

АВТОМАТИЗИРАНО ПРЕСМЯТАНЕ НА ДЪЛГОТРАЙНОСТ НА ЕЛЕМЕНТИ ОТ ПОДВИЖЕН ЖЕЛЕЗОПЪТЕН СЪСТАВ

Добринка Атнаджова, Милен Михалев

atmadzhova@abv.bg

Висше транспортно училище "Тодор Каблешков",
катедра "Транспортна техника" Ул. "Гео Милев" 158, София 1574,
БЪЛГАРИЯ

Резюме: В настоящата публикация се разглеждат програмните продукти, позволяващи максимално автоматизиране на процеса на пресмятане на дълготрайност на носещи конструкции от подвижен железопътен състав в съответствие с действащи нормативни документи. Въз основа на теоретични и експериментални изследвания е показана необходимостта от допълнителна оценка на съпротивлението на умора чрез изчисления на дълготрайност (ресурс). Представени са пресмятания на дълготрайност на талигова рама на дизелов локомотив серия 06 (ДЛ06), осъществени с помощта на програмния продукт MSC.Fatigue. Статическото пресмятане на якостно-деформационното състояние на рамата се реализира с MSC.Nastran. Стойностите в блока натоварвания са получени по данни от тензометриране на конструкцията, в условия на реална работа. Метода на основата на деформационния критерий позволява най-точно отчитане влиянието на локалните свойства на материала, в това число деградацията на неговите пластически свойства, на дълготрайността на работа на конструкцията. Отчита се влиянието на асиметрията на циклите на натоварване върху дълготрайността, а също така и остатъчните напрежения (по пътя на корекции на блока на напрежения), което е особено актуално за заварени конструкции.

Ключови думи: якост, съпротивление на умора, дълготрайност, ресурс, коефициент на сигурност.

1. Въведение

Под "дълготрайност" или "ресурс" се разбира способността на материалите и изделията да изпълняват своите функции в продължение на определен срок – например, срокът, определен от живота на изделието, от интервалите между ремонтите, техническите ревизии и др. Дълготрайността (ресурсът) е по-широкообхватно понятие от якостта в обикновения смисъл и включва:

- а) якостта предимно при циклични натоварвания (и то, обикновено при голям брой цикли) или, както се нарича, **якост на умора** или **уморна якост**, а самият процес – **умора**;
- б) **износването** на детайлите, което за някои изделия, като двигатели с вътрешно горене, зъбни редуктори и др., е определящо за ресурса;
- в) **корозията**, проявяваща се както в най-обикновения си вид, така и като **фретинг-корозия**, която е непосредствено свързана с напрегнато състояние на материали и е особено характерна за някои високо отговорни елементи от ходовата част на транспортната техника;
- г) **старееването, пълзенето** и др., характерни главно за синтетичните материали.

Най-отговорните детайли и възли от железопътните транспортни средства, като ходова част, рами и др. са застрашени най-вече от уморно разрушаване което, настъпва години след произвеждането и пускането в експлоатация на големи партии и серии, обикновено има масов характер, като е свързано и с огромни материални щети, особено в случаите на пряко нарушаване на условията за безопасно движение.

Съгласно действащите нормативни документи съпротивлението на умора се оценява от коефициента на сигурност n . Действащите норми за проектиране на товарни вагони дава удовлетворяваща оценка на якост за традиционните конструкции. Обаче приетите методи за оценка съпротивлението на умора недостатъчно пълно отчитат особеностите на динамичното поведение на отделни типове возила. Методите за пресмятане на машинните детайли на дълготрайност се основават на хипотезите на линейно сумиране на повредите с отчитане допустимата вероятност на повреда [1]. Известни подходи, в които сумирането на повредите се изпълнява по кривите на умора в напреженията освен в деформациите [2-10].

