Механика Транспорт Комуникации

ISSN 1312-3823 (print)
ISSN 2367-6620 (online)
том 16, брой 3/3, 2018 г.
Научно списание **http://www.mtc-aj.com** **статия № 1678**

МОДЕЛИРАНЕ И ЯКОСТЕН АНАЛИЗ НА КОЛООСИТЕ НА ЛОКОМОТИВИ СЕРИЯ 86

Васко Николов
va_r_nikolov@abv.bg

ВТУ Тодор Каблешков, катедра „Транспортна техника“,
София, ул. „Гео Милев“ 158
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *локомотиви, колооси, оси, якостен анализ, безопасност на движението, метод на крайните елементи.*

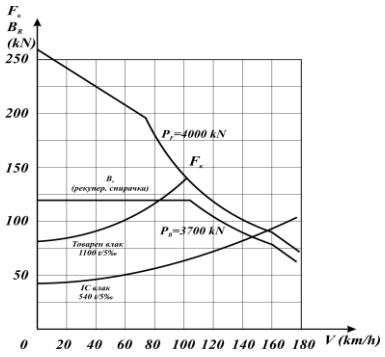
Резюме: *В доклада е направен задълбочен якостен анализ на натоварванията, действащи върху колооста и оказващи влияние върху якостните характеристики на този особено важен за безопасността на движението елемент от конструкцията на локомотиви серия 86, експлоатирани от частни превозвачи у нас, както и на причините за случаите на счупване на колооси на разглежданата серия локомотиви по време на експлоатация. Представено е описание на задвижването на колоосите на този тип локомотиви, като са посочени и описани основните елементи, които го изграждат. Характеризиран е типът на задвижването и мястото на предавателния механизъм според общоприетата класификация на локомотивните предавателни механизми. Дадена е схема на натоварването на колооста по време на експлоатация и са описани силите, които действат, както и мястото им на прилагане в предавателния механизъм. Изброени са изискванията, на които трябва да отговарят тези важни за безопасността на движението елементи. Извършено е моделиране, якостен и деформационен анализ на конструкцията по метода на крайните елементи. Посочени са стойностите на отделните параметри на анализа и местата, в които се получават екстремните такива. Резултатите са сравнени с получените откази по време на експлоатация. Дадени са препоръки за отстраняване и намаляване на откази от подобен характер.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Локомотивите от серия 86 са произведени в Дания на две групи през 1984-86 и през 1992-93 години по лиценз на няколко германски фирми на базата на германския електрически локомотив серия 120, където обслужват предимно бързи и пътнически влакове, въпреки универсалното им предназначение. Заводското им означение е EA 3000. Те се захранват с променливо напрежение 25 kV, 50 Hz и се задвижват с помощта на четири асинхронни променливотокови тягови двигателя. Максималната скорост, която могат да развият е 175 km/h, а теглителната им мощност по кръга

Фиг. 1

на търкаляне на колелата е 4 MW (фиг. 1). Теглителната сила, която реализират при потегляне е 260 kN, при разчетна скорост (73 km/h) –196 kN и при максимална скорост (175 km/h) – 92 kN (фиг.2). През 1999 година Датските железници са разделени на пътнически и товарен сектор, като при това са разделени и локомотивите. През 2001 година товарният сектор е закупен от германския превозвач DB Schenker заедно с локомотивите (поредни номера 3011-19 и 21). Част от тези локомотиви впоследствие преминават за експлоатация от българския клон на превозвача. У нас локомотивите се използват изцяло за возене на тежки товарни влакове.

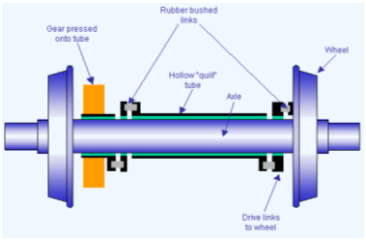


Фиг. 2

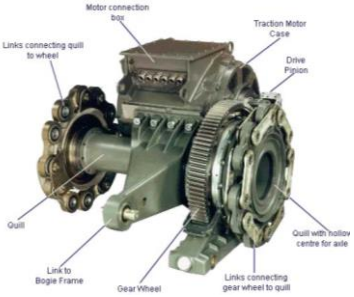
През последните години се наблюдават няколко случая на късане на оси при тези локомотиви, без да бъде направен цялостен анализ на причините за тези откази.

