

# СПРАВКА ЗА НАУЧНИТЕ ПРИНОСИ

## в дисертацията

### Бележка от автора

Тъй като цялото изложение в дисертационния труд е напълно оригинално и различно от всички съществуващи изследвания по проблема за оценка на уморната дълготрайност, първоначалният списък на заявените приноси бе неизбежно дълъг. Направен бе опит за по-малко на брой общи формулировки на приносите (в курсив), последвани от разбивки. Но последните разшириха описанието на приносите дотолкова, че при предварителното обсъждане на труда на 21.06.2011 г. бяха направени препоръки това описание да се съкрати. Така авторът реши да представи тук само общите формулировки на приносите (в курсив). Желаетелите да видят разбивките на общите формулировки в конкретизирани подточки могат да сторят това, като на страницата „Начало” на ИДУ-сайта намерят линка „Разширена справка за приносите”. В крайна сметка тук на три страници се излагат 13 научни приноса. Тъй като според чл. 27 от ППЗРАСРБ се очаква в настоящата справка да влязат също заявени научноприложни и приложни приноси, авторът изброява и тях след научните: два научноприложни и пет приложни приноса, описани на една страница. Те също могат да се видят на ИДУ-сайта с конкретизиращи подточки.

## НАУЧНИ ПРИНОСИ

1. Разкри се ново, оригинално научно направление, коренно различно от съществуващия циклов подход в науката за дълготрайността при умора на материалите, наречено „интегриране на диференциалите на умората” (ИДУ). Досегашното понятие цикъл на уморното натоварване не е основно, а частно. В основата на ИДУ е понятието диференциал на натоварването, върху който се търси диференциал на (повреждането от) умората. Предлага се всъщност съвсем различна концепция и стратегия за решаването на проблема за дълготрайността при всякакво уморно натоварване.

2. Разкри се, че големият научен и научноприложен проблем за дълготрайността при умора на материалите е общо и единно решим тъкмо чрез концепцията ИДУ в съответствие със съвременните достижения в численото интегриране на всякакви диференциални уравнения в крайни разлики или крайни елементи с помощта на съвременните компютри, при всякакви интеграционни условия. В днешно време вече е възможно натрупаният световен опит от цикловия подход да се пренасочи към ИДУ.

3. Постави се в (подглава 1.6) за пръв път и се реши (в подглава 2.1) първата възникваща пред ИДУ задача: при произволни и непропорционални осцилограми  $\sigma_x(t)$ ,  $\sigma_y(t)$  и  $\tau_{xy}(t)$  как да се предефинира вариантния диференциал  $ds$  от координатното пространство  $\sigma_x$ - $\sigma_y$ - $\tau_{xy}$  (фиг. 1.1-3б) в диференциал  $ds$ , инвариантен спрямо осите  $x$  и  $y$ . Генерира се идеята за трансформиращата елипса. Инвариантният диференциал  $ds$  се оказва в новоразкрито специално тримерно пространство  $\sigma'$ - $\sigma''$ - $d\tau$ , където  $\sigma'$  и  $\sigma''$  са главните напрежения, а третото измерение  $d\tau$  е безкрайно малко. В това тримерно пространство, с прибавяне на всеки следващ инвариантен диференциал  $ds$ , се описва инвариантна траектория на натоварването. Инвариантният диференциал  $ds$  има две компоненти в равнината  $\sigma'$ - $\sigma''$ , а третата му компонента  $d\tau$  е перпендикулярна на равнината  $\sigma'$ - $\sigma''$ . Тази трета компонента отчита въртенето на главните направления и е най-интересна. Разкритият инвариантен диференциал  $ds$  е плод на единствено възможна логика. Той доведе до нова терминология относно видове уморни натоварвания.

