – номера на колооста в талигата). Стойностите на този коефициент се определят от отношението между полуразликата в натоварването

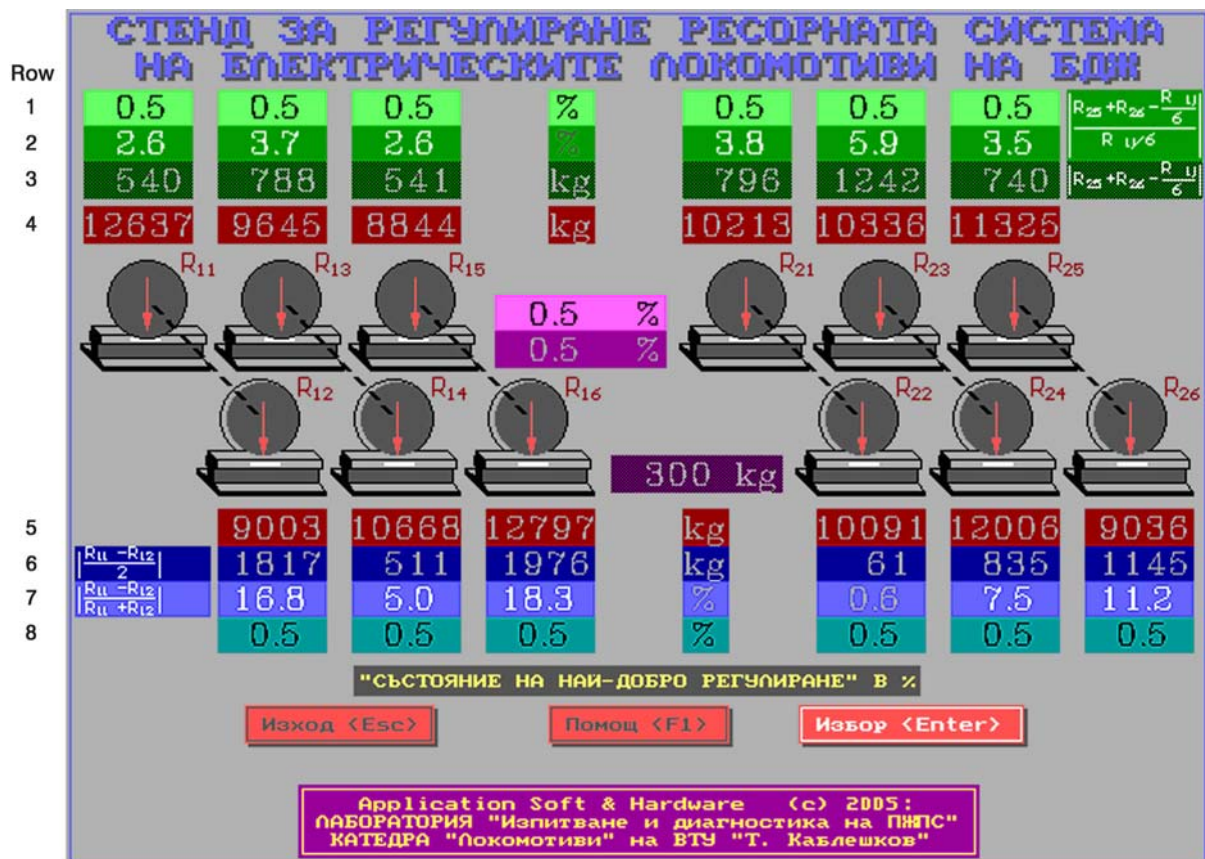
в колелата $\Delta R_{jr} = \frac{R_{ji} - R_{j(i+1)}}{2}$ и средното натоварване $R_{jr} = \frac{R_{ji} + R_{j(i+1)}}{2}$.

Абсолютните стойности на разликите в натоварването на колоосите спрямо средната стойност за една колоос, определят коефициентите β_s ($s = 1, 2, \dots, 6$ – пореден номер на колооста за локомотива). Стойностите на този коефициент се определят от отношението на разликата $\Delta R_s = R_s - \frac{\sum R_{ji}}{6}$ и средното натоварване на колоос $\frac{\sum R_{ji}}{6}$:

$$\alpha_{jr} = \frac{R_{ji} - R_{j(i+1)}}{R_{ji} + R_{j(i+1)}}, \quad \beta_s = \frac{R_s - \frac{\sum R_{ji}}{6}}{\frac{\sum R_{ji}}{6}}.$$

Разликите ΔR_{jr} , ΔR_s и коефициентите α_{jr} , β_s са показани съответно на редове 6, 3, 7 и 2.

В полето между двете талиги са дадени абсолютните и процентни разлики в натоварването между лявата и дясна страна на локомотива. Стойностите на процентните разлики, които превишават регламентираните в Правилника за ремонт, се индицират по-ярко засветени.



фиг.6. Изведена информация от измервателната система при регулиране на ресорната система на локомотив

6. Въз основа на измерените стойности на натоварването се определя общото тегло на локомотива и изместването на масовия център спрямо геометричния в хоризонтална равнина. При използване на разработения математичен модел се определя така нареченото “състояние на най-добро регулиране” и стойностите на процентните разлики α_{jr} , β_s при това състояние (редове 1 и 8).

7. В зависимост от получените стойности, операторът може да избере една от следните две възможности:

- ако коефициентите за измервания локомотив са в допустимите граници, резултатите се записват на дисков файл. По желание на оператора се отпечатва протокол от измерването, след което се връщаме към точка 2. от последователността;

- ако коефициентите за измервания локомотив превишават допустимите граници, се извършват корекции на елементите от ресорната система, определени на базата на вградения математичен модел. При определянето на тези корекции се предполагат номинални стойности на параметрите на елементите от окачването на локомотива. При наличие на предварително определени стойности на силовите и геометрични характеристики на ресорните елементи, моделът работи с тях. Това позволява сходимостта на процеса да бъде максимално ускорена. Операторът има възможност да избира между два варианта на регулиране: само с корекции в буксовата степен или с корекции в двете ресорни степени.