ХАРАКТЕРИСТИКА И ОПИСАНИЕ НА ЗАДВИЖВАНЕТО НА КОЛООСИТЕ ПРИ ЛОКОМОТИВИ СЕРИЯ 86

Предавателният механизъм, с помощта на който се осъществява предаването на теглителните усилия от тяговия двигател към двигателните колооси е опорно-раменно окачен тягов двигател и опорно-раменно окачен колоосен редуктор (фиг.3). В случая това е осъществено с чрез т.нар. механизъм Alstom (фиг.4). При тези предавателни механизми тяговият двигател и колоосният редуктор спадат към обресорените части на талигата на локомотива, при което колооста се освобождава от понасянето на големи динамични натоварвания, причинени от масата на тези механизми. Въртящият момент се предава с помощта на кух вал, поставен върху самата колоос и свързващ голямото зъбно колело на колоосния редуктор с едното от колелата на колооста посредством гумени еластични връзки и представлява предавателен механизъм от трети тип с едностранно предаване на въртящия момент [2]. Това дава възможност локомотивът да реализира високи скорости на движение без да натоварва прекалено много ходовата част и преди всичко колоосите на локомотива с допълнителни динамични сили и моменти.



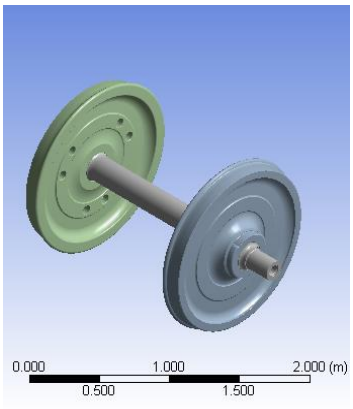
Фиг. 3



Фиг. 4

СХЕМА НА НАТОВАРВАНЕТО НА КОЛООСИТЕ

Колоосите са едни от главните и отговорни части на релсовите возила. Те направляват движението им по релсовия път и възприемат всички натоварвания, предавани от тях към релсите и обратно. Колоосите възприемат ударите, възникнали от неравностите на пътя както във вертикално, така и в хоризонтално направление и самите те твърдо въздействат на железния път. Чрез тях се предава двигателният въртящ момент на локомотивите и спирачният момент при всички железопътни возила (фиг. 5) .



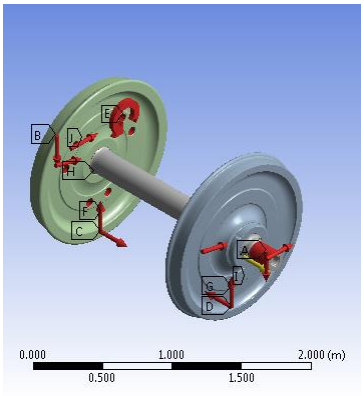
Фиг. 5

Те трябва сигурно и надеждно да изпълняват следните задачи:

- Да осигуряват придвижването на возилото;
- Да направляват движението по релсите;
- Да понасят натоварването от возилото (и евентуалния товар);
- Да предават периферните сили, породени от теглителните или спирачни усилия;
- Да предават динамичните натоварвания, породени от неравности по пътя, на елементите от ресорното окачване;

- Да управляват сигналите чрез релсовите токови вериги [5].

Изчислителната схема на колоосите се основава на стандартните пресмятания, дадени в [4]. Силите, които се вземат под внимание при конструктивните пресмятания на оста, са определени така, че да представляват постоянно натоварване на умора, приложено по време на целия срок на експлоатация на оста, което е еквивалентно на пълния сбор от различни натоварвания, появяващи се по време на нейната експлоатация (фиг. 6). Те имат три произхода:



Фиг. 6

- Сили, породени от масата на локомотива;
- Сили, породени от спирачния процес;
- Сили, породени от тяговите усилия.

Силите, породени от масата на локомотива (фиг. 3.2), включват:

- Вертикалните сили Q_1 и Q_2, приложени в осните шийки – това са силите, възникващи от масата на локомотива, заедно с масата на талигите, в които са разположени осите;

(1) $$Q_1 = \left(0.625 + \frac{0.0875h_1}{b}\right)m_1 g;$$

(2) $$Q_2 = \left(0.625 - \frac{0.0875h_1}{b}\right)m_1 g,$$

- Хоризонталните напречни сили Y_1 и Y_2 са приложени в контактните точки между колелата и релсите. Напречните сили възникват при движение на локомотива в крива и са резултат от контакта на реборда на колелата с релсите.

