

МЕТОДИ ЗА ИЗЧИСЛЕНИЕ НА УМОРНА ЯКОСТ НА ЕЛЕМЕНТИ ОТ ВАГОННА ТАЛИГА

Ваньо Ралев
vanio.ralev@gmail.com

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“
гр. София, ул. Гео Милев 158
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: подвижен железопътен състав, вагонна талига, уморна якост.

Резюме: Надеждната работа на ходовата част на подвижен железопътен състав и в частност на пътническите талиги е един от основните въпроси, с които ежедневно се сблъскват в своята работа конструкторите, ремонтният и експлоатационен персонал, заети с проектирането, конструирането, производството, експлоатацията и ремонта на тези важни и отговорни за безопасността на движението елементи. Качеството на превозния процес като цяло, опазването живота и здравето на пътниците, както и съхраняването на превозваните товари, в пряка степен зависят от състоянието на ходовите части, в това число и от качеството, надеждността, безотказността, дълготрайността на талигите на железопътните возила и изграждащите ги елементи. Надеждността на техническите системи зависи от състоянието на елементите им през целият период на експлоатация. Елементите на вагонните талиги са подложени на циклични натоварвания. За настъпване на уморно разрушаване в публикацията се посочват редица съществуващи методики на изчисления, статистически наблюдения и изпитвания. В настоящата публикация са систематизирани методите за изчисление на елементи от вагонна талига на уморна якост. Анализирани са унифицираният метод на UIC/ORE в модификация “R-метод” с оценка по диаграмата “ $\sigma_{max} - r$ ”, известна като диаграма на Мур-Комерс-Джаспер и по диаграмата на Гудман, препоръчана в бюлетина B12/RP17 на ERRI.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

При конструирането на основните носещи елементи на железопътните возила най-голямо внимание се отделя на изчислението на уморна якост, защото тя има изключително голямо значение, за гарантиране на необходимата надеждност. Железопътните транспортни средства са застрашени именно от уморно разрушаване, поради същността на процеса “умора”, понеже настъпва години след произвеждането и пускането в експлоатация на големи партии и серии, има масов характер и е свързано с огромни материални щети.

Определянето на уморната якост се осъществява на етапа на проектирането и изпитването на железопътни возила [1, 2, 3, 4].

Основните фактори, с които се оперира са класирани в две групи – съпротивляемост и натоварване, като:

- групата фактори ”съпротивляемост” **R** е детерминирана от границите: на умора σ_{-1} , τ_{-1} , на разрушаване σ_B , τ_B , на провлачване σ_s , τ_s ... на материалите, т.е. **R**(σ_{-1} , τ_{-1} , σ_B , τ_B , σ_s , τ_s ...);

- групата фактори ”натоварване” **T** е детерминирана от: еквивалентното σ_{eq} , максималното σ_{max} , τ_{max} и амплитудното σ_a , τ_a напрежения, асиметрията на цикъла **r** и др., т.е. **T**(σ_{eq} , σ_{max} , τ_{max} , σ_a , τ_a , **r** ...).

За изчисляване на уморна якост се използват два подхода: детерминистичен и вероятностен [1, 5].

- При детерминистичния подход характеристиките на натоварването и съпротивляемостта на материалите (детайлите) срещу уморно разрушаване се разглеждат като напълно определени величини с пренебрегване на случайните им отклонения.

- При вероятностния подход, характеристиките на факторите от двете групи се разглеждат като случайни величини и функции или като закономерно изменящи се от нестатистичен тип.

Детерминистичният подход е по-опростен и дава добри резултати при напрежения с постоянен характер на изменение, при който параметрите на цикъла (амплитуда σ_a , средно напрежение σ_m и др.) практически не се изменят във времето.

Вероятностният подход е целесъобразен за прилагане когато изменението на напреженията не е закономерно, а се подчинява на вероятностните закони. Най-типични случаи за проявление на напреженията като случайни величини са железопътните транспортни средства (ж.т.с.) – локомотиви, вагони, метро возила и трамваи.

В етапите на проектиране и предпроектни проучвания, поради крайно ограничения обем на информация, детерминистичен подход е не само предпочитан пред вероятностния но и – в повечето случаи – единствено възможен за прилагане.