При възникване на грешка при работа от страна на оператор или нарушаване на електрическото захранване на стенда, за възстановяване на нормалната работа не е необходимо извеждане на локомотива от стенда, а програмата се стартира отново, като началното състояние се прочита от записания файл на диска.

За регулиране ресорната система на локомотивите от парка на БДЖ в Р. България са изградени стендове в локомотивните депа в следните градове: София, Бургас, Русе, Мездра, Септември и Пловдив.

Възможно е стендът за измерване на статичното натоварване на колелата да бъде само с една двойка възприематели на сила. В този случай трябва да преминават последователно всички колооси на локомотива за измерване на статичното им натоварване. Главно поради ограничените възможности за малки стойности на разликите в денивелацията на точките, в които се намират колелата на локомотивите на стенда, допусканите грешки в измерването са със значително по-големи стойности от тези получени при измерване на стенд с възможност едновременно да се регистрира натоварването на всички колела. Посоченото е резултат на данни от числен експеримент на математичен модел на екипажа на два локомотива с колоосни формули $Vo-Vo$ и $Co-Co$. Установено е и, че грешките при триосовите талиги, сравнени с тези на двуосовите, са по-големи. На основание на отбелязаното, стендове с възможност за измерване на натоварването на една колоос са подходящи само за случай когато могат да бъдат допуснати измервания и с по-големи грешки – например : честа диагностика на състоянието на ресорната система, локомотиви с ниска конструктивна скорост и специфика на тяхната работа (маневрени локомотиви,

промишлени локомотиви, пътно-строителни машини и др.). Стендовете с два възприемателя за сила могат да бъдат използвани и за оценка на натоварването на колооси на железопътни возила в движение със скорост около 2 m/s.

Параметрите на динамичния процес, който протича при движението на возилата, са в пряка зависимост от параметрите на ресорните елементи – еластични, съпротивителни и геометрични. Този факт обуславя необходимостта стойностите на параметрите на ресорните елементи да бъдат прецизно установявани. Това се осъществява от специализирани стендове.

Поради специфичността в конструкцията на ресорните елементи са реализирани два типа стендове, при които се използва електронна регистрираща апаратура. Натоварването при тях се осъществява от хидравлична система, включваща хидростанция и хидроцилиндър. Първият от стендовете е за снемане характеристиките на цилиндрични винтови пружини. Вторият стенд за снемане характеристиките на гумено-метални ресори.

Възприемателите и на двата стенда са изградени на тензометричен принцип, което позволява унифициране на електронно-измервателната част.

Електронно-измервателната част на стендовете се базира на персонален компютър от типа IBM-PC и система за контрол и управление на аналогова и цифрова информация КСИ-10. Класът на точност на системата за измерване на посочените стендове е 0,5.

Измервателната система и технологията, в различни варианти на усъвършенстване, се прилага в системата на БДЖ от преди двадесет години.

5. Изводи

Анализът на резултатите от дългогодишната експлоатация на системите за измерване на статичното натоварване на колелата на локомотивите и методиката за намаляване на техните разлики показва следното:

1. Системата показва висока ефективност дължаща се на следното: технологията за регулиране на ресорната система; конструкцията на възприемателите на сила; електронната част на системата; разработените програми за управление, извършване на измерванията, обработка на получените резултати и определяне на операциите, които са необходими да бъдат извършени с оглед постигане на състоянието на най-добро регулиране на системата.
2. В резултат на минимизирането на разликите в натоварването на колелата на локомотивите чувствително е повишен ресурса на основните елементи от ходовата им част, както и безопасността на движението.
3. Регулирането на ресорната система се извършва бързо, поради обстоятелството, че системата определя необходимите за целта операции.
4. Разработените стендове за изпитване на ресорите са с високи метрологични параметри. Измервателната система съхранява резултатите от изпитванията и с възможност да подбира оптимална комбинация от ресори за монтаж на определени места за даден локомотив.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1.] Вентцель, Е. С., Л.А. Овчаров, Прикладные задачи теории вероятностей, М., Радио и связь, 1983.
- [2.] Ружеков Т., Е. Димитров, Н. Ненов, М. Мутафчиев, Влияние на силите на триене в ресорната система на локомотивите върху статичното натоварване на ходовите им колела, сп."Железопътен транспорт", 1994, кн.6, с.9-11.
- [3.] Nenov, N., T. Ruzhekov, E. Dimitrov, G. Mihov. Sensor of Strength for Measuring Wheel Load of Railway Carriages. 25th International Spring Seminar on Electronics Technology, pp. 105-108, Prague, Czech Republic, May 11-14, 2002.

A SYSTEM OF MEASURING STATIC LOCOMOTIVE WHEEL LOADING AND METHODS OF REDUCING DIFFERENCES

Nencho Nenov
rector@vtu.bg

***Todor Kableshkov Higher School of Transport, 158 Geo Milev Street, Sofia 1574,
BULGARIA***

Key words: Force sensor, wheel loading, differences in loading, spring system, calibration.

Abstract: The paper explains the negative consequences from the differences in loading of the locomotive wheels on the parameters of the wheeled part reaction to the track disturbances. It has been established that the probability of the differences being within the admissible tolerance is less than one. It imposes the necessity to measure the static load of wheels and the performance of operations in the spring system in order to minimize the differences. The paper presents also data of the measuring system used for that purpose: force sensors, a local information network where the sensors are connected to, as well as the main stages of the spring system regulation technology.