Във връзка със стареенето на подвижния състав актуални стават изследванията по оценка на остатъчния ресурс на носещите конструкции (главни рами и рами на талиги) [11,12,13,14]. Такива изследвания могат да се осъществяват на основата на посочения в [15] подход. Този метод дава възможност за прогнозиране дълготрайността (ресурса) на конструкцията с отчитане зададена вероятност за разрушения (риска), но той е приложим само в границите на еластичните натоварвания, което обикновено има място при многоцикловата умора.

В настоящият момент интензивно се развиват програмните продукти, позволяващи максимално автоматизиране на процеса на пресмятане на дълготрайност. Един от тези продукти, получил широко разпространение и признание на специалистите, се явява програмния пакет MSC.Fatigue разработен съвместно с компаниите MSC.Software и nCode International, Ltd. (г. Шеффилд).

Изчисленията на дълготрайност с използването на MSC.Fatigue се осъществяват в следната последователност:

- с помощта на програми (например MSC.Nastran, MSC.Marc, ANSYS, ABAQUS, CATIA и др.), съвместими с препроцесора и постпроцесора MSC.Patran, се извършва пресмятане на якостно-деформационното състояние на детайлите по метода на крайните елементи при статически въздействия на променливи натоварвания;
- задава се вида (закона, блока) на натоварването, т.е. установява се натоварването, от въздействието на което е извършено статическото пресмятане което се изменя във времето;
- въвежда се крива на умора на детайла и нейната доверителна вероятност (ако има съответстващи експериментални данни) или кривата за умора на материала и коефициентите на снижение границата на умора, отчитащи фактическото състояние на детайлите (при отсъствие на необходими данни те могат да бъдат получени по числен път по построени емперични зависимости, за което е достатъчно отбелязването на някои характеристики на метала: граница на якост, модул на еластичност, коефициент на Пуасон).

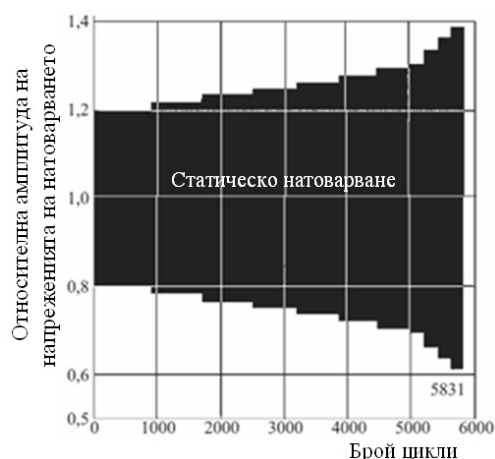
За изчисленията може да се използва кривата на умора в напрежения ($s - N$ -метод) или в деформации ($\epsilon - N$ -метод). Автоматизираното построение на последното се осъществява по две асимптоти. Резултатите от изчисленията се получават във вид - броя на повторенията на зададените натоварвания. Ако, например последователността съответства на годините на експлоатация или на километрите пробег, то резултат от изчисленията ще бъде дълготрайността съответно в години или километри пробег.

2. Пресмятане на дълготрайността на елементи от подвижен железопътен състав

Пресмятанията на дълготрайност на талигова рама на дизелов локомотив серия 06 (ДЛ06), са осъществени с помощта на програмния продукт MSC.Fatigue. Съставен е тримерен геометричен модел на посочената талигова рама с помощта на програмния продукт Solid Works, след което модела е транслиран в препроцесора MSC. Patran, където се генерира крайно-елементна мрежа и се задават всички необходими за изчисленията изходни данни: свойства на материала, гранични условия (натоварвания и опори) и др.

Основните гранични условия, определящи якостно-деформационно състояние на талиговата рама се явяват вертикалните сили на взаимодействие с коша, тяговите двигатели и пружини от ресорното окачване. На талиговата рама от всяка опора на коша действа статическа сила, равна на **95 kN**. Обресоряването на теглото на тяговия двигател, приведено на една опора – **16kN**, на половина опора (в съответствие с приетия модел от симетричността на талиговата рама) – **8kN**. Пружините от ресорното окачване с отчитане на тяхната вертикална коравина влизат непосредствено в изчислителния модел. Статическото пресмятане на якостно-деформационното състояние на рамата се реализира с MSC.Nastran. Получените резултати качествено (по разположението на най-натоварените зони) и количествено (по нивото на осевите напрежения) добре се съгласуват с данните от експерименталното тензометриране.