Възможността за най-опростено и пряко определяне по изчислителен път на границата на умора на детайла σ_{-1D} се свежда до установяване на нейната връзка с границата на умора на стандартния образец σ_{-1} от същия материал. Тази връзка може да бъде изразена с отношението между тях, наречено **сумарен коефициент на влияние** **K_{σD}**, т.е.

$$(1) K_{\sigma D} = \sigma_{-1} / \sigma_{-1D}, \text{ откъдето: } (2) \sigma_{-1D} = \sigma_{-1} / K_{\sigma D}$$

В зависимостта (8) границата на умора на стандартния образец σ_{-1} се взема от справочната литература за съответния материал, а сумарният коефициент **K_{σD}** се изчислява чрез емпирична формула в зависимост от: концентрация на напреженията (чрез ефективния коефициент на концентрация на напреженията); големината на детайла (чрез мащабния коефициент); грапавостта на повърхнината респ. вида на обработката на детайла (чрез коефициент за грапавост); нехомогенността и анизотропността на материала; вътрешните напрежения в материала и повърхностната или обемна термообработка [2].

За повечето отговорни детайли на железопътната техника коефициентът **K_{σD} = 2,5 ÷ 6**, поради което неговата роля не бива да бъде подценявана особено за голямо габаритните детайли с наличие на концентратори на напрежения.

За реалния детайл или конструкция – при редуциране на асиметричния цикъл към симетричен трябва непременно да се отчита понижението на уморната якост вследствие на групата фактори, формиращи сумарния коефициент на влияние **K_{σD}**, дефиниран съгласно (1). Формулата за редуциране на асиметричния цикъл към

симетричен за детайла може да се получи от тази за образца, като същата се раздели със сумарния коефициент на влияние $K_{\sigma D}$, т.е.

$$(3) \sigma_{-1} / K_{\sigma D} = \sigma_a / K_{\sigma D} + \sigma_m \cdot \psi_{\sigma} / K_{\sigma D},$$

означавайки в израза:

$$(4) \sigma_{-1D} = \sigma_{-1} / K_{\sigma D}, \sigma_{aD} = \sigma_a / K_{\sigma D} \text{ и } \psi_{\sigma D} = \psi_{\sigma} / K_{\sigma D},$$

и имайки в предвид че $\sigma_m \equiv \sigma_{mD}$, се получава редукиционната формула за детайла:

$$(5) \sigma_{-1D} = \sigma_{aD} + \sigma_{mD} \cdot \psi_{\sigma D}$$

Широко разпространената формула за теоретично определяне на коефициента на сигурност λ е:

$$(6) \lambda = \sigma_{-1} / (\sigma_{aP} \cdot K_{\sigma D} + \sigma_{mP} \cdot \psi_{\sigma})$$

където σ_{mP} и σ_{aP} - параметри на работното реално или разчетено натоварване; $(\sigma_{-1}, \psi_{\sigma})$ - характеристики на материала и $K_{\sigma D}$ – обобщен коефициент на влияние.

По проблемите за изчисляване на умора при сложно напрегнато състояние са извършени много на брой и задълбочени изследвания в различни институти [6, 7, 8].

Формулата за определяне границата на умора на детайла σ_{-1D} , пригодена за приложение към транспортни обекти при ограничен обем на информация и със зададена стойност на коефициента на сигурност λ се прилага обикновено във вида:

$$(7) \sigma_{-1D} = \lambda^m \sqrt{\frac{L}{a \cdot N_B \cdot \ell} \cdot \sum_{\sigma_i \geq 0,5 \sigma_{-1D}}^{\sigma_m} |n_i \sigma_i^m|_{\ell}},$$

където: L е пробегът на вагона в km за зададения период на работа, например: целия амортизационен срок, периода до капитален ремонт и т.н.; a - коефициент на натрупване на повредите; N_B – базов брой цикли; n_i - брой симетрични цикли; σ_i - напрежение на цикъл; σ_m - средно напрежение; m - степенен показател; ℓ - дължината в km на представителния участък ($\ell \ll L$), характеризиращ се със спектър на натоварване, какъвто е на реалния участък L за целия период на работа.

