

## МОНИТОРИНГОВИ СИСТЕМИ ЗА КОНТРОЛ НА ТЕХНИЧЕСКОТО СЪСТОЯНИЕ И НАТОВАРВАНЕТО НА ПЖПС, УПРАВЛЕНИЕ И СИНХРОН В ДОСТЪПА ДО ИНФРАСТРУКТУРАТА

Васил Василев, Емил Димитров, Ненчо Ненов  
[mr.vasilev@abv.bg](mailto:mr.vasilev@abv.bg), [edim@tu-sofia.bg](mailto:edim@tu-sofia.bg), [mnenov@vtu.bg](mailto:mnenov@vtu.bg)

Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”,  
катедра “Транспортна техника”, ул. “Гео Милев” 158, София 1574,  
БЪЛГАРИЯ

**Ключови думи:** Контрол на техническото състояние и натоварването на ПЖПС, управление и синхрон в достъпа до инфраструктурата

**Резюме:** Проведено е изследване на опита на водещи европейски железопътни администрации в разработването, внедряването и експлоатацията на мониторингови системи за контрол на техническото състояние и натоварването на подвижния железопътен състав (ПЖПС), управление и синхрон в достъпа до железопътната инфраструктура. Направен е сравнителен анализ между системите “Gotcha” и “QuoVadis” (Netherlands), “Lasca&Mattild” (Germany) и “Checkpoints” (Austrian Railways). Определени са основните параметри и е разработен общ принципен модел на изграждащата се система за нуждите на българските железници.

### 1. Увод

Контролът на техническото състояние и натоварването на подвижния железопътен състав (ПЖПС), управление и синхрон в достъпа до инфраструктурата, който да се осъществява от мониторингови системи с разположени по железопътната мрежа т.нар. “контролни точки” (Check Points) е проблем с изключителна актуалност, както в научно отношение, така и в практико-приложен аспект. Една от функциите на тези системи е в реално време да се следят най-важните технически параметри на намиращия се в движение ПЖПС, чрез което се гарантира високо ниво на безопасност на движението. Друга съществена тяхна функция е осъществяване на оперативно управление и синхрон в достъпа до инфраструктурата, чрез която функция на практика се осъществява контрол за движението и текущото местоположение на товарите, определяне на превозни и инфраструктурни такси и др.

В началото на 21-ви век, във водещи европейски железопътни администрации (Австрия, Германия, Швеция, Холандия, Швейцария, Обединено Кралство, Полша и др.) е поставено началото на разработване и внедряване на т.нар. “Check Points Systems”. Натрупаният през тези близо 10 години опит и проведените наблюдения категорично доказват целесъобразността и ефективността от внедряването им в експлоатация.

Пред Национална компания “Железопътна инфраструктура” и БДЖ ЕАД (като най-голям превозвач в България) възниква въпросът за проучване, изследване, моделиране, проектиране и внедряване на такава система в българските железници. Значителният опит в разработване, внедряване и експлоатация на системи за изпитване и диагностика на ПЖПС създава условия и предпоставки за успешно реализиране на системата “Check Points” от

наши експерти и специалисти. Съществените предимства на посоченият подход се изразяват в постигане на гарантирани високи технически показатели при значително по-ниски разходи за внедряване, създаване на иновативни български продукти, инвестиране в националната икономика и не на последно място – осигуряване на текуща поддръжка, експлоатация и ремонт на системата при по-благоприятни нива на разходите за това.

## **2. Холландски Системи Gotcha.**

През 2000г. LRRE (Lloyd's Register) [8] и Baas R&D (Холандия) съвместно стартират изследвания свързани с първото поколение системи Gotcha.

LRRE е член на Lloyd's Register Group със седалище в гр. Утрехт - Холандия. Този център за компетентност работи по въпросите касаещи всички железопътни превозни средства, като обхваща всички периоди от жизнения цикъл на подвижния състав – започващи от идейния проект, преминаващи през етапа на проектирането, изграждането, производството, изпитването на прототипи, до проследяване процесите на техническо обслужване и стареене в реална експлоатация. Той е акредитиран сертификационен орган, който обединява функциите си на такъв и като оператор на несертифицирани ПЖПС.

Холандския инфраструктурен провайдер ProRail администрира 42 пункта на мониторинговата система Gotcha-първо поколение, като в началото събира информация от измерването на 73 композиции. Тази информация ProRail използва главно за контрол по достъпа до инфраструктурата и таксуване на база общото тегло на влака. Намеренията им са към таксите на база общо тегло, да се начислява и такса обусловена от качеството на самите колела на локомотивите и вагоните, поради въздействието му върху състоянието на железния път. Данните от системата се прилагат все повече и повече за прогнозиране процесите на стареене и поддръжката на ПЖПС.

Повече от 95% от пътническия подвижен състав в Холандия се поддържа от NedTrain, дъщерно дружество на "Niederlandse Spoorwegen". Данните от 17 (от общо 42) пункта за измерване са на негово разположение и се използват главно за контрол върху състоянието на колелата. Техният ремонт се организира на база отчетеното от системата QuoVadis. NedTrain контролират колелата, като класифицират регистрираните дефекти в три нива, според остатъчния ресурс до отстраняване от експлоатация: първо - 60000 km; - второ - 20000 km и трето - 5000 km. При наличие на динамична сила, съответстваща на най-високото ниво, влаковият състав се изпраща в ремонтното предприятие.