Определянето на блока натоварвания (таблица 1) е по данни от тензометрията, в условия на реална работа на ДЛЮ6. За целта се тензометрира талиговата рама в зоните на долния пояс на страницата на рамата и в областта на буксовите опори. По резултатите от статическото изчисление на осевите напрежения и от експерименталните данни (табл.1) се определя нужният за пресмятането в MSC.Fatigue блок натоварване в дела от вертикални статически натоварвания. Общият вид на получените натоварвания за един ден работа на локомотива е показан на фиг.1.



Фиг.1. Натоварвания на талиговата рама за вход в програмния продукт MSC.Fatigue

Таблица 1. Спектър на натоварване на талиговата рама на ДЛЮ6

Номер на степените натоварвания	Амплитуда на напреженията, МПа	Брой цикли на натоварване за 1 ден работа
1	19,8	192
2	18,6	206
3	17,2	217
4	15,5	230
5	15,1	508
6	14,2	602
7	13,4	661
8	12,6	704
9	12,0	792
10	11,0	814
11	9,6	905

За задаване на кривата на умора се използват резултатите от стендовите изпитания на реална страница от талиговата рама: абцисата на точката на пречупване на кривата – $N_G = 10^7$, степенен показател на наклонения клон от кривата - $m = 5$, граница на умора на детайлите - $\sigma_{1d} = 40 \text{ MPa}$.

Отчитането на влиянието на средните напрежения при пресмятане дълготрайността се осъществява по хипотезата на Гудман (такава опция е предвидена в MSC.Fatigue). Съгласно нейните напрежения симетричните и несиметричните цикли са свързани с уравнението $\sigma_a/\sigma_{ekv} + \sigma_m/\sigma_b = 1$, където σ_a – амплитуда на напрежение на несиметричен цикъл; σ_{ekv} – амплитуда на еквивалентното напрежение на симетричен цикъл; σ_m – средно напрежение на несиметричен цикъл; σ_b – граница на якост на материала на опън.

Дълготрайността се определя за най-натоварените възли на модела крайни елементи. Установено е, че с вероятност **0,9997** страницата на талиговата рама в течение на работа не по-малко от 100 години в установените места няма да се разрушава, т.е. за приетите условия на натоварване талиговата рама притежава „неограничена дълготрайност”. В този случай в програмния продукт MSC.Fatigue е предвидено пресмятане на коефициента на сигурност, който показва колко пъти е нужно увеличаването на натоварването, за получаването на зададената дълготрайност. Такова пресмятане, показва, че се обезпечава дълготрайност за не по-малко от **30** години, например с коефициент на сигурност **1,6**, т.е. талиговата рама работи в посочения срок даже в условията на **60**-процентово увеличаване на натоварването.

Полученият коефициент на сигурност **1,6** следва да се счита за достатъчен, доколкото в изчисленията е използвано достоверни данни по кривата на умора и развитието на

натоварването. Освен това, високата якост на талиговата рама от дадената конструкция се потвърждава от многолетните опити на тяхната експлоатация без появяване на уморни повреди.

По методиката, отчитаща локалните свойства на метала на изследваната конструкция, изчислените криви на умора, свързаните с допустимия брой цикли на натоварване (дълготрайност) $[N]$ с допустима амплитуда на напреженията $[\sigma_a^*]$, се определят по две уравнения, достоверни за широк диапазон брой цикли ($10^0 \leq N \leq 10^{10}$). Едно от тези уравнения зависи от приетият коефициент на безопасност по напрежения n_σ и е:

$$(1) [\sigma_a^*] = f_1([N], n_\sigma, \dots)$$

Другото уравнение зависи от приетият коефициент на безопасност по брой цикли n_N и е:

$$(2) [\sigma_a^*] = f_2([N], n_N, \dots)$$

В уравненията се използват следните базови характеристики на механичните свойства на материала: E^t – модул на надлъжна еластичност (при температура t); σ_b^t – граница на якост; $\sigma_{0,2}^t$ – условна граница на провлачване; ψ_k^t – относително свиване на стандартен образец в неговата шийка (определя се по експериментален път или се изчислява чрез относителното удължение δ^t , използвайки корелационни зависимости между ψ_k^t и δ^t).