(3) $$Y_1 = 0.35m_1 g;$$

(4) $$Y_2 = 0.175m_1 g\ ,$$

- Вертикалните реакции са резултат от вертикалното натоварване върху железния път, предизвикано от масата на локомотива.
- Хоризонталните реакци са предизвикани от теглителната сила на локомотива и са приложени в осните шийки, където оста лагерува в буксовия лагер и я предава на рамата на талигата и локомотива.
- Освен посочените реакции като следствие от теглителните усилия е и въртящият момент, който в крайна сметка ги поражда и който е приложен в едното колело, предадено от колооespecния редуктор чрез кухия вал.

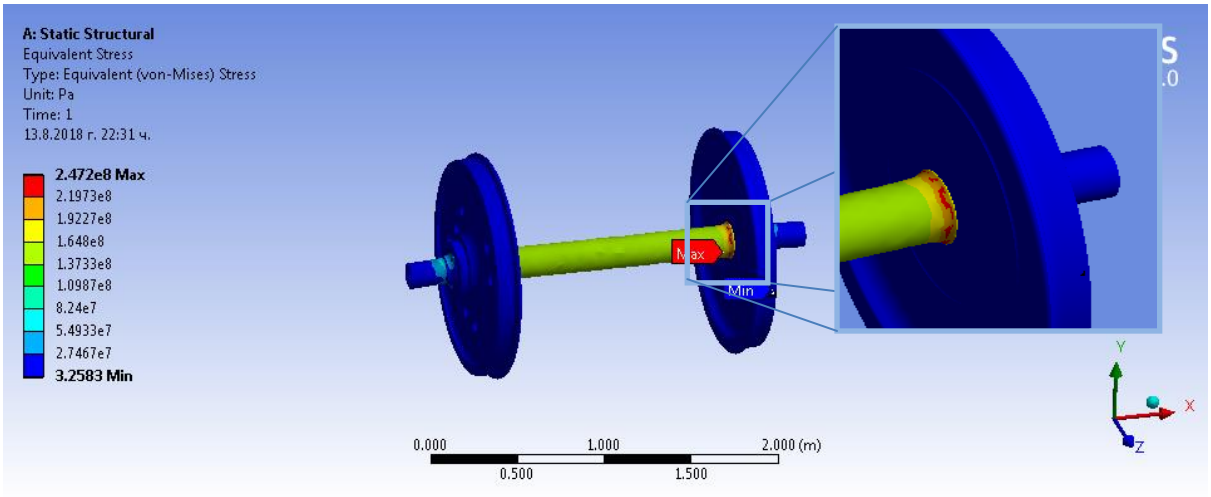
ЯКОСТЕН АНАЛИЗ НА КОЛООСТА

Якостният анализ на колооста е извършен по метода на крайните елементи (МКЕ) с използване на програма ANSYS. По своята същност МКЕ е числен метод за решаване на широк кръг от задачи в областта на механиката. Във всички изследвания целта е определянето на основните характеристики на полето каквито са разпределението на напреженията или преместванията, стойностите на напреженията и преместванията в отделни точки на полето, екстремните стойности на тези величини или техния градиент и т.н.[3]. Точността на решението в голяма степен зависи от умелото разработване на изчислителния модел.

За целите на якостния анализ е разработен достатъчно точен и адекватен изчислителен модел на конструкцията, който отчита всички натоварвания, действащи върху колооста, както и всички опори. Така изграденият модел се доближава максимално до действителната конструкция.

От проведените пресмятания бе установено, че действащите напрежения върху оста са с високи стойности, като максималната стойност – 247 MPa е съсредоточена в прехода между подглавинната и предподглавинната част на оста откъм свободното колело (фиг. 7).