Положителните резултати от приложението на системата Gotcha са:

- постоянно наблюдение състоянието на елементите от екипажната част на ПЖПС;
- оптимизация процеса на поддръжката на колелата;
- 25%-50% по-дълъг живот на колелата;
- 5%-10% намаляване на разходите за ремонт и поддръжка;
- 90% откриваемост на прегряти букси;
- редукция на внезапно появяващите се повреди, откриване на дефекти в сравнително ранен етап;

От началото на втората половина на 2005г. започва инсталирането на Gotcha-второ поколение на територията на цяла Европа. Железопътни компании, внедрили системата в свои проекти са: Banverket (Швеция), Polish Railways / Tens (Полша), Infraspred (Холандия), GVB (Холандия), Rhaetische Bahn (Швейцария), Network Rail (Обединено Кралство). Тя е обновена, като се появява и идеята за разширяване на софтуерните ѝ възможности и създаване на Gotcha-user group. Различните инфраструктурни оператори са на мнение, че системата оправдава очакванията.

Всяка отделна станция (Gotcha station) се състои от:

- 8 или 12 влакнесто-оптични сензори, монтирани под основата на релсата;
- свързваща кутия (FOC - fibre optic connection box);
- шкаф за локална обработка на данните (Gotcha cabinet);
- персонален компютър със създаден за целта софтуер (изготвен съгласно изискванията на EN50128/J);

Стандартното изпълнение се захранва с напрежение 220V AC/ 50Hz и има възможност да сменя данни от два влака едновременно. Като допълнителна опция е възможно и захранването с 24V или 110V DC. Обезпечаването срещу отпадане на захранването е осъществено посредством UPS система с времеви капацитет от 10 минути и контрол върху изключването, с цел предотвратяване изтриването на информация. Сензорът на системата се монтира под трите вида железопътни релси (UIC54, UIC60 и BV50), а закрепването му се осъществява посредством специално изработени метални скоби. Материалът, от който е изработен е анодизиран алуминий. Компактните му размери (155 x 55 x 40mm) и тегло от 1,5 kg позволяват бърз и лесен монтаж без нарушаване ритъма на извършване на рутинните пътно-ремонтни дейности или необходимост от осигуряване на прекъсване в движението на влаковете. Цикълът за навлизане на хардуерната инсталация в работен режим е с продължителност от 4 минути. Сигналът генериран от сензорите се предава посредством оптично-влакнест кабел и свързваща кутия (FOC - fibre optic connection box) към локален сървър (Gotcha cabinet).

Разработеният за целта от LRRE софтуер (GotchaMain, Gotcha-Communication-service, Gotcha-DAQ-service, Gotcha-Runtime-service) инсталиран в електронната апаратура, получава информацията във вид на DC напрежение. Той обработва данните, включващи еквивалентни на големините на дефектите по колела стойности, както статично и динамично осово натоварване.

Протоколът се изпраща като стандартен документ (.xls или .xml формат) от локалния към централен сървър (Central server), посредством GSM-(R)-GPRS, Ethernet/TCP/IP, Dual up или посредством ATM, IDSN възможност за комуникационна връзка, една минута след края на преминаването на влаковата композиция. Резултатите от анализа на състоянието се съхраняват до шест месеца, а файловете с необработените данни снети от измерването - един месец. Документът съдържа в себе си три таблици, в които са поместени:

- изходящ номер на документа (индивидуален ID);
- номер на пътя и страна от пътя с отделен IP-адрес;
- посока на движение на влака;
- дата и час (в 24 часов режим на отчитане);
- скорост на движение;
- брой на осите;
- идентификация на жп возилото (влака);
- статично и динамично натоварване на колело и ос;
- общо тегло на влака;
- диагностика на колелата, свързана с индикиране на неизправностите: отклонение от кръглост, окопаване, полигонизация и напластяване;
- разстояние между колелата (осите) и дължина на влака;
- резултати от периодични самостоятелни тестове на системата.

Освен горепосочените функции системата Gotcha има и способността да генерира съобщения - аларми свързани с нежелани отклонения на дадени параметри, границите на които се задават от потребителя, водещи до:

- претоварване на някое от колелата - чрез данни за общата големина на въздействащата върху релсата сила, динамичното натоварване предизвикано от дефект по кръга на търкаляне или статичното натоварване;
- небалансиран ПЖПС - чрез разликите в натиска на различните колела;
- претоварване на ПЖПС;
- претоварване на ос в състава на влака;

Gotcha е конструирана да се прилага във всеки маршрут, на всяко място и във всякакъв вид трафик. Техническите ѝ изисквания, изразени в стойност на определени работни параметри на ПЖПС са:

- тип на ПЖПС (влака) - от електрически до дизелови локомотиви, от пътнически до товарни влакове, трамваи, леки релсови возила и високоскоростни влакове;

- скорост на движение на ПЖПС - Доказано е, че при скорости между 30 и 330km/h системата дава точни резултати, а 350 km/h е максималният ѝ лимит. Няма проведени тестове за определяне коректността на данните в диапазона между 25 и 30 km/h. Ако ПЖПС (влакът) се движи по-бавно от 5 km/h се нарушават необходимите условия за сканиране, което се явява долна оперативна граница за скорост на преминаване през контролната станция.

- дължина на влака - Максималната дължина на влаковете, които могат да бъдат обработвани зависи пряко от скоростта на движение, а именно: за влакове, движещи се в целия скоростен диапазон (5-350km/h) тя е 1000m. За движещи се със скорост над 30km/h тя е 1600m. Ограничение относно минимума на този параметър не съществува. Безпроблемно могат да бъдат снети данни дори от двусово жп возило.

- брой на осите на ПЖПС - Капацитетът на Gotcha свързан с ограничение относно броя на анализирани оси също зависи от скоростта. В случай на преминаване на ПЖПС през контролния пункт със скорост по-голяма от 15km/h, той е 300 бр. За скорости над 30km/h тази възможност нараства до 500 бр.оси.