Условното еластично приведено напрежение σ^* и изчислената или експлоатационно получена деформация (номинална или местна) ϵ са свързани чрез уравнението:

$$\sigma^* = \epsilon \cdot E^t$$

Ако условните номинални или местни напрежения не надвишават физическата граница на провлачване σ_T^t , то местните условни еластични напрежения $\sigma_{\max k}^*$ в зоните на концентрация се изчисляват по теория на еластичността:

$$(3) \sigma_{\max k}^* = \alpha_\sigma \cdot \sigma_n^*,$$

където α_σ – теоретичен коефициент на концентрация на напреженията; σ_n^* – номинални условни еластични напрежения, определяни по изчисления. Стойностите на $\sigma_{\max k}^*$ за изчислителните зони се получават по численни методи (например МКЕ), тогава съгласно уравнение (3) е в сила зависимостта: $\alpha_\sigma = \sigma_{\max k}^* / \sigma_n^*$.

Необходимата за сравнение стойност на σ_T^t може да бъде изчислена, ако е известна условната граница на провлачване $\sigma_{0,2}^t$:

$$\sigma_T^t = \left[\frac{\sigma_{0,2}^t}{(E^t \cdot 0,2 \cdot 10^{-2} + \sigma_{0,2}^t)^{m_0}} \right]^{\frac{1}{1-m_0}}$$

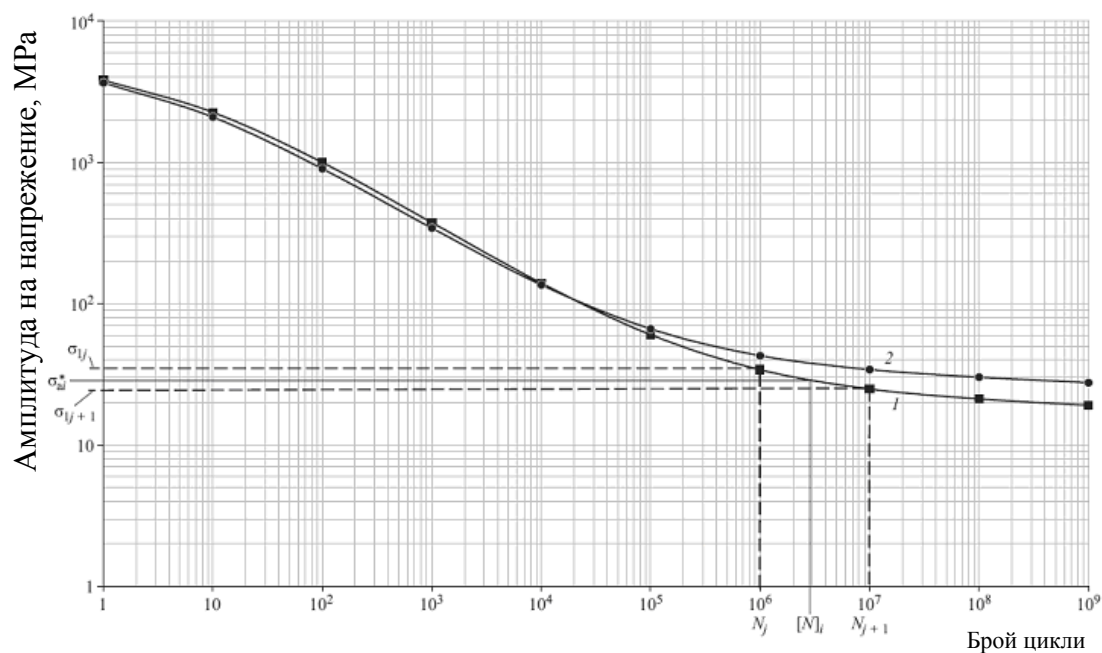
където m_0 – показател на втвърдяване (закаляване) на материала в еластично-пластичната област [1,2,6].

