

6. Konstrukcijų patikimumo įvertinimo metodai

6.1. Bendrieji konstrukcijų patikimumo įvertinimo principai

6.1 tekstas ✖ ✖ ✖

■ Eksploatuojamoje konstrukcijoje, kaip ir visur gamtoje, vyksta priešybių kova: iš vienos pusės, išorės poveikiai stengiasi konstrukciją suardyti, deformuoti, iš kitos pusės, mechaninės medžiagos savybės stengiasi konstrukciją išlaikyti tokią, kokia ji yra. Bendriausia sąlyga, matematiškai aprašanti tą atvejį, kai išorės poveikis neviršija medžiagos pasipriešinimo, turi tokį pavidalą:

$$\varphi(\sigma, \tau, \varepsilon, \gamma, s, \alpha, \dots) \leq f(\sigma_{pr}, \tau_{pr}, \sigma_y, \tau_y, \sigma_u, \tau_u, \delta, \psi, E, G, \nu, \dots). \quad (6.1)$$

Kairėje nelygybės pusėje yra užrašyta įtemptoji ir deformuotoji konstrukcijos būseną. Čia per įtempimus (σ, τ), deformacijas (ε, γ) ir poslinkius (s, α) yra išreikštas tiek išorinis poveikis konstrukcijai, tiek konstrukcijos geometriniai matmenys. Dešinėje nelygybės pusėje yra užrašytas konstrukcinės medžiagos gebėjimas priešintis išorės poveikiui. Jis išreikštas medžiagos mechaninių savybių rodikliais: rodikliai $\sigma_{pr}, \tau_{pr}, \sigma_e, \tau_e, E, G, \nu$ apibūdina medžiagos tamprumą, rodikliai $\sigma_y, \tau_y, \delta, \psi$ – plastiškumą, rodikliai σ_u, τ_u – stiprumą ir t.t.

Nustatyti funkcijų φ ir f išraiškas, skaičiuojant konkrečias konstrukcijas, yra sudėtinga. Dažnai jos nustatomos remiantis konstrukcijos darbo stebėjimais, specialiais eksperimentais, kartais jų išraiška tėra tik tyrinėtojų spėliojimas. Taip pat labai svarbu išsiaiškinti, kuri konstrukcijos savybė (stiprumas, standumas ar stabilumas) yra esminė. Taip galima sumažinti skaičiavimų apimtį, nes tada, analitiškai aprašant konstrukcijos patikimumą, galima atsakyti kai kurių nelygybių.

6.2 tekstas ✖ ✖ ✖

6.2. Konstrukcijos stiprumo įvertinimas

■ Konstrukcijos stiprumui įvertinti naudojami du principai. Pagal pirmąjį principą konstrukcijos stiprumo kriterijus yra ribinis įtempimas, pagal antrąjį – ribinė apkrova.

■ Naudojant pirmąjį principą, konstrukcijoje nustatomas taškas, kuriame įtempimas yra didžiausias. Gautas įtempimas lyginamas su ribiniu, nustatytu laboratoriniais tyrimais, ir daromos išvados apie konstrukcijos stiprumą. Tarkime, kad nagrinėjama konstrukcija patiria tik tempimo-gniuždymo poveikį, o jos medžiaga vienodai priešinasi tempimui ir gniuždymui. Tada bendriausia tokios konstrukcijos stiprumo sąlyga (atskiras 6.1 nelygybės atvejis) turės tokį pavidalą:

$$|\sigma|_{\max} \leq \frac{\sigma_{\lim}}{n}, \quad (6.2)$$

čia: $|\sigma|_{\max}$ – didžiausias absoliutiniu didumu konstrukcijos įtempimas, σ_{\lim} – ribinis medžiagos įtempimas, n – atsargos koeficientas.