Формула (7) се прилага най-често след проведени изпитвания с цел да се направи проверка за удовлетворяване на условията за уморна якост. В по-редки случаи е прилагана в стадия на проектирането за извършване на уморно-якостни изчисления въз основа на виртуален представителен участък. Тази формула и методът, базиращ се върху нея, в същност не се различават принципно от Метода на британските железници (BR) за прогнозиране продължителността на експлоатация на релсовия подвижен състав в частта „анализ на повреждащото действие на натоварванията” [1]. Известно с наименованието „относително повреждане” или „относителен ресурс”, което отнесено към 1 km пробег (т.е. при $(\ell/L)/\ell$), съгласно даденото в метода на BR определение, представлява реципрочната стойност на пробега:

$$(8) \frac{\ell}{L} = \sum_{\sigma_i \geq 0,5 \sigma_{-1D}}^{\sigma_m} |n_i \sigma_i^m|_{\ell} \cdot [a \cdot N_B \cdot \sigma_{-1D}^m]^{-1},$$

При $\lambda = 1$ и $a = 1$ за пробега L се получава израза:

$$(9) L = \ell \cdot N_B \cdot \sigma_{-1D}^m \cdot \left[\sum_{\sigma_i \geq 0,5 \sigma_{-1D}}^{\sigma_m} |n_i \sigma_i^m|_{\ell} \right]^{-1}$$

2. УНИФИЦИРАНИ МЕТОДИ ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО-ТЕОРЕТИЧНО ОЦЕНКА НА УМОРНА ЯКОСТ ЗА КОНСТРУКЦИИ ОТ ЖЕЛЕЗОПЪТНИ ВОЗИЛА

Унифицираният метод на UIC/ORE за експериментално-теоретично оценка на уморна якост без разрушаване е създаден в основната част през периода 1975 – 1980

година от Организацията (института) по изследвания ORE към международния железопътен съюз UIC [6] като задължителен метод за вагонни конструкции в международно съобщение, но на практика се използва за всички вагони, а редица жп администрации го използват и за локомотиви. Методът бързо се налага повсеместно със силата на задължителен общеевропейски метод, на който се основават всички технически изисквания за производство и доставка на жп подвижен състав (главно вагони), от които се ръководят специалистите и организациите, участващи в цялата верига от цикъла “проектиране-изпитване-производство-експлоатация”.

В България унифицираният метод на UIC/ORE започва да се прилага от ИЕЖТ от 1978 г. в модификацията “R-метод” въз основа на излезлия през 1977 г. документ доклад B12/RP17 [6], съгласно който оценката се извършва по диаграмата “ $\sigma_{\max} - r$ ”, известна като диаграма на Мур-Комерс-Джаспер. По-късно, в бюлетина B12/RP17(80) се препоръчва използване на диаграмата на Гудман-Смит (или на Гудман, както е прието в UIC), като там е приложена и диаграмата “ $\sigma_{\max} - r$ ” от предните издания. В следващите издания на бюлетина през периода 1980-1990 година остава само диаграмата на Гудман, като методът претърпява някои изменения, но се запазва в основния си вид и с основополагащите му принципи, които се свеждат до следното:

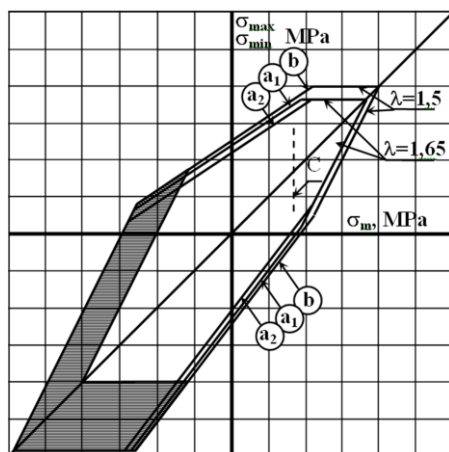
1) **Напреженията** (респ. факторът “натоварване”) **се определят експериментално** при реални експлоатационни условия по отношение на товари, скорости, състояние и видове отсечки на железния път (прави, криви-леви и десни с различни радиуси, стрелки и др.), при което за всяка точка от конструкцията напрежението се разглежда като съставено от две компоненти - статична σ_s и динамична σ_d компонента. Сумарното напрежение σ се определя по зависимостта:

$$(10) \sigma = \sigma_s + \sigma_d.$$

При този метод **се отчитат максималната σ_{\max} и минималната σ_{\min} стойности** на сумарното напрежение за извадката, които се получават чрез сумиране на статичната компонента σ_s с динамичната максимална $\sigma_{d\max}$, респ. минимална $\sigma_{d\min}$ стойности, т.е.

$$(11) \sigma_{\max} = \sigma_s + \sigma_{d\max}; \quad \sigma_{\min} = \sigma_s + \sigma_{d\min}$$

2) **Съпротивляемостта на конструкцията** се представя с диаграмата на Гудман (фиг.1), която специално за разглеждания метод се характеризира със следното:



Фиг. 1 Работна диаграма на Гудман за стомани съгл. UIC/ORE B12/RP17.