Ако местните условни еластични напрежения (с отчитане на локалните остатъчни напрежения) надвишават физическата граница на провлачване σ_T^t , то вместо формула (3) се използва зависимостта:

$$(4) \sigma_{\max k}^* = K_\sigma^* \cdot \sigma_n^*, \text{ като } K_\sigma^* = \alpha_\sigma^{2/(1+m)} \left(\frac{\sigma_n^*}{\sigma_T^t} \right)^{\frac{1-m_0}{1+m_0}}$$

където K_σ^* – коефициент на концентрация на условна еластичност на напреженията (деформациите).

Уравненията от (1) до (4) позволяват построяването на две криви на умора по зададени характеристики на материала и стойности на коефициентите на безопасност n_ϵ и n_N за всяко i -то ниво на амплитудите на напреженията σ_{ai}^* от блока на натоварване с отчитане съответстващият коефициент на асиметрия на цикъла, както е показано на фиг. 2. Вижда се, че кривите се пресичат (в дадения случай при брой цикли $1,1 \cdot 10^4$). Кривата на допустимите брой цикли (т.е. минималните) $[N]_i$ се формират от долните клонове на пресичащите се криви: при малки N (до точките на пресичане) – този клон по уравнение (2), а при големи N – по уравнение (1).



За практическото изчисление на допустимия брой цикли на натоварване $[N]_i$, съответстващо на амплитудата на напреженията σ_{ai}^* от блока, се препоръчва използването на следния алгоритъм:

1. За избрания ред базови стойности (точки) N_j , $j = 1, 10$, регулярно следващи в избрания диапазон на брой цикли, по уравнения (1), (2) се изчисляват съответните стойности σ_{1j} и σ_{2j} (на фиг.2 базовите точки отбелязани с кръгчета и квадрати).

2. За всяко i -то ниво на нивото на амплитудите на напреженията σ_{ai}^* от блока на натоварване се определят номерата на базовите точки j и $j+1$ от условието:

$$\sigma_{1j} \leq \sigma_{ai}^* \leq \sigma_{1j+1} - \text{за крива } [\sigma_a^*] = f_1([N], n_\sigma, \dots),$$

$$\sigma_{2j} \leq \sigma_{ai}^* \leq \sigma_{2j+1} - \text{за крива } [\sigma_a^*] = f_2([N], n_N, \dots).$$

3. Между базовите точки на кривата на умора апроксимиращи отсечки от права (базови точки по пример 1 се избират от приемливата грешка на такава апроксимация), нивото на която в логаритмични координати има вида:

$$\lg N = C_1 \lg \sigma + C_2, \quad \text{където} \quad C_1 = \lg \left(\frac{N_j}{N_{j+1}} \right) / \lg \left(\frac{\sigma_j}{\sigma_{j+1}} \right) \quad \text{и}$$

$$C_2 = \lg N_j - \lg \left(\frac{N_j}{N_{j+1}} \right) / \lg \left(\frac{\sigma_j}{\sigma_{j+1}} \right) \cdot \lg \sigma_j$$

Откъдето следва формулата за изчисляване броя на циклите N , съответстващ на зададено ниво на напрежение σ :

$$N = 10^{\left[\lg N_j + \lg \left(\frac{N_j}{N_{j+1}} \right) / \lg \left(\frac{\sigma_j}{\sigma_{j+1}} \right) \cdot \lg \sigma_j \right]}$$