- разстояние между осите - Gotcha е проектирана да работи с широк спектър междуосови разстояния, без лимит относно големината им по абсолютната стойност. Поради факта, че системата има за задача да определи края на преминаващата композиция и от съображения за недопускане на грешка се налага да бъде изкуствено въведен максимум от 24m. Той е равен на максимално съществуващото разстояние между две съседни оси на движещите се по железопътната мрежа возила. Минималното разстояние, гарантиращо правилната работа на системата е 0.7m.

- диаметър на колелата - Цялата гама между 200 и 1600 mm попада в границите на възможностите на системата. Поради факта, че обиколката на кръга на търкаляне зависи от големината на диаметъра на колелото, разстоянията между всеки два сензора както и броя им може да се оптимизира за всеки конкретен маршрут.

- температура на околната среда и железния път - За правилното функциониране на системата е необходимо температурата на околната среда да е между -40° и +50°С, а тази на релсовия път от - 40° до +70°С.

Системата Gotcha се калибрира (тарира) автоматично с локомотиви или други жп возила с известно тегло. В идеалния случай това се прави с помощта на електрически локомотив, който не променя теглото си, заради различното количество гориво, което носи със себе си в резервоара или променливия брой пътници. Когато пункта се намира в зоната на не електрифициран жп участък, за целта може да бъде използван и друг вид ПЖПС, като напр. дизелова мотриси или ненатоварен (слабо натоварен) пътнически влак.

Точността на стойностите за измереното тегло зависи от броя на проведените калибрвания за единица време. След тариране с едно возило с познато тегло, точността на системата е в рамките на 1 0 % Когато за един ден през контролната точка преминават 1 5 тариращи я ПЖПС, точността ѝ се подобрява на 5%, а ако за седмица през системата преминават 100 релсови машини - достига до 3%. Калибрирането на база тегло на превозното средство гарантира, че е отчетено влиянието на коравината на пътя, вида на релсите и стойността на инерционните характеристики на напречното им сечение. Но тариращия алгоритъм на Gotcha е конструиран да сверява работата на системата не само на база тегло, но също така на база скорост на движение на ПЖПС и стойност на DC напрежението на включените сензори. Използването на скоростта и DC напрежението води до още по-голяма точност, особено когато тя е константна за движение на влаковете в определен участък, заради отчитане на температурните колебания в железния път, което означава, че системата е способна да компенсира напълно промените в сезонните температури.

Успоредно с това да се калибрира на база тегло на возилата, системата Gotcha притежава и способността автоматично да се калибрира по отношение регистриране на повреди по повърхността на кръга на търкаляне. Чрез функция за сравнение големините на амплитудите на мини деформацията на пътя, породена от ударно динамично въздействие и съответстващите им приложни точки на концентрирания товар системата прави

необходимите настройки за отделяне на полезния сигнал, свързан с наличието на дефект.

### 3. Система за измерване Lasca&Mattild в приложение по линиите на немската железопътна мрежа.

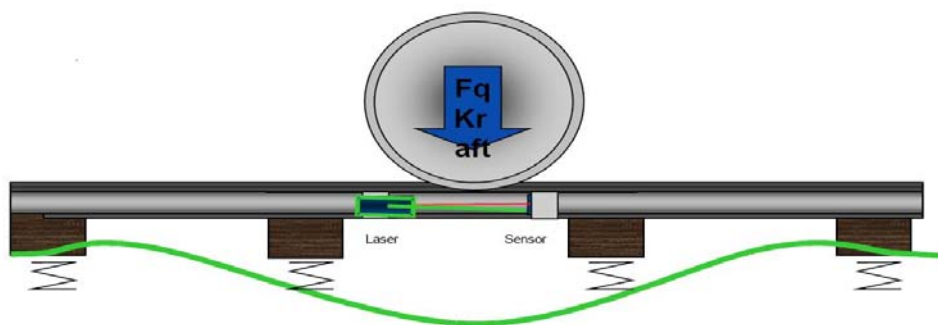
Реформата на държавните железници в Германия съгласно директива EU 91/440 доведе до отваряне на железопътната инфраструктура за трети лица и до повече свобода в използването на железниците за търговски цели. При това основна цел е вземането на финансови оздравителни мерки за правилната работа както на операторите на ПЖПС, така и на поддържащите инфраструктурата фирми. Нуждата от автоматизирана система за мониторинг на националния и европейския транспорт, свързан с движението на тежки влакове с големи натоварвания на ос е очевидна. Само по този начин може да се гарантира, че инфраструктурата няма да се претоварва и договорените в национален и интернационален аспект параметри ще се поддържат количествено и качествено в установените граници.

От началото на 2001г. DB Netz AG разполага с измервателната установка LASCA на фирма INNOtec GmbH, гр.Вормс, която е подобна на предхождащата я система MATTILD, позната както в Германия, така и в цяла Европа и която се прилагаше в началото основно при поддържането на горното строене на железния път [1], [4]. Качеството на сметите данни показва бързо един значително голям потенциал.

Принципът на действие на LASCA&MATTILD се основава на породеното от преместващия се товар огъване на релсата в зависимост от силата в контактната точка (петно) и моментното разположение на колелото по отношение на сензора  $x$  респ. времето  $t$ . При огъването се премества и лазерния лъч от неговата нулева позиция на покой. Това преместване се регистрира от високочувствителен сензор работещ устойчиво във всички честотни диапазони със значителна линейност, а големината му се предава на електронно – изчислително устройство за обработка на данните. Отношението сигнал/шум на необработения сигнал е превъзходно. Сензорът подава полезен сигнал при натиск с големина от 10kg , т.е. дори натиск с ръка върху релсата ще бъде идентифициран и показан от системата. Също така, ако човек за няколко секунди задържи ръката си върху глава релса, то протичащия топлообмен ще породи минидеформация на релсата в посока нагоре, което е достатъчно за генериране на полезен сигнал и ще бъде регистрирано от системата. Максимално натоварване на колоос или колело за LASCA практически не съществува, тъй като колело с маса от 10t използва едва 10% от възможния диапазон за измерване. Сензорите са изработени с геометрична форма, позволяваща сигурно закрепване върху петата на релсата.