4. Върху диференциал  $ds_r$  се въведе (в подглава 2.2) диференциал на умората  $dD_r = R_r ds_r$  и така се разкри ново основно понятие: интензивност на повреждането при  $r$ -натоварване – производна  $R_r(s) = dD_r(s)/ds_r$  на функция на повреждане  $D_r(s)$  с аргумент  $s$  като разстояние от  $ds_r$  до координатното начало в равнината  $\sigma'$ - $\sigma''$ , при дадено  $k = \sigma''/\sigma'$ . Възникна и се реши (в подглава 2.3) задачата за определяне на  $R_r(s)$  от т.нар. входен  $R_r$ -прототип по такъв начин, че ИДУ да възпроизвежда една зададена крива на умора при циклични  $r$ -натоварвания с една и съща стойност на  $k$ . След това възникна и се реши (в подглава 2.4) задачата за определяне на  $R_r$  в цялата равнина  $\sigma'$ - $\sigma''$  така, че ИДУ да възпроизвежда две и повече зададени криви на умора от съответни  $R_r$ -прототипи при циклични  $r$ -натоварвания с различни стойности на  $k$ . При това понятието граница на умора се замести (в раздел 2.7.7) от по-общото понятие за гранична линия  $L_r$ , която загражда  $L_r$ -област с  $R_r = 0$  (област на неповреждане от диференциали  $ds_r$ ) в равнината  $\sigma'$ - $\sigma''$ .

5. Върху диференциал  $ds_c$  се въведе диференциал на умората  $dD_c = R_c ds_c$  и така се разкри втори вид интензивност на повреждането –  $R_c = dD_c/ds_c$  при  $c$ -натоварване. Разви се (в подглава 2.5) идея за определяне на  $R_c$  в цялата равнина  $\sigma'$ - $\sigma''$ , която намеси

аспекти, неразкрити преди в изследванията чрез цикловия подход. Затова, на сегашния етап и следвайки логиката на изграждането на теорията на ИДУ, се въведеха условни  $R_c$ -прототипи. Те са аналогични на  $R_r$ -прототипите и така интензивността  $R_c$  се залага в съпоставка с  $R_r$ . Въведе се осреднено за равнината  $\sigma$ - $\sigma'$  отношение  $f_c = R_c/R_r$ . То влиза в ролята на емпиричен коефициент на чувствителност на материала към непропорционални  $s$ -натоварвания в сравнение с  $r$ -натоварвания.

6. Върху диференциал  $d\tau$  се въведе диференциал на умората  $dD_\tau = R_\tau d\tau$  и така се разкри трети вид интензивност на повреждането –  $R_\tau = dD/d\tau$  при  $d\tau$ -натоварване, т.е. при постоянни главни напрежения по въртящи се главни направления. Това натоварване (подглава 2.6) дойде като откритие, благодарение на гледната точка на ИДУ. То ще постави на изпитание всички съществуващи критерии за дълготрайност. Затова се апелира към провеждане на изследвания с такова натоварване в лаборатории, които могат да го осъществят. Разви се идея за определяне на  $R_\tau$  в цялата равнина  $\sigma$ - $\sigma'$ . Но поради липсата на съответни изследвания, въведеха се (отново) условни  $R_\tau$ -прототипи, аналогични на  $R_r$ -прототипите. Така интензивността  $R_\tau$  се залага (пак) в съпоставка с  $R_r$ . Въведе се осреднено за равнината  $\sigma$ - $\sigma'$  отношение  $f_\tau = R_\tau/R_r$ . То влиза в ролята на емпиричен коефициент на чувствителност на материала към въртене на главните направления.

7. Предлага се (в подглава 2.7) и се обосновава основен вариант за формула за  $dD \sim \Delta D$  при какво да е смесено натоварване, с едновременна поява на  $ds_r$ ,  $ds_c$  и  $d\tau$ . Формулата има вида  $R_r(ds_r^2 + f_c^2 ds_c^2 + f_\tau^2 d\tau^2)^{1/2} \sim R_r(\Delta s_r^2 + f_c^2 \Delta s_c^2 + f_\tau^2 \Delta \tau^2)^{1/2}$ . Тази формулировка дава привлекателна възможност да се използват традиционните криви на умора при циклични  $r$ -натоварвания и за оценка на дълготрайността при всякакво непропорционално натоварване, благодарение на коефициентите  $f_c$  и  $f_\tau$  за чувствителност на материала към непропорционалност на натоварването. Постави се въпросът за изграждане, разширяване и уточняване на емпирична банка данни за  $f_c$  и  $f_\tau$  в резултат на ИДУ-верификации. От тази банка подходящо се избират стойностите на  $f_c$  и  $f_\tau$  при всяко ново приложение на разработения ИДУ-метод. Наред с  $f_c$  и  $f_\tau$  в банката данни ще се намесват още параметрите  $N_c$  и  $N_\tau$  в отношения с  $N_r$ . Те определят в равнината  $\sigma$ - $\sigma'$  областите  $L_c$  и  $L_\tau$  на неповреждане от диференциали  $ds_c$  и  $d\tau$ . Тези области се заграждат от граничните линии  $L_c$  и  $L_\tau$  заместващи досегашни представи за граници на умора при непропорционални натоварвания.