4. С получената формула за отделно ниво на напреженията $\sigma = \sigma_{ai}^*$ се изчисляват две стойности N_1 и N_2 , съответстващите точки на пресичане на линиите на това ниво с кривите на умора, точно с апроксимиращите прави. Допустимият брой цикли на натоварване (циклическа дълготрайност) $[N]_i$ се определят като най-малките от получените стойности, т.е.

$$[N]_i = \min(N_1, N_2)$$

Съгласно работа [15] коефициента на безопасност по местни напрежения σ_a^* (деформации ϵ_a) за зададен режим на натоварване има следното отношение:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_a^*}{\sigma_a} = \frac{\epsilon_a^*}{\epsilon_a} = n_\epsilon,$$

където σ_a^* , (ϵ_a) – разрушаващи амплитуди на местните напрежения (деформации), установени за експлоатационен брой цикли $N = N^* \leq 10^5$; σ_a^{ϵ} , (ϵ_a^{ϵ}) – амплитуди на местните напрежения (деформации) в най-натоварената при експлоатация зоната на изчислявания на якост конструктивен елемент.

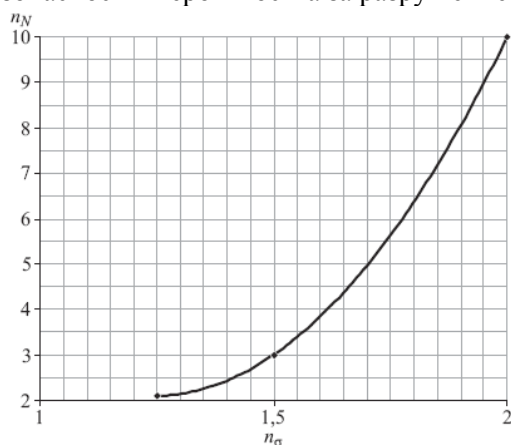
Коефициент на безопасност по дълготрайност $n_N = N/N^*$, където N – брой на разрушаващите цикли за експлоатационните уравнения на напреженията $\sigma_a^{\epsilon} = \sigma_a^* \epsilon$ ($\epsilon_a = \epsilon_a^{\epsilon}$) при $N \leq 10^5$; N^{ϵ} – експлоатационен брой цикли на натоварване.

Числените стойности на коефициентите n_{σ} (n_{ϵ}) и n_N се определят с отчитане предназначението на конструкцията и условието на тяхната експлоатация, степента на ответственост и безопасност (риска), опита на проектирането и изработката, точността на изчисленията и задаването на изходна информация, разсейването на характеристиките на натоварване и механичните свойства на материала и др.

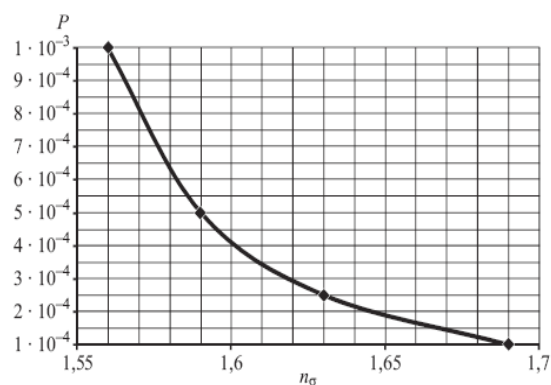
За съдове под налягане, магистрани тръбопроводи, корпуси и листови конструкции на критически опасни обекти се приемат коефициенти на безопасност $\{n_{\sigma}, n_{\epsilon}\} = 2$, а $n_N = 10$. За елементи от конструкцията и машинни детайли с високи изходни концентрации на напреженията (заварени съединения, резбови съединения и др.) или изпитващи действието на високи температурни напрежения от резките промени на температурата по дебелината на стените $\{n_{\sigma}, n_{\epsilon}\} = 1,5$, а $n_N = 3$. За конструкции, изчислявани по момента на образуване на пукнатини, $\{n_{\sigma}, n_{\epsilon}\} \geq 1,25$ и $n_N \geq 2,1$.