Една окомплектована система за измерване се състои от 12 сензора. Те са разположени в шест измервателни зони по продължение на всяка релсова нишка и заедно образуват участък с обща дължина от 4 m (фиг.1).

Този участък прави възможно представянето на цялата развивка на едно железопътно колело с точност до милиметри.



(фиг.1)

Детекторът работи с екстремно висока чувствителност и може да измери преместване точката на концентрация на лазерния лъч с големина от няколко нанометра. Силно опростено представено, това огъване е пропорционално на упражнената от колелото сила.

Деформацията на една огъната греда е правопрпорционална на приложения върху гредата огъващ момент съгласно равенството:

$$M/(EI) = K = 1/R,$$

където: М – огъващ момент, Nm; EI – модул на еластичност, Nm<sup>2</sup>; К – деформация, m; R – радиус на деформация, m;

Всички измервателни станции са свързани в обща мрежа, позволяваща непрекъснато наблюдение от разстояние. Лицензираните оператори имат неограничен достъп до изчислителното устройство. При грешки в работата, системата сигнализира автоматично.

Работата на LASCA е възможна при всякакви скорости на движение на возилата, като в това отношение няма никакви ограничения. Идентификацията на ПЖПС в отделните влакове се осъществява с помощта на вградени в тях транспондери, както и с помощта на предварително въведена база данни. Снемането на характеристиките става напълно автоматично, непосредствено след преминаването на влак. Цялата информация, която би желал да използва клиента е на разположение, като чрез Интернет или Интранет тя е достъпна по целия свят приблизително две минути след завършване процеса на измерване. Според вида на резултатите и въведените граници на изменение на определени параметри, софтуера възпроизвежда съобщения за наличие на недопустими дефекти по кръга на търкаляне или предупреждения свързани със сигурността на движение (напр. неравномерно разпределение на масата в един вагон). С един и същи набор от елементи, разположени в различни точки от жп мрежата може да се осъществи пълно наблюдение на движещите се влакове и товари, подобно на следенето с радар. То оказва доста благоприятно въздействие при създаване на по-стройна организация на движение на влаковете.

Първия масив от данни придобит след преминаването на ПЖПС съдържа информация за дата на преминаване, астрономическо време, номер на влака, пункт (станция), скорост на движение, посока на движение, брой на осите, дължина на влака, обща маса на влака, позиция на локомотива, вагони и осе.

За да може да се отрази многообразието на предоставените от системата данни, специалистите от INNOfec са разработили специална диаграма, наречена „Отпечатък на влака”. Тук в обзорен вид е поместена цялата информация от измерването, като напр.: големина на статичните сили, претоварване, неравномерно разположение на товара, наличие на дефекти по кръга на търкаляне с подробно описание за големините, вида и разположението им и много други. Като заключение данните се представят в табличен вид с оцветяване на отделните клетки от таблицата с промяна на цветовете от светъл към червен в зависимост от това дали и с колко е прекрачен прага на допустимите големина на отделните параметри.

### **3.1 Приложение на получените от системата резултати**

#### **1. Във връзка със стопанисване на инфраструктурата:**

- Определяне класът за даден жп участък, контрол на дължината на влака, броя осе и допустимата скорост на движение;
- Наблюдение състоянието на релсите, траверсовата скара и основата на железния път;
- Изготвяне статистика за статичното и динамичното натоварване;
- Навременна констатация на възникнали динамични сили, породени при отклонения кръга на търкаляне от правилната геометрична форма или повреди по самата контактна повърхност колело – релса;
- Изготвяне на статистика за натоварването в рамките на определен времеви период, средно натоварване на колело, ос;

- Изследване на причините за нежелани пропадания и напречно преместване на железния път;
- Вземане на конкретни мерки за поддръжка, съответстващи на натоварването;
- Корекция на графика за движение на влаковете;
- Формиране на актуални цени за ползване на инфраструктурата, пряко свързани с начина на използването ѝ.

## **2. Във връзка с експлоатацията на ПЖПС:**

- Регистриране на претоварване, едностранно натоварване, неблагоприятно преместване на товара спрямо надлъжната или напречната ос;
- Наблюдение на динамичното поведение на возилата при движение, динамика на съседни оси;
- Регистриране на надвишаващи установените норми за големина на динамичните сили, отклонения при ротационното движение на колелата;
- Изготвяне на статистика по отношение честотата на нарушенията, свързани с показанията на светлинните сигнали;
- Налагане на перманентен контрол в специфични жп участъци, напр. при максимално натоварване до 25t / ос.

## **3. Във връзка с техническото обслужване и ремонта на ПЖПС:**

- Предотвратяване неравномерното разпределение на натоварването между отделните колела;
- Наблюдение динамичното поведение на вагоните и тяговия ПЖПС според особеностите на возила от конкретна серия;
- Констатация на нежелани деформации в елементи от екипажа – рами на талиги, колооси;
- Навременно регистриране на повреди по кръга на търкаляне, като напр. окопаване, разслояване, напластяване и др. Автоматична идентификация за тяхното разположение, количество и големина.