- Допустимите напрежения на детайла, т.е. **контурите на диаграмата на Гудман**, зависят от степента на концентрация на напреженията за различните видове оценявани места, които **се класират в три типа (зони): зона “a₁”** – за места със **средна степен на концентрация** на напреженията: преходи в сеченията или заварки без преходи, т.е. челни заварки; **зона “a₂”** – за места с **висока степен на концентрация** на напреженията: преходи в сеченията плюс заварки, обикновено ъглови заварки и **зона “b”** - за места **без концентрация** на напреженията.

- Диаграмите на Гудман по допустими напрежения за различни материали се отнасят за **реални детайли и възли от вагонни**

конструкции, изработени в реални производствени условия от намиращи се на “пазара” материали и изпитани от различни авторитетни лаборатории в Европа при различни режими, включително и различни стойности на асиметрия на цикъла r , като са отчетени в максимална степен характерните условия за натрупване на поврежданията при експлоатация на вагоните.

3) **Критерият за оценка** на напрегнатото състояние – допустимо или недопустимо в дадено място от конструкцията е дали точките, определени от напреженията σ_{\max} , σ_{\min} и σ_m , при нанасяне в диаграмата на Гудман (линия „С” от фиг.1) попадат в областта, заградена от контурите ѝ или излизат извън нея.

Към унифицирания метод на UIC/ORE може да бъде добавено следното:

1. За детайлите от стомани с разрушаващо напрежение **370MPa** и **520MPa** проведените изпитвания на умора са до разрушаване. Поради това при обработката на експерименталните резултати най-напред са построени (по схематизиран метод на TGL19340 [9]) контурните линии на Гудмановата диаграма, отговарящи на граничните (разрушаващи) напрежения σ_r при различна степен на γ – вероятност за безотказна работа $P \geq 0,1, 0,5, 0,75, 0,9$. Както показват тези изпитвания, най-голяма дисперсия $D(\sigma_r)$, характеризираща разсейването на резултатите, показват местата с най-висока степен на концентрация на напреженията. Затова за зона “a₂” контурните линии в работната диаграма са прекарани при γ -вероятност за безотказна работа $P \geq 0,9$. За зона “a₁” е заложена γ -вероятност за безотказна работа $P \geq 0,75$, а за зона “b” без концентрация на напрежения и с най-малка дисперсия $D(\sigma_r)$ е заложена медианната вероятност за безотказна работа $P \geq 0,5$. За тези три зони, обособени според степента на концентрация на напреженията и дисперсията, са различни и стойностите на коефициента на сигурност – $\lambda_{\text{(зона b)}} = 1,50$, $\lambda_{\text{(зона a1, a2)}} = 1,65$.

2. Тъй като динамичната компонента на напрежението σ_d е стационарна случайна функция с нулево математично очакване, следва отъждествяване на статичното σ_s със средното σ_m напрежение, т.е. $\sigma_s \equiv \sigma_m$ и е заложено условието:

$$(12) \sigma_s = \sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2,$$

а също така при съвместното използване на “R - метода” и диаграмата на Гудман, в която се нанася само една точка, определена от σ_{\max} и σ_m .

При прилагане на унифицирания метод на UIC/ORE трябва по **абсцисата на Гудман – диаграмата да се нанася за средно напрежение статичното** и при неговата стойност да се фиксират **две точки** – за σ_{\max} и σ_{\min} – които се “вписват” в диаграмата при удовлетворено якостно условие и обратно.