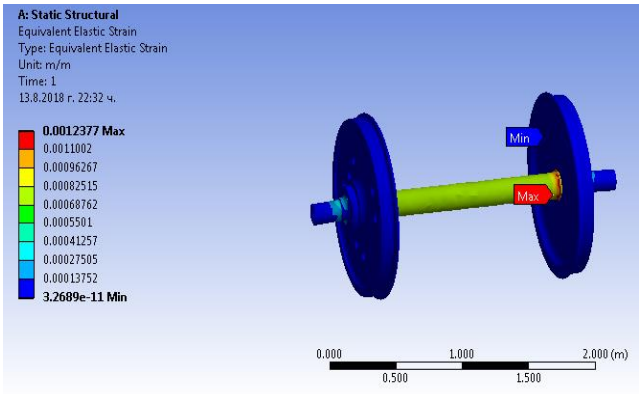
Това място се явява уязвимо, тъй като не само за максималното напрежение, но също така и за относителното удължение се наблюдава максимална стойност (фиг. 8). Едновременно с това коефициентът на сигурност както при статично натоварване (1,0113), така и при якост на умора (0,3487) показват най-ниските си стойности на същото място (фиг. 9, 10). Самите стойности на коефициентите при двата вида натоварване отчитат доста ниски нива, далеч от



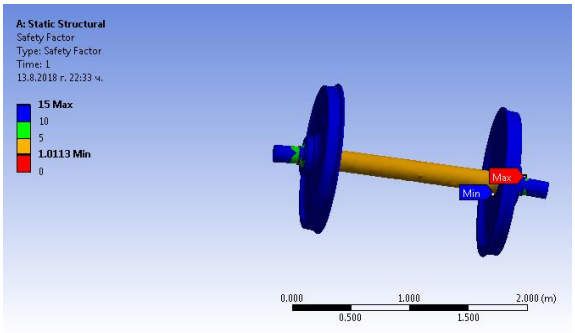
Фиг. 7

препоръчителните за тези важни елементи от ходовата част на локомотивите, от които в пряка степен зависи безопасността на движението.

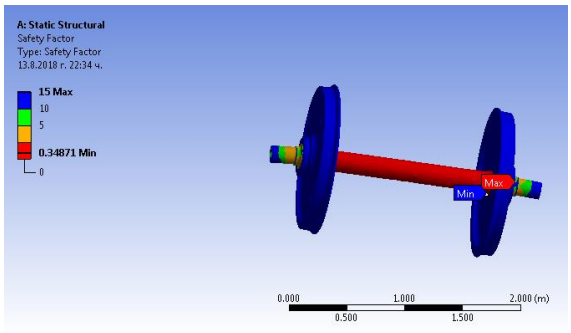
Така извършеният якостен анализ ясно показва, че основна причина за ниското ниво на надеждност на колооста и получените откази в експлоатация е въртящият момент, прилаган върху нея с цел осъществяване на теглителната сила на локомотива. Тъй като самият въртящ момент е приложен в колелото, към което е закрепен посредством еластични елементи



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10

кухият вал на предавателния механизъм, той се предава чрез самата ос на колооста към другото колело, оказващо съпротивителен момент, породен от триенето му с релсовия път, вследствие което в прехода между предподглавинната и подглавинната част на оста от страната на свободното колело натоварванията достигат максималната си стойност. Като се има предвид фактът, че локомотивните колооси и в частност локомотивните оси работят във възможно най-неблагоприятния режим на работа – симетрично знакопроменливо натоварване, водещо до умора на материала, то логично отказите, получени в експлоатация на тези колооси са предимно в тази област.

Направените дотук разсъждения се потвърждават и от регистрираните в експлоатацията произшествия с локомотиви от тази серия – отказите се получават именно в посочената област на прехода между предподглавинната и подглавинната част на свободното колело (фиг.11).

Наблюдаваният лом има всички характеристики на получен от уморно разрушаване – ясно изразени линии на притриване с окисно покритие върху тях, с видими концентричните

линии, по които се развива първоначално възникналата пукнатина, разположени върху по-голяма част от напречното сечение на оста (около 60-70%), последвани от зона с едрозърнеста структура, характеризираща внезапно разрушаване – последен стадий на развитие на отказа [2].

Фиг. 11

Причините за възникване на откази от подобен род са комплексни и зависят от множество фактори, определящи дълготрайността на тези важни за безопасността на движението елементи. Поради липса на място тук ще бъдат анализирани само някои от тях и то предимно тези от експлоатационен характер.

Както бе споменато по-горе, тези локомотиви са построени за универсална експлоатация, но са използвани преди всичко за пътническо движение. Характерно за този тип експлоатация е това, че влаковете са леки и скоростите на движение – високи, в случая до 160-170 km/h. В същото време трябва да се отбележи, че мястото на първоначална експлоатация е железопътната мрежа на Дания, което е известно с предимно равнинния си терен и липса на тежки по отношение на наклона участъци.