## **4. Във връзка с използването на данните от системата за научни цели:**

- За целенасочено наблюдение и анализ на повишено износване на колелата и релсите; С помощта на данните от системата е идентифициран проблемът за интензивното износване ребордите на композиция формирана от двуетажни вагони когато локомотивът е разположен на опашката на състава;
- Постоянно продължително наблюдение поведението на елементи от горното строене при използването им в различни експлоатационни условия;
- Отразяване на промени в състоянието на коловоза, настъпили преди, по време и след извършване на пътноремонтни дейности;
- Измерване на неуспоредни по отношение оста на пътя сили (Сензорите на LASCA могат да се завъртат на 90°);
- Измерване параметрите на циклично-повтарящи се отклонения в динамичното поведение на колоосите с голяма дължина на вълната, определяне причините за появяването им, описание на повредите по форма и големина.

INNOtech Systems разработи успоредно с LASCA&MATILD друга измерваща система MONI, която е в състояние с прости средства да определи силата на взаимодействие в контактното петно. Сензорът представлява подложка, която се монтира между релсата и металната плоча на траверсата. Той е калибриран предварително и измерва по директен път силата на взаимодействие. Монтажът му може да се извърши за няколко минути.

Като цяло е възможна една много добра настройка за визуализация на процеса и при двете системи. Те са способни доста ясно да представят напр. разпределението на натоварването между отделните колела. Въпреки това при по задълбочено изследване по отношение принципа на работата им могат да се открият значителни разлики.

### 3.2 Сравнение между измерване проведено с LASCA и MONI.

Измерването на статичната и динамичната компонента на силата, приложена от колелото върху релсата се осъществява от двете системи с коренно различни средства. Проведените опити доказват, че резултатите, отразявайки същността на един и същи физичен процес напълно си съответствуват. Този факт предоставя възможността за взаимен контрол между тях, основан на метода на сравнението. Ако направим опит да съпоставим огъващия момент, предизвикващ деформацията на релсата при LASCA и концентрираната сила упражняваща определен натиск при MONI като източници на информация, можем да направим следните обобщения:

- концентрираната сила проявява една значително по-ясно изразена динамика. Повредите по кръга на търкаляне оставят доста контрастен отпечатък върху диаграмата. Ударите възникнали при движението, предизвикват рязка промяна големината на амплитудната стойност, макар упражнени на известно разстояние от сензора;

- Сензорът, изработен във вид на подложка е почти изцяло разтоварен в определени моменти от движението. Вероятно в този момент трептенето на релсата, разгледано като малко по амплитуда възвратно - постъпателно движение, формира деформация на гредата в посока нагоре от траверсите, които ако изобщо, са в слаб контакт с баластовата призма. Едва когато колелото наближи зоната над сензора, възприемателят за сила се натоварва значително, което веднага се отразява в диаграмата;

- Когато колелото се намира на около 150mm след средата на траверсата, вследствие дефект за момент тя може да се разтовари още повече. Следователно върху траверсата е упражнена доста голяма динамична сила, която се превръща в динамично налягане върху баластовата призма. Поради значителната им по големина инерционна маса траверсите поглъщат част от тези сили. В някои честотни диапазони обаче това може да доведе до появата на резонанс, който да усилва неблагоприятния ефект на натоварването;

- На основа на тези значителни колебания на силата и налягането, в горното строене се влива голямо количество енергия. Част от нея се предава на основата на пътя, но част от нея се превръща в топлина или работа пораждаща разрушение.

Проведените до момента изследвания с MONI са доста оскъдни, поради факта, че тя е по-новата система. По-нататъшната работа на специалистите в тази област ще допринесе за разкриване на още множество връзки вътре в механичната система ПЖПС - железен път. Със сигурност ще бъде добито голямо количество данни, подпомагащо изграждането на модели за изследване на разрушаващите въздействия върху возилата и баластовата призма.

Интересен освен това е фактът, че сигналът на LASCA е пропорционален на огъващия момент на релсата, докато сигналът на MONI на концентрираната в приложното петно на контакта сила. Огъващия момент предизвиква деформация, пропорционална на напреженията и съгл. формулата на Цимерман за еластично подпрени греди тя се изразява като един максимум на функцията им, а в съседство на него два минимума, докато концентрираната сила практически поражда само натисково напрежение. Това, че траверсата се повдига от предходната и следващата по посока на движението колоос остава незабелязано, защото тежестта на траверсата е незначителна в сравнение с големината на концентрираната сила, появяваща се при преминаване на колелото над сензора.

Способността на LASCA автоматично да открива и сигнализира за повреди по повърхността на търкаляне, неправилно регулиране окачването на талигите или неефективна работа на гасителите на колебания позволява въвеждането на понятието „Ремонт на база техническо състояние”. Обичайните, циклично провеждани и независими от изправността на ходовата част планови ревизии имат в сравнение с непрекъснатия независим контрол, осъществяван от системата големи недостатъци: Измерването на отклонения от правилната геометрична форма и размери в ремонтните предприятия са скъпи, трудоемки и изискват доста време, водят до значително намаляване на средно-годишния пробег на ПЖПС. Вместо това данните от „сканирането на влаковете” могат да се използват дори и за изследване на причините за появяването, проследяване на развитието на характерно-появяващи се за



определена серия повреди, овладяване нежеланото въздействие на неблагоприятните фактори и в крайна сметка до повишаване на безопасността и спестяване на финансови средства.