3. В първоначалните издания на унифицирания метод на UIC/ORE липсват каквито и да било указания относно определянето на максималното и минималното сумарно напрежения σ_{\max} и σ_{\min} , както и на детерминиращите ги $\sigma_{d\max}$ и $\sigma_{d\min}$. По-късно е заложено изискването за прилагане на математико-статистичен метод за обработка на първичната експериментална информация при определяне на $\sigma_{d\max}$ и $\sigma_{d\min}$, като се използва класическото правило на “трите сигми”, т.е.

$$(13) \sigma_{d\max} = m(\sigma_d) + 3S\sigma_d; \quad \sigma_{d\min} = m(\sigma_d) - 3S\sigma_d,$$

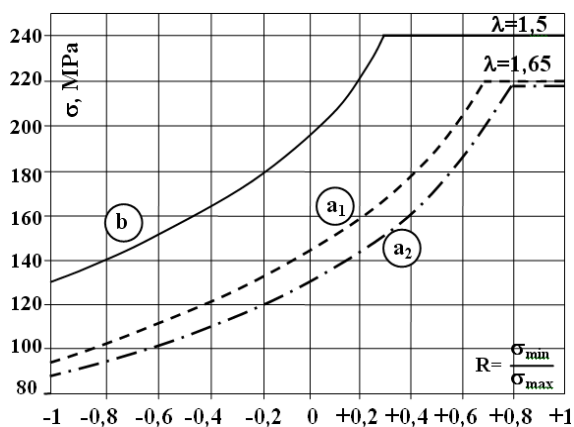
където: $m(\sigma_d)$ е математичното очакване а $S\sigma_d$ - средноквадратично отклонение на σ_d .

В изданието на бюлетина OREB12/RP17(80) се препоръчва $\sigma_{d\max}$ и $\sigma_{d\min}$ да бъдат определяни при степен на вероятност $P = 99,865\%$ респ. **0,135%**, което означава по-голяма точност спрямо класическото правило “ $3S\sigma_d$ ”, за което вероятността на $\sigma_{d\max}$ и $\sigma_{d\min}$ е съответно **99,730%** и **0,270%**; и за гарантиране от нежелани грешки в случаи на отклонение на разпределението от нормалния закон на Гаус, се препоръчва графично определяне на $\sigma_{d\max}$ и $\sigma_{d\min}$ по метод на SNCF [1].

Средните напрежения σ_m и амплитудната им стойност се определят по изразите:

$$(14) \sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2, \quad (15) \sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2.$$

4. Модификацията на унифицирания метод на UIC/ORE в началния етап – т.н. “R-метод” – с диаграмата “ $\sigma_{\max-r}$ ” по точност и достоверност на резултатите тази диаграма е напълно равностойна на диаграмата на Гудман, ако последната се прилага със средно напрежение по абсцисата σ_m и със σ_{\max} по ординатата, т.е. ако се нанася в



Фиг.2 Работна диаграма “ $\sigma_{\max} - r$ ” за стомани със $\sigma_B \geq 520$ MPa (по UIC/ORE B12/RP17(80))

координатната система само една точка, определена от σ_{\max} и σ_m . От друга страна, диаграмата “ $\sigma_{\max} - r$ ” има това предимство че се оперира с допустими напрежения (характерни за старите методи), но с тази разлика, че те се променят в зависимост от асиметрията на цикъла r . На фиг.2 е дадена работна диаграма на ORE “ $\sigma_{\max} - r$ ” за стомана със $\sigma_B \geq 520$ MPa.

5. Както повечето изследвания и при унифицирания метод UIC/ORE липсват данни в областта на отрицателните средни напрежения $\sigma_m < 0$.

Унифицирания метод UIC/ORE се основава на резултати от изпитвания на реални детайли и възли от вагонните конструкции, изработени в реални експлоатационни условия, поради което факторите $K_{\sigma D}$, ψ_{σ} и σ_1 са точно отчетени.

Докладът на Института към UIC, озаглавен **ERRI B 12/RP 17** първоначално е бил предназначен за изпитване на вагони с метална конструкция. Диапазонът на динамичното натоварване заложен в стандарта е $a_z = (1 \pm 0,3)g$. Заложените в стандарта стомани са с якост на опън от **370 N/mm²**, **420 N/mm²** и **520 N/mm²**.

При изследване на умората на материала се използват кривите на Вюлер, представени в МКJ-диаграма [6]. Допустимите напрежения са функция от коефициента на асиметрия на цикъла, който се определя от равенството: $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$.

Според стандарта DVS 1612 [7] оценката на умора на материала се прави с помощта на МКJ- диаграми. Кривите за допустими напрежения се определят по израза:

$$(16) \sigma_{\text{доп}}(R_{\sigma}) = 150(1,04^{-x}) \{2 \cdot (1 - 0,3 \cdot R_{\sigma}) / [1,3 \cdot (1 - R_{\sigma})]\},$$

където $\sigma_{\text{доп}}$ е допустимото напрежение; R_{σ} - коефициент на асиметрия на цикъла за съответното напрежение σ .