Lieka išsiaiškinti, kokį įtempimą laikyti ribiniu ir kaip pasirinkti atsargos koeficiento didumą. Trapiomis medžiagomis ribinis įtempimas abejonių nekelia – tai stiprumo riba, nes ją pasiekus prasideda irimas (6.1a pav.). Sudėtingiau yra su plastinėmis medžiagomis, nes, prieš pasiekus įtempimui stiprumo ribos reikšmę, gali išsivystyti tokios didelės plastinės deformacijos, kad konstrukcijos nebus galima eksploatuoti dar prieš pradėdant jai irti (pvz., labai išlinkusi sija gali nuslysti nuo atramų, labai pasislinkę konstrukcijos mazgai gali pakeisti skaičiuojamąją schemą, kartu

įrašų pasiskirstymą ir t.t.). Todėl dažniausiai plastinėms medžiagoms ribiniu įtempimu laikoma takumo riba (6.1b pav.).

Atsargos koeficientas pasirenkamas atsižvelgiant į konstrukcijos paskirtį ir jos darbo sąlygas, remiantis sukaupta praktine patirtimi ir šiuolaikiniu technikos lygiu. Tačiau visais atvejais stiprumo ribos atsargos koeficientas (n_u) yra didesnis už takumo ribos atsargos koeficientą (n_y), nes pirmasis atsargos koeficientas išreiškia

atsargą, lyginamą su medžiagos suirimo tarpsniu, o antrasis – tikrai su plastinių deformacijų kaupimosi tarpsniu, kurio dar nelydi konstrukcijos irimas (žr. 6.1 pav.).

■ O kam apskritai reikalingas atsargos koeficientas? Ar nepakaktų, kad didžiausias konstrukcijos įtempimas neviršytų stiprumo ar takumo ribos?

Atsargos koeficientas reikalingas dėl šių priežasčių:

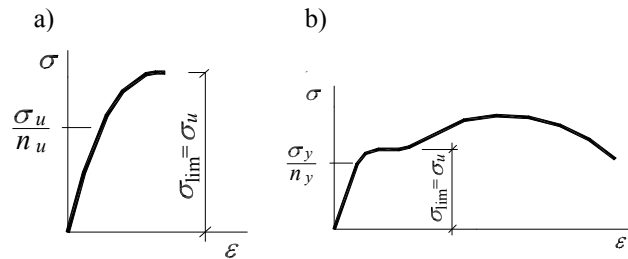
1. Skaičiuojamieji įtempimai gali skirtis nuo tikrųjų realioje konstrukcijoje, nes: a) gaminant konstrukciją, paprastai daugiau ar mažiau nukrypstama nuo projekte nurodytų matmenų, todėl skaičiuojamoji schema nėra tikslus realios konstrukcijos vaizdas, b) negalima tiksliai nustatyti apkrovų (pvz., vėjo, sniego slėgio, studentų skaičiaus auditorijoje ir t.t.), c) formulės, pagal kurias skaičiuojami įtempimai, yra apytikslės, išvestos su kai kuriomis prielaidomis.

2. Tos pačios markės medžiagos tikrieji mechaninių savybių rodikliai gali būti kiek skirtingi, kai kada ir kiek mažesni už norminius.

3. Jokia konstrukcinė medžiaga nėra idealiai vienalytė, ji gali turėti savo silpnų vietų (todėl, pavyzdžiui, plieno atsargos koeficientas visada mažesnis už betono, o betono – už natūralaus akmens).

Nustatant atsargos koeficientą, taip pat turi būti atsižvelgiama į konstrukcijos svarbą ir numatomą jos eksploatacijos trukmę (pavyzdžiui, kai projektuojamas tiltas, skirtas naudoti 50 metų, atsargos koeficientas imamas didesnis negu laikinam lieptui). Kylant technikos lygiui, atsargos koeficientai mažėja, nes vis gerėja medžiagų kokybė, didėja detalių tikslumas, tobulėja skaičiavimo metodai.

6.3 tekstas ✖ ✖ ✖



6.1 pav.

6.2.1. Leistinių įtempimų metodas

■ Naudojant leistinių įtempimų metodą, didžiausias absoliutiniu didumu konstrukcijos įtempimas nustatomas nuo tų apkrovų, kurios konstrukciją veikia normaliomis eksploatacijos sąlygomis, t.y. nuo nominalinių apkrovų. Pavyzdžiui, jeigu auditorija skirta šimtui studentų, tai, skaičiuojant įtempimus grindų plokštėje, ir tariama, kad auditorijoje sėdi šimtas vidutinio svorio studentų. Galimi apkrovų pokyčiai (pavyzdžiui, į auditoriją gali ateiti 120 ar daugiau studentų), taip pat visos kitos priežastys, turinčios įtakos patikimam konstrukcijos darbui (netikslus elementų pagaminimas, medžiagos nevienalytiškumas, skaičiavimo formulių netikslumas ir t.t.) įvertinamas vienu koeficientu. Jis vadinamas atsargos (patikimumo) koeficientu ir žymimas simboliu n_0 .