8. Разкри се също (в раздел 2.4.2 и др.), че концепцията ИДУ позволява прост и единен подход за отчитане на ненулеви статични (средни) напрежения  $\sigma_{x,m}$ ,  $\sigma_{y,m}$  и  $\tau_{xy,m}$  на осцилограмите  $\sigma_x(t)$ ,  $\sigma_y(t)$  и  $\tau_{xy}(t)$ : от тях се изчислява еквивалентно статично напрежение  $\sigma_{екв,m}$  и с него се съгласуват входните прототипи на интензивностите на повреждането. В сравнение със  $\sigma_{екв,m} = 0$ , ненулево  $\sigma_{екв,m}$  вдига нагоре  $R_r$ -прототипите  $\sigma_{max}-N$  (и увеличава показателя на наклона им) по добре известните зависимости от типа на Смит, при което интензивността  $R_r$  намалява. Натрупаният световен опит относно криви на умора по ненулеви статични нива на циклични  $r$ -натоварвания е пак приложим, но сега директно, без да възникват допълнителните концептуални усложнения и противоречия на цикловия подход заради  $s_{m,i}$  (т.нар. mean stress effect).

9. ИДУ-начинът на мислене допринася (в раздели 1.3.4, 2.3.7, 2.7.6 и др.) за възприемане на реалния факт, че само историята на натоварването до текущ момент  $t$  влияе върху образуващия се диференциал на повреждането  $dD$  при нарастване на времето с  $dt$ , не и бъдещето на натоварването след момента  $t$ , което

бъдеще „материалът не знае”. Във връзка с това цикловият подход допуска всъщност една нелогичност, наречена в дисертационния труд „парадокс на надничане в бъдещето” на натоварването. Гледната точка на ИДУ насочва в по-логична посока мисленето за разгадаване на неразгадания механизъм на влиянието на текущо формиращи се статични напрежения, за отчитане на нелинейност на повреждането, за истинската интензивност на повреждането и т.н. При това възникват интересни и неразглеждани по-рано въпроси.

10. Концепцията ИДУ се разви (в подглава 2.8) и в статистическа (вероятностна) интерпретация при всякакво случайно натоварване. Идеята за диференциалите  $ds$  и техните компоненти  $ds_r$ ,  $ds_c$  и  $d\tau$  просто и логично довежда до възможност за тяхно директно статистическо разпределение в мрежа или мрежи в подходящо ИДУ-пространство или ИДУ-равнина. Изведени са връзките между статистически честоти, респ. вероятностните характеристики на разпределението и интензивността на повреждането, въз основа на които може да се пресметне дълготрайността. Така отделно се разкри ново научно, статистическо и вероятно ИДУ-направление.

11. За целите на ИДУ, но с принос въобще към теорията на променливите напрежения и деформации извън ИДУ, се разви една оригинална диференциална теория, подсказана от идеята ИДУ и дефинирания диференциал  $ds$ . В рамките на въпросната теория се реши задачата за определянето на функцията  $\alpha'(t)$  (въртенето на главните направления), свързана със задачата за коректно определяне на функциите главни напрежения и деформации с коректно превключване на знаците  $\pm$  във формулите за тях.

12. За частния случай на нециклично  $r$ -натоварване се изведе редуцираното ИДУ-уравнение (3.1.2-1) за дълготрайността  $N$ . То позволява пресмятане на  $N$  без явна намеса на диференциалите  $ds$ , а само въз основа на формулата на Нютон-Лайбниц. При това участва примитивната функция на повреждането  $D(s)$  и интервалът на неповреждане  $L_r$  (или  $L_l$ ). Така при само една нециклична осцилограма стана възможно изчисляването на дълготрайността директно, без търсене и броене на цикли, изненадващо за развивания повече от един век циклов подход.