Между коефициентите на безопасност n_{σ} (n_{ϵ}) и n_N съществува определена взаимосвързаност (фиг.3), към която следва да се придържаме при тяхното определяне.

С цел съгласуване на резултатите от изчисляване дълготрайността, получени с използването на различни подходи, са проведени допълнителни изследвания. Така, за конструкцията на страницата от талиговата рама на товарен вагон, притежаваща за приетия блок на натоварване нормиран коефициент на сигурност $n = 1,5$ [1, 15] и стойностите на циклическата дълготрайност при четири нива на вероятността за разрушение са в границите $10^{-4} \leq P \leq 10^{-3}$. Такива дълготрайности са получени по методики, отчитащи локалните свойства на метала, по пътя на вариране на коефициентите n_{σ} и n_N (фиг.3). В резултат е установено, че двата метода дават еднакви изчислителни оценки на дълготрайността, ако между коефициента на безопасност и вероятността за разрушение P намира място зависимостта, представена на фиг. 4.



Фиг.3. Зависимост между коефициентите на безопасност по дълготрайност n_N и по напрежение n_{σ} .



Фиг.4. Зависимост между коефициента на безопасност n_{σ} и вероятност за разрушения P (при нормиран коефициент $n = 1,5$)

По такива зависимости, построени за изследване на детайлите при различни стойности на нормираният коефициент на сигурност n (различни интензивности на блока на натоварване), може да се проследи връзката между коефициентите на сигурност n , безопасност n_{σ} и вероятността за разрушения P . Например, за детайли, притежаващи нормиран коефициент на сигурност $n = 1,5$, при коефициент на безопасност $n_{\sigma} = 1,6$ съгласно получената зависимост (фиг.4) в границите на изчислителната дълготрайност на вероятност за разрушения $P = 4 \cdot 10^{-4}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За ПЖПС наред с определяне якостта и надежността е необходимо определянето и на показателите ресурс и безопасност (риск). В настоящата публикация са представени примери с практическо приложение на методи за изчислително-експериментална оценка (прогнозиране) дълготрайността по данни от тензометриране при изпитания и пресмятания по МКЕ на якостно-деформационното състояние на елементи от железопътни возила.

Програмния пакет MSC.Fatigue се използва за пресмятане на многоциклова и малоциклова, умора, когато повредите и разрушението става съответно при еластично и еластично-пластично деформиране, а също за изследване живота на детайлите (развитието на пукнатини) на базата на принципите на линейната механика на разрушенията.

Метода на основата на деформационния критерий позволява най-точно отчитане влиянието на локалните свойства на материала, в това число деградацията на неговите пластически свойства, на дълготрайността на работа на конструкцията. При това се обхваща широк диапазон от брой цикли на натоварване: от няколко натоварвания с високи нива напрежения (квазистатическо разрушение и малоциклова умора) до стойностите $10^8 - 10^{10}$ (гигациклова умора). Отчита се влиянието на асиметрията на циклите на натоварване върху дълготрайността, а също така и остатъчните напрежения (по пътя на корекции на блока на напрежения), което е особено актуално за заварени конструкции.