3. МЕТОДИКИ ЗА ОЦЕНКА НА НАПРЕЖЕНИЯТА ПРИ РАЗЛИЧНИ РЕЖИМИ НА НАТОВАРВАНЕ

3.1. Методика за оценка на напреженията при статично натоварване на вагонни конструкции

По метода за оценка на напреженията при статично натоварване на вагонни конструкции оценката на якостта се извършва по критерия допустими напрежения:

$$(17) \sigma_n \leq \sigma_{\text{доп}}$$

Изчисляват се напреженията на вагонната конструкция - σ_n и се определят допустимите напрежения $\sigma_{\text{доп}}$ в съответствие с данните от таблица 1 [6, 8].

Таблица 1

| Зона на изследв. сечение | Характеристики на метала | Допустими напрежения |
|--|---|---|
| Основен метал извън заваръчен шев | $R_p < 0,8 \cdot R_m$ $R_p > 0,8 \cdot R_m$ и $A > 10\%$ $R_p > 0,8 \cdot R_m$ и $A < 10\%$ | $\sigma_{\text{доп}} = R_p$ $\sigma_{\text{доп}} = R_p$ $\sigma_{\text{доп}} = R_m / 1,25$ |
| Основен метал в близост до заваръчен шев | $R_p < 0,8 \cdot R_m$ $R_p > 0,8 \cdot R_m$ и $A > 10\%$ $R_p > 0,8 \cdot R_m$ и $A < 10\%$ | $\sigma_{\text{доп}} = R_p / 1,1$ $\sigma_{\text{доп}} = R_p / 1,1$ $\sigma_{\text{доп}} = R_m / 1,375$ |

R_p - граница на провлачване; R_m - якост на опън; A - относително удължение след разрушаване в %.

Анализът на практиките на водещите звена и организации за якостни изчисления на вагони показва, че оценката се извършва по: максимални стойности; по метода на отстраняването, или чрез подбор на изследваните зони.

Оценката на напреженията се извършва при следната последователност:

1. Анализира се конструктивната документация и се определят носещите елементи, като конструкционните елементи се класифицират в **n** групи според вида на материала, от който са изработени.

2. Определят се материалните характеристики **R_p**, **R_m** и **A** за всички **n** групи, според европейските или национални стандарти.

3. Пресмятат се допустимите напрежения в съответствие с данните от таблица 1.

4. Моделира се обекта на изследване. При моделирането задължително се обособяват зоните на заваръчните шевове.

5. Получените резултати за напреженията се извеждат в табличен вид.

6. За всяка от базите от данни се задава допустимото напрежение.

7. Пресмятат се коефициентите на сигурност **S** за всички получени напрежения в съответствие с равенството: $S = \sigma_{\text{доп}}/\sigma_{\text{н}}$. Критерият за оценка се дава с условието: $S \geq 1$.

3.2. Методики за оценка на напреженията при режими за изследване

A) по статичен път

Оценката на якостта на вагонните конструкции се прави по критерия допустими напрежения, свеждащ се до сравняване на стойностите на напреженията $\sigma_{\text{н}}$ получени при теоретично изследване или при изпитване с допустимите напрежения $\sigma_{\text{доп}}$, получени като отношение между граничните напрежения за даден материал и съответния коефициент на сигурност. Изследваното изделие има достатъчна експлоатационна якост при условие, че е изпълнено неравенството (17).

Прилагането и особеностите на метода за оценката на якостта на вагонни конструкции се състои в следното:

1. По теоретичен път или чрез изпитване се определят напреженията $\sigma_{\text{н}}$.

2. Определят се допустимите напрежения $\sigma_{\text{доп}}$ с помощна на:

- с помощта на МКJ-диаграми $\sigma_{\text{доп}} = f(\mathbf{R})$;

- с помощта на Гудман-Смит-диаграми $\sigma_{\text{доп}} = f(\sigma_{\text{м}})$.

3. Оценката на якостта се извършва в съответствие с условие (17).

Б) при изследване на умората на материала

Методиката включва:

1. Определят се режимите на натоварване.

2. Анализира се конструктивната документация за определяне на носещите елементи и конструкционните елементи се класифицират в „**n**” групи според вида на материала, от който са изработени.

3. Определят се материалните характеристики **R_p** и **R_m** за всички видове използвани материали, според европейските или национални стандарти.