#### **4. Checkpoint системи в Австрийските железници.**

Австрийското министерство на транспорта, иновациите и технологиите стартира още в началото на 90-те години научни програми за развитие на железниците. През 2002г. в рамките на една от тях „Intelegente Verkehr Systeme und Servises” се появи инициативата за създаването на тясно специализираната програмна линия „Innovatives System Bahn”. Интегрирани инсталации за сигурност, проверка и автоматично наблюдение на влаковете “Sicherheitssystemintegrierte Checkpoint Anlagen fuer automatische Zugueberwachung” е ISB-проект на фирма “Thales Signaling Solutions GmbH” със съвместното участие на акционерните дружества за строителство и поддръжка на инфраструктурата към австрийските железници (OBB Infrastruktur Bau AG, der OBB Infrastruktur Betrieb AG), институтите по електро- измервателна и управляваща техника (Institut fuer Elektrische Mess- und Schaltungstechnik) и института по железопътни науки, икономика на транспорта и въжени линии (Institut fuer Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen) към техническия университет - Виена. По дефиниция под наименованието Checkpoint разбираме място с концентрация на технически системи, които са в състояние да заменят прегледа на преминаващия през дадена точка ПЖПС извършван от човека [2], [5]. Checkpoints-Phase1 представляват неподвижно установени точки по продължение на жп мрежата за проверка техническото състояние на влаковете при движение с експлоатационна скорост. От месец февруари 2003г., на база постигнатите първоначални резултати от проведените тримесечни опити се договаря удължение на сроковете за изпитване на сензорните компоненти за установяване на поведението им в по-дълъг период от време и работата им в по-тежки климатични условия. „Checkpoints – Phase2” стартира през началото на 2005г. с цел да продължи тестовите опити на прототипа създаден в първата фаза и да доразвие потенциала от възможности за добиване на информация за движещите се по мрежата влакове. За изпълнението на тази задача от днешна гледна точка са необходими пет сензорни системи, които съгласно конкретното им изпълнение могат да се класифицират като системи за предотвратяване на нещастни инциденти и системи за намаляване на предизвикани щети. И за двата вида е в сила условието да могат да работят при скорост на преминаване на влаковете до 250km/h и да не нарушават изискванията за нормално протичане на експлоатационните процеси на инфраструктурата.

За да могат ефективно да се откриват ПЖПС движещи се в неизправно състояние в Австрия са изградени следните системи:

- инсталации за детекция на прегряти букси и елементи от механичната част на спирачната уредба; Те са в успешна употреба в продължение на доста години, регистрират възможни повреди в лагерите или блокиране на разхлабването на спирачките. Известни са под наименованието Heisslaeferortungsanlagen;

- динамични коловозни везни - инсталации за измерване силата на тежестта във всяко колело. Тези системи работят на принципа на установяване действието на силата на тежестта на база надлъжната деформация на релсата в крайните зони от напречното ѝ сечение. С данните от измерването се изчислява тежестта на всяко ПЖПС поотделно и на влаковата композиция като цяло. Освен това се сравняват силите с приложни точки в различните колела показателни за откриване изместването на товара както в посока по оста на вагоните, така и в перпендикулярна на оста посока. Най-модерните динамични коловозни везни изследват допълнително, на база картина на трептенията образувани от преминаващото върху релсата колело, хордообразни дефекти, напластявания, разслоявания и др. повреди по кръга на търкаляне. Обобщено те локализируют своята работа в областта на контакта колело-релса.

- инсталации за наблюдение на кинематичния габарит - ограничителното, напречно-перпендикулярно на оста на железния път очертание, в което трябва да се впише стоящ на прав хоризонтален път нов подвижен жп състав (натоварен и празен), а също така и подвижен жп състав с максимални стойности на предписаните допуски и износвания, включително страничното му наклоняване вследствие деформации на ресорите под въздействието на неуравновесената центробежна сила или излишък на надвишение. Тези инсталации са базирани на създаването на лазерна рамка напречно на оста на пътя и на бързодействащи камери.

- системи за детекция на пожари - Своевременното откриване на пожари във вагон от движещата се композиция е друга важна задача изпълнявана преди време от персонала наблюдаващ преминаването на влаковете през гари и жп възли. До момента в Австрия не съществуват създадени в завършен вид системи за детекция на пожари, но вече се провеждат лабораторни тестове с цел откриване на подходящата сензорика – необходима база за изграждането им.

- системи за генериране на аларми при дерайлиране - Дерайлирането на ос или возило от влака е критична ситуация, която, ако изобщо, бива рядко разпозната от локомотивния машинист по време на движение. На тази база се появява необходимостта от детекция при дерайлиране на возила, която е с особена важност при навлизането в участъци от пътя като мостове, тунели и други подобни елементи от инфраструктурата. Предотвратяване на сблъсъци между ПЖПС и носещата конструкция би могло да доведе до значително ограничаване видовете и намаляване на обема на възможните щети.

С тези системи могат да се откриват разнородни повреди в елементите от екипажа на ПЖПС. Чрез осъществяване на логическа връзка между данните снети от различните сензори може да се повиши ефективността им на работа. Например, измереното от динамичните коловозни везни осово натоварване може да се съпостави с температурата в буксовия възел, поради факта, че в общия случай по-големите осови натоварвания предизвикват повишаване на средната температура на лагерите или бързо повишаване на същата.