Дадения пример на изчисляване дълготрайността на талигова рама на ДЛ06 с използване резултатите от изпитания на умора и параметрите на експлоатационно натоварване показват възможност за обоснован избор на коефициента на безопасност по напрежения и дълготрайност за обезпечаване на зададен ресурс на конструкцията на екипажната част на локомотива.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ц. Пенчев и Д. Атнаджова, „Якост и дълготрайност на автомобилна и железопътна техника”, С. 2007
- [2] Ćirić-Kostić S., Statistic processing of fatigue testing results and reliability estimation, Faculty for mechanical engineering, Kraljevo, FP7 project SeRviCe, 2009
<http://www.mfkv.kg.ac.rs/service/media/documents/WorkshopI>
- [3] Ognjanović M., Fatigue testing methods of machine parts and assemblies. Faculty for mechanical engineering, Kraljevo, FP7 project SeRviCe, 2009
<http://www.mfkv.kg.ac.rs/service/media/documents/WorkshopI>
- [4] Antonijević D., With innovative construction to avoid fatigue crack; case of shaft and gear of tube profiling machine., Faculty for mechanical engineering, Kraljevo, FP7 project SeRviCe, 2009
<http://www.mfkv.kg.ac.rs/service/>
- [5] Atmadzhova D., Theories and hypothesis of material fatigue. Faculty for mechanical engineering, Kraljevo, FP7 project SeRviCe, 2009
<http://www.mfkv.kg.ac.rs/service/media/documents/WorkshopI>
- [6] Penčev Sh., Deterministic calculation of material fatigue limits., Faculty for mechanical engineering, Kraljevo, FP7 project SeRviCe, 2009
<http://www.mfkv.kg.ac.rs/service/media/documents/WorkshopI>
- [7] Zivkovic M., Numerical Analysis of the fatigue: the case of welding joints Faculty for mechanical engineering, Kraljevo, FP7 project SeRviCe, 2009
<http://www.mfkv.kg.ac.rs/service/media/documents/WorkshopI>
- [8] Атнаджова Д., Ташева Е., Изследване уморната якост на заварени възли от железопътен вагон [Electronic journal "Mechanics Transportation Communications" issue 2, 2011](#)
- [9] Когаев В. П., Махутов Н. А., Гусенков А. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. – М.: Машиностроение, 1985
- [10] Махутов Н. А. Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность. – М.: Машиностроение, 1981

- [11] Махутов Н. А., Коссов В. С., Оганьян Э. С. и др. К вопросу оценки ресурса и безопасности эксплуатации конструкций подвижного состава. Диагностика материалов. – Т.73. № 11, 2007
- [12] Бунин Б.Б., Оганьян Э.С., Пономарева Т.М. и др. Оценка долговечности и остаточного ресурса рам тележек локомотивов: Сб. Статей по материалам Первой международной конференции „Деформация и разрушение материалов” РАН, 2006
- [13] Ракановић Р, Петровић Д, Бабић А, “Прогноза замора вешајних система теретних вагона на основу експлоатационих испитивања“, седми симпозијум Моторна возила и мотори, Крагујевац 01-03.10.'92. Часопис MBM
- [14] Babić A., Maneski T., Petrović D.: Modeling of Reanalyzing Behaviour of Bogies of Train JZ 412/416, Proceedings of the XVIII International Scientific Conference TRANSPORT 2008, Sofia, pp. VI-52–VI-55, ISSN 1312-3823
- [15] Атнаджова Д., Михалев М., Уморна якост и ресурс на елементи от подвижен железопътен състав. XX НК с международно участие на ВТУ “Т. Каблешков”, 2011

AUTOMATED CALCULATION OF DURABILITY OF ELEMENTS FROM ROLLING STOCK

Dobrinka Atmadzhova, Milen Mihalev

*Todor Kableshkov Higher School of Transport, Department of Transport Equipment
Geo Milev str.158, Sofia 1574,
BULGARIA*

Key words: *strength, fatigue resistance, durability, resource, safety factor.*

Резюме: *This publication is considered software, allowing maximum automation of the process of calculating the durability of the structures of the rolling stock in accordance with existing regulations. Based on theoretical and experimental research has shown the need to further evaluate the resistance of fatigue life calculations using (resource). Presents calculations of the durability of the frame in bogie diesel locomotive series 06 (DL06), implemented using software MSC.Fatigue. Static calculations of the strength-strain state of the frame is realized with MSC.Nastran. The values in the block is loads data from strain measurement the structure in terms of real work. Methods based on the deformation criterion allows the most accurate reporting of local influence material properties, including degradation of its plastic properties, the durability of the construction work. Account the influence of asymmetry of load cycles on durability, as well as residual stresses (by way of adjustments to block stresses), which is particularly relevant for welded structures.*