Вторият факт, който заслужава да бъде отбелязан е, че на определен етап от своята експлоатация част от локомотивите вече са използвани и за товарно движение. Това се случва за локомотивите от втората доставка – произведени в периода 1992-93 година. Трябва да се подчертае, че отказите се случват именно с локомотиви от тази производствена серия. През 2007 година част от посочените локомотиви са прехвърлени за работа у нас, експлоатирани при много по-тежки условия. Влаковете, които возят по железопътната мрежа на България, вече са много тежки, профилът на железния път е разнообразен, но преобладават участъци с големи наклони, скоростите на движение са ниски и се колебаят около разчетната скорост за този тип локомотиви – 73 km/h (фиг. 2). Следователно, локомотивите работят с много по-големи теглителни сили и са подложени на много по-тежки условия на експлоатация от първоначално предвидените. В същото време тези локомотиви са изчерпали доста голяма част от своя ресурс и тяхното техническо състояние е далеч от това, в което са били в началото на своята експлоатация. Всичко това логично води до поява на откази в тези отговорни и изключително натоварени възли на ходовата част и предавателния механизъм на локомотивите, което се случва и на практика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направения подробен и задълбочен анализ на причините, довели до поява на откази в локомотивните оси на локомотиви от серия 86, експлоатирана у нас, могат да бъдат направени следните изводи:

- Условията на експлоатация на електрическите локомотиви серия 86 са изключително тежки и като цяло не отговарят на предназначението им, а именно употребата им за пътническо и товарно движение в сравнително леки участъци;
- Експлоатационният ресурс на електрическите локомотиви серия 86 е в голяма степен изчерпан, що се отнася до механичната им част и в частност до колоосите им;

На базата на тези изводи могат да бъдат предложени препоръки за отстраняване и намаляване на причините за възникване на откази от подобен характер, а именно:

- Експлоатация на локомотивите в по-леки режими, отговарящи на техническите характеристики и предназначението им;
- Проверка и евентуална замяна на колоосите на всички локомотиви от серия 86 в експлоатация с цел удължаване ресурса на тези важни за безопасността на движението елементи и на локомотивите като цяло.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Николов, В. Изследване на факторите, влияещи на дълготрайността на локомотивните колооси, С. ТУ, 2008.

[2]. Ружеков, Т., Ж. Димитров, Д. Стоянов, Г. Стайков, А. Стефанов. Конструкция, теория и проектиране на локомотиви. С., ТУ - София, 1987.

[3]. Стойчев Г, Метод на крайните елементи. Якостен и деформационен анализ. ТУ, С, 2000.

[4]. EN 13261:2009 UIC Code 515-3. Rolling stock. Bogies – Running gear. Axle design calculation method. 2009.

[5]. Sitarz, M., A. Sladowski, K. Bizon, K. Chruzik, Design and investigation of railway wheelsets, Silesian university of technology, N59, Gliwice, 2003.

MODELLING AND STRENGT ANALYSIS OF THE WHEELSETS OF LOCOMOTIVES OF TYPE 86

Vasko Nikolov
va_r_nikolov@abv.bg

Todor Kableshkov University of Transport, department of Transport equipment
158 Geo Milev str., Sofia
BULGARIA

Key words: *locomotives, wheelsets, axles, strength analysis, safety of movement, method of finite elements (MFE).*

Abstract: *In the report, an in-depth analysis of the loads acting on the wheelset and influencing the strength characteristics of this particularly important safety feature of the structure of the 86 series of locomotives operated by private carriers in the country, as well as the causes of the breakage of the axles of the considered series of locomotives during operation is performed. A description of the axle propulsion of this type of locomotive is presented, as outlined and described the main elements that build it. It is characterized by the type of drive and the position of the transmission according to the conventional classification of locomotive gears. A scheme of the wheel load during operation is given, and the forces which act and the place of application in the transmission are described. The requirements that these essential elements of traffic safety have to meet are listed. A modeling, strength and deformation analysis of the structure using the finite element method was performed. The values of the individual parameters of the analysis and the places in which the extreme ones are obtained are given. The results with the failures obtained during operation are compared. Recommendations to remove and reduce such failures are given.*