Събраните данни и връзките между тях се обработват в сърцето на системата т.нар. ”Датенконцентратор”, аналог на локалния сървър – системи Gotcha. При поява на отклонение от стойностите на предварително зададените параметри той генерира аларми. Същевременно в случай на отклонения от нормалното протичане на превозния процес имащи пряко отношение към запазване сигурността на движение, като например дерайлиране, пожар или излизане извън рамката на кинематичния габарит алармите се предават директно, както на службата по организация на движението, така и на системите за сигнализация, за да се осъществи незабавното спиране на влаковете, движещи се в определения жп участък. Концепцията на Checkpoint е изградена на т.нар. модулна принцип, т.е. информацията се анализира независимо за всеки конкретен пункт за измерване. По този начин се цели минимизация на грешки, произлезли вследствие разликите в начина на монтаж, конструкцията и технологията на произведените от различни фирми сензори, реализира се по-голяма универсалност на приложение. Всичко това е създадено по аналог на появяващия се в природата на много физични явления „принцип на суперпозицията” или „принцип на натрупването”. В дадения случай става въпрос за натрупване на масиви от данни – необходимата информация за осъществяване мониторинг на инфраструктурата. Определяне на техническото състояние на влаковете е особено важно за зони със съществуващ сравнително голям риск - тунели, мостове или отсечки със значителен дял на криви с малък радиус, каквато е преобладаващата структура на железния път в района на Балканския полуостров. Едно централизирано разпространение на отделните пунктове, позволява оптимизация на сензорното изпълнение в зависимост от нуждите на конкретен жп участък. Измерването на постоянни за отрязък от маршрута на влака параметри при разпределение с голяма гъстота, като например силата на тежестта, може да се елиминира, което би могло да доведе до значителна икономия на средства, чрез спестяване изграждането

на скъпи сензорни елементи. В случай на подобна организация съществува възможност за прехвърляне на данни между два непоследователно разположени по маршрута на определен номер влак пункта. Осъществяването на тази идея става с помощта на създаден за целта софтуер или т.нар. „виртуални сензори”, чиито сигнал се генерира от Checkpoint-централата.

Друго предимство, което предоставя мрежовата структура е възможността за построяване на криви на изменение на определени параметри, като напр. промяна на температурата на буксов възел. Бавното ѝ покачване е признак за наличие на повреда, която не би могло да бъде регистрирана при откъслечно измерване. Благодарение на събрания ресурс информация може да бъде проведен задълбочен анализ предшестваш прекрачването на граничните по отношение осигуряване безопасността на движение стойности.

Един от акцентите при изграждането на подобен тип системи е обезпечаването ѝ в икономически аспект. То е възможно чрез минимизиране на разходите по поддръжка на ПЖПС, което от своя страна е възможно чрез наблюдение развитието на процесите на изменение на изправността на тракцията, преди достигане момента на нарушение на работоспособното състояние.

„Argos” е проект на фирмите ”OBV Infrastruktur Bau AG”, „Baldwin Messtechnik GmbH”, ”BAMM - Dr. Mittermayr Scientific Consulting GmbH” и „psiA-Consult GmbH”.

Той стартира с цел изграждане на сензорни системи, както за наблюдение състоянието на движещите се по мрежата ПЖПС, така и за определяне натоварването на горното строене на железния път. При всяко преминаване на влак, системата оценява качествено състоянието на всяко отделно возило. Тя подава данни с необходимата точност без да възпрепятства движението на влаковете и нормалното протичане на текущите ремонтни работи по поддръжката на пътя. Изпитваните ПЖПС не се нуждаят от окомплектоване с преобразуватели на аналогови и цифрови сигнали или подобни устройства, съществува възможност за оборудване със апаратура за разпознаване и идентификация, базирани на RFID(радиочестотен) или оптичен принцип.

Според предназначението „Argos” [7] предлага четири различни подсистеми, а именно:

- **Level 1** – Откриване на дерайлирани вагони от състава на влака: Регистрира дерайлирала ос на жп возило и сигнализира за това на определените места. Наблюдението се осъществява в областта между двете релсови нишки. Level 1 е изградено на база резервиране с излишък от четири паралелно работещи сензора, които се монтират върху стоманобетонни, дървени или метални траверси, за да могат да регистрират подскачащите по релсо-траверсовата скара колела.

- **Level 2** – Автоматично наблюдение на влаковете – С Level 2 се осъществява непрекъснат контрол на : Натоварването на колело / ос; Състояние на натоварването / цялост на влака; Разтоварване на някое от колелата в състава на влака / неравномерно разпределение на товара; повреди по кръга на търкаляне. Освен това то предоставя информация за големината на динамичната сила на взаимодействие Q на всяко колело с пътя. Данните за състоянието на влака се предават пет секунди след преминаване на композицията над сензорите.

Основните работни параметри, характеризиращи функционалните възможности на системата са следните:

1. Диаметър на колелото 300-2000 mm;
2. Минимално разстояние между две съседни оси в една талига : 700 mm;
3. Минимално разстояние при двуосни вагони: 5000 mm;
4. Максимален брой оси на отделна единица ПЖПС – 32бр.;
5. Измерване на осово натоварване от 800kg до 40t;
6. Идентификационни способности: Всички движещи се по мрежата возила;
7. Скорост на преминаване през контролния пункт: от 5 до 300 km/h;
8. Диапазон на измерване на скоростите на отделна единица ПЖПС и на влакова композиция: 5 – 160 km/h , респ. 5 – 300 km/h , с точност и в двата случая +/- 0,5 km/h;

9. Точност при измерване тежестта на возилата: 1%(5-100 km/h), 2%(100-300 km/h);

10. Измерване при движение в двете посоки;

11. Работна температура : от -30° до + 75°С;

12. Клас на защита спрямо околната среда IP 67, изразяващ се в защита :

- срещу фин прах, лед, сняг удари от камъните на баластовата призма;

- срещу химични продукти (сяра, масла, фосфати), които би могло да попаднат върху елементите на системата от преминаващите влакове;

- срещу специфични за железния път електромагнитни полета;

**- Level 3a** – Превенция на сигурност против дерайлиране с измерване в криви участъци от пътя – Level 3a едно широкообхватно решение за надеждно идентифициране на риска и редукция на възможните разходи при опасност от дерайлиране и претоварване, основано на определяне на Y и Q – динамични сили, коефициентът против дерайлиране, разпределение на натоварването, вписване на колоосоте в крива, съпротивителен момент от завъртане на талигата, наклоняване на ПЖПС и сили действащи в хоризонтална равнина.