13. В крайна сметка развитата ИДУ-теория позволява нова стратегия, както следва. След като изглежда нереалистично, че някой от многото предлагани циклови критерии за дълготрайност ще се окаже общоприложим и общовалиден едновременно при всякакви конкретни непропорционални натоварвания от първата и втората категория, а също при неизследваните чисти  $s$ -натоварвания, и особено при неизследваните чисти  $d\tau$ -натоварвания, разкрити в дисертационния труд, и че при всякакви разнородни и многобройни верификации критерият едва ли ще дава  $(N_{\text{cmp}}/N_{\text{exp}})_{\text{средно}}$  достатъчно близо до 1, то: по-реалистично и по-практично изглежда (подглава 5.1) да се изхожда от  $(N_{\text{cmp}}/N_{\text{exp}})_{\text{средно}}$  достатъчно близко до 1, и оттам да се канализират изследванията към изграждането на общовалидна емпирична банка данни на сполучливи ИДУ-параметри. Една такава „обратна” стратегия е възможна само при ИДУ, тъй като сега дълготрайността  $N_{\text{cmp}}$  винаги може да се пресмята по единен и универсален начин при всякакви натоварвания.

## НАУЧНОПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Решиха се (в глава 4) голям брой математически и алгоритмични задачи за компютърна реализация и приложение на авторовия метод ИДУ, които отново нямат съществуващи аналози и се поставиха за пръв път.

2. Създаден бе оригинален ИДУ-софтуер, наречен Елипса, след решаване на алгоритмични и програмистки проблеми с обем и сложност такива, каквито при други условия биха ангажирани цял екип математици и програмисти.

## ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Написа се практическо ръководство (раздел 4.1.1, подглави 4.2 и 4.3), което позволява сравнително лесно овладяване и масово ползване на предлагания софтуер Елипса.

2. Създаде се отделна приложна компютърна програма, наречена Интеграл (раздел 3.1.3), която служи само при  $r$ -натоварване (при само една осцилограма). Тя е доста по-проста и за предпочитане пред софтуера Елипса.

3. Приложи се ИДУ чрез програмата Интеграл за оценка на уморната дълготрайност на случайни  $r$ -натоварвания (еднокомпонентни), осъществени от полски изследователи. Получиха се най-добри резултати в сравнение с други, циклови методи.

4. Получен бе начален вариант на емпиричната банка данни за ИДУ-параметрите  $f_c$ ,  $f_\tau$ ,  $N_c$  и  $N_\tau$  за първата практическа категория непропорционални натоварвания в резултат на първоначална адаптация и последвали пет верификации (в глава 5) по експериментални данни, добити от изследователи от Германия, Италия, Русия и България (и от Република Чехия – в продължаващи верификации извън дисертационния труд). С помощта на програмите ЕлипсаТ и ЕлипсаS бяха получени 49 изчислителни дълготрайности при доста разнообразни непропорционални натоварвания. Постигна се  $(N_{\text{cmp}}/N_{\text{exp}})_{\text{средно}} = 1,02$  все с  $f_c = 2$  и  $f_\tau = 3$  с изключение на петата верификация, където за стомана с доста по-малка статична якост се оказа  $f_c = f_\tau = 1$ . Потвърди се теоретичното очакване, че параметрите  $f_c$  и  $f_\tau$  ще варират в сравнително тесен интервал ( $1 \div 3$ ), следвайки определена закономерност, която ще ги прави удобни и надеждни при селекция. Откри се закономерност и в избора на  $N_c$  и  $N_\tau$  в сравнение с  $N_r$ .

5. Разкри се (в глава 6), че уморните натоварвания в машините и съоръженията в горската промишленост са с такава сложност, поливариантност и комплексност, че отварят едно от най-широките полета за приложение и изява на ИДУ. Това се обуславя от спецификата при рязането и обработването на материала дървесина: създават се условия за всякакви променливи натоварвания, каквито не се срещат в много други видове машини и съоръжения. Съответно се създават условия за възникване на най-големи затруднения пред цикловите методи за оценка на уморната дълготрайност. Така ИДУ идва навреме и на място, тъй като тъкмо най-сложните натоварвания са в неговия обхват на приложимост.