4. Определят се „**m**” на брой групи в зависимост от конструктивните особености на разглеждания възел (вид на заваръчния шев и степента на концентрация на напрежение).

5. Моделиране обекта на изследване, като се обособяват зоните на заваръчните шевове и концентраторите на напрежения.

6. Получените резултати за напреженията се извеждат в табличен вид и се селектират в общия случай в **m** x **n** на брой бази от данни.

7. За всяка от базите данни се определя коефициентът на асиметрия на цикъла или средните напрежения в зависимост от избрания подход.

8. За всяка от базите от данни се задава допустимото напрежение и се пресмята коефициент на сигурност **S**.

В случай че коефициентът на сигурност е по-малък от единица, то изследваната зона е с недостатъчна якост и е целесъобразно реализирането на усилване.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата публикация са систематизирани методите за изчисление на елементи от вагонна талига на уморна якост. Анализирани са унифицираният метод на UIC/ORE в модификация “R-метод” с оценка по диаграмата “ $\sigma_{\max} - r$ ”, известна като диаграма на Мур-Комерс-Джаспер и утвърден метод публикуван в бюлетина B12/RP17(80) на ERRI с оценка по диаграма на Гудман.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пенчев Ц., Ахмаджова Д. Якост и дълготрайност на автомобилна и железопътна техника., ВТУ, С. 2007
- [2] Пенчев Ц., Ахмаджова Д. Относно някои изходни постановки, принципи и критерии при определяне коефициента на сигурност за уморна якост на транспортни конструкции, МНК "ТРАНСПОРТ", 2009г бр.3, рег. No: 0424, стр. VI-61 до VI-67, ISSN N2367-6620, <https://mtc-aj.com/library/424.pdf>
- [3] Atmadzhova D., The Bulgarian State Railways experience in determining fatigue strength of rolling stock structures, XVI Conference RAILCON'14 Niš, Serbia, at the Faculty of Mechanical Engineering October, 2014, pp.69-72, http://www.railcon.rs/zbornik/Proceedings_RAILCON'14.pdf
- [4] Николов В., Якост и дълготрайност на автомобилна и железопътна техника. Ръководство за упражнения., http://tt.vtu.bg/learning/Rykovodstvo_upraznenia_Yakost.pdf
- [5] Atmadzhova D., Some data for calculation of fatigue in probabilistic aspect of railway vehicles., XIV Conference RAILCON"10 takes place in Nis, Serbia, at the Faculty of Mechanical Engineering on 07 - 08 October, 2010, http://www.railcon.rs/zbornik/ZBORNIK_ZELKON_10.pdf
- [6] ERRI (ORE) QUESTION B12 Standardisation des Wagons Rapport №17, Utrecht 1977-1980
- [7] DVS-1612, 2017 Design and endurance strength analysis of steel welded joints in rail-vehicle construction
- [8] Славчев С. Оптимизация на изчислителния процес при използване на числени методи за изчисляване на якостта на коша на товарни вагони, автореферат, ТУ-София, 2015
- [9] TGL 19340, DDR-Standard Dauerfestigkeit der Maschinenbauteile. Berlin: Verlag für Standard, 1984

METHODS FOR CALCULATING THE FATIGUE STRENGTH OF ELEMENTS OF THE WAGON BOGIE

Vanio Vanchev Ralev

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

Key words: *rolling stock, wagon bogie, fatigue strength.*

Abstract: *The reliable operation of the running gear of rolling stock and in particular of wagon bogies is one of the main issues that designers, repair and maintenance staff involved in the design, construction, production, operation and repair of these important and responsible for traffic safety elements. The quality of the transport process as a whole, the*

protection of the life and health of passengers, as well as the storage of the transported goods, directly depend on the condition of the running gear, including the quality, reliability, durability of bogies and their elements. The reliability of technical systems depends on the condition of their elements throughout the period of operation. The elements of the wagon bogies are subjected to cyclic loads. A number of existing calculation and testing methods are indicated in the publication for fatigue failure of the material. This publication systematizes the methods for calculating elements of the wagon bogie of fatigue strength. An analyzed are the unified UIC/ORE method in modification "R-method" with evaluation according to the " σ_{max-r} " diagram, known as the Moore-Commerce-Jasper diagram and according to Goodman's diagram, recommended in the ERRI bulletin B12/RP17.