**- Level 3b** – Превенция на сигурност против дерайлиране с измерване в прави участъци от пътя - Level 3b определя на база същите силови параметри, както в 3a поведението на ПЖПС от гледна точка на движение в прави участъци. Тук се обръща по-голямо внимание на дискретни, периодични или стохастични сили, появяващи се от дефекти по кръга на търкаляне или нарушение на нормално протичащите процеси на триене при търкаляне в зоната на контакта колело-релса и нестабилно поведение на ПЖПС в хоризонтална и вертикална на оста на пътя равнина(напр. лъкатушене, галопиране). Освен това в Level 3b се предлага опционалната възможност за наблюдение параметрите на вълновите процеси трептене, вибрации и акустика (подсистема Acramos) имащи все по важно значение, както от икономическа така и от екологична гледна точка.

**- Level 4** – Измервателна крива, създадена за проверка изискванията на EN 14363: Level 4 е система за допускане в експлоатация на база данните от технически преглед на железопътни возила. С нея се измерват Y и Q – силите по цялото продължение на измервателния участък (крива) с радиус 150m и две измерващи зони. Взаимното разположение на двете измерващи зони е подбрано така, че да се изпълнят предписаните в EN 14363 норми, за изпитване на ПЖПС с голям спектър от междуосови разстояния (1800-2500mm в талига и 5200–20000mm между централните лагери). И двата измервателни участъка имат дължина от по 6530mm, с възможност, когато е необходимо да се обхванат данни за повече от две колооси в една талига едновременно. Зона 2 се намира в близост до началото на кривата, така че при навлизане на возилото процеса на завъртане на първата по посока на движението талига все още не е приключил, респ. при излизане, процеса на възвръщане на втората по посока на движението в изходна позиция също не е приключил. В противоречие с това, разположението на зона 1 е избрано така, че да се осигурят условия на движение при пълно вписване на съседните в една талига колооси в зададения радиус. Горното строене на железния път представлява монолитна стоманобетонна конструкция, а самите сензори за измерване на сила са изработени от висококачествена инструментална стомана и прикрепени чрез лазерно заваряване към самите релсови нишки. Системата е с висока степен на защита от електромагнитни полета и пренапрежение, за да се осигури нормалната работа на елементите ѝ и достоверност на резултатите от измерването.

В пробити в тялото на релсата странични отвори са поместени сензорите за измерване на страничната сила, които освен за това служат и за идентификация моментното разположение на контактното петно колело-релса. Сигналът, генериран от тях се предава посредством специално изработен за целта кабел към усилвател за постоянно напрежение. Усиленият сигнал се преобразува от аналогово-цифров трансформатор и се обработва от инсталирания за целта софтуер. Това измерване поставя особено големи изисквания, както към работната апаратура, оборудването и програмното обезпечаване, така и към относително постоянната стойност на еластичността на самите релси и надеждността на пътя като цяло.

Всяко подобно изследване се нуждае от детерминиране на комплекса от фактори, които имат значително влияние при взаимодействието на ПЖПС с пътя.

## **5. Заключение**

Обобщеният сравнителен анализ на изброените по-горе системи позволява да се направят следните по-важни изводи:

1. Въпреки ограничения обем на достъпна информация за системите, може да се счита, че в значителна степен както основните технически принципи на които са изградени, така и характеристиките им са еднакви или много близки.

2. Минималните различия между тях се дължат основно на изискванията от възложителите (инфраструктурни оператори или превозвачи), предвид специфичните особености на конкретните национални железопътни администрации.

3. Австрийската система “Checkpoints” има допълнителни възможности, изразяващи се в: откриване на прегряти букси и елементи от механичната част на спирачната уредба; системи за детекция на пожари; наблюдение на кинематичния габарит на ПЖПС и откриване на дерайлирани вагони от състава на влака.

4. При бъдещите изследвания и разработването на модела на българската система, е целесъобразно използването на тензометричен принцип за измерване натоварването в колелата; установяване на дерайлиране и дефекти по колелата – чрез специализирани сензори за измерване на ускорения в релсите (траверсовата скара) и използване на термовизионни сензори – за констатиране на недопустими прегрявания на букси и фрикционни елементи от влаковата спирачка.

## **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] Dietrich Kuespert, Siegfried Pieper, Peter Hesser, MATTILD – Laserwaage fuer die Messung von Radlasten und Flachstellen am fahrenden Zug, Signal + Draht, 1+2(2003)
- [2] Innovatives System Bahn, Projekt-Abschlussbericht, Wien, Jänner 2009
- [3] Frank Muller-Boruttau, Norbert Breitsamter, Siegfried Pieper, Rad-Schiene-Kraft und Stutzpunkt-Kraft infolge Flachstelle, ETR, Marz 2009, S 103 – 109
- [4] Gerd LeDosquet, Frank Pawellek, Frank Müller-Boruttau, Lasca: Automatic monitoring of the running quality of railway vehicles, RTR 2 (2007), S 1-6
- [5] Knoll Bernhard, Schoebel, Suender, Maly, Entwicklung eines Checkpoint-Prototypen bei der ÖBB Infrastruktur Betrieb AG, Signal + Draht, 7+8(2006), S 10-14
- [6] Weise Thomas, Neuer Messgleisbogen im Pruf- und Validationcenter Wegberg-Wildenrath, Eisenbahningeneur, September 2009, S 54 -62
- [7] [www.argos-systems.eu](http://www.argos-systems.eu)
- [8] [www.lrrail.com](http://www.lrrail.com)