Taigi paprasčiausias leistinių įtempimų metodo stiprumo sąlygos pavidalas yra toks:

$$|\sigma|_{\max} \leq \frac{\sigma_{\lim}}{n_0} = \sigma_{\text{adm}}, \quad (6.3)$$

čia σ_{adm} – leistinasis įtempimas (didžiausias įtempimas, iki kurio galima saugiai eksploatuoti konstrukciją stiprumo požiūriu).

6.2.2. Ribinių būvių metodas

■ Ribinių būvių metodas yra naujesnis ir pranašesnis. Nuo 1955 metų jis yra privalomas statybinėms konstrukcijoms.

Ribinių būvių metodas, skirtingai nuo anksčiau naudotų metodų, apima ne tik konstrukcijos stiprumo, bet ir jos standumo, stabilumo ir visus kitus jos tinkamumo eksploatacijai reikalavimus. Tam tikslui yra įvesta nauja sąvoka – ribinis būvis.

Ribiniu būviu vadinamas tas konstrukcijos būvis, kurį pasiekus konstrukcija nebetenkina jai keliamų eksploatacijos reikalavimų pagal statinio svarbą ir jo paskirtį. Statybinės normos ir taisyklės skirsto ribinius būvius į dvi grupes. Į pirmąją grupę įeina tie būviai, kuriems esant konstrukcija praranda atlaikymo galią ir jos toliau eksploatuoti negalima. Antrajai ribinių būvių grupei priklauso būviai, kuriems pasireiškus, konstrukcija pasidaro netinkama normaliai eksploatuoti.

Įvykdžius pirmosios grupės ribinių būvių reikalavimus, konstrukcija apsaugoma nuo:

a) staigaus (trapiaus) ar kitokio pobūdžio suirimo;

b) formos arba padėties stabilumo netekimo (plonasienių konstrukcijų formos stabilumo netekimo, atraminių sienelių ir aukštų pamatų apvertimo ir nustumimo, požeminių rezervuarų, siurblių ir panašių statinių iškilnojimo);

c) suirimo dėl nuovargio, veikiant daugkartinėms paslankioms ir pulsuojančioms apkrovoms (pokraninės sijos, pabėgiai, rėminiai pamatai ir perdangos, laikančios nesubalansuotas mašinas);

d) suirimo nuo viena laikio išorinių jėgų ir nepalankios aplinkos poveikio (periodiškumo arba nuolatinio agresyvios aplinkos poveikio, pakaitinio užšalimo ir atšilimo, sudrėkimo ir išdžiuvimo).

Įvykdžius antrosios grupės ribinių būvių reikalavimus, konstrukcija apsaugoma nuo:

a) plyšių atsiradimo ir per didelio arba ilgalaikio jų atsivėrimo, jei pagal eksploataavimo reikalavimus tai neleistina;

b) per didelių poslinkių (įlinkių, pasisukimo ir iškrypimo, svyravimų).

Atlikus vienokį ar kitokį remontą, padarius sustiprinimus, pakeitus eksploatacijos sąlygas ir pan., konstrukciją iš antrosios ribinių būvių galima ištraukti. Taigi antrosios grupės ribiniai būviai vengtini, bet ne tokie pavojingi, kaip pirmosios grupės ribiniai būviai; pastarieji yra visiškai neleistini.

■ Aptarsime skaičiavimą pagal pirmosios grupės ribinį būvį. Šiuo atveju (6.2) stiprumo sąlygoje užrašyti įtempimai nustatomi pagal patį nepalankiausią apkrovimo atvejį, pagal apkrovas, padaugintas iš nelygių vienetai perkrovimo koeficientų: $\sigma = f(F_{n1} \cdot \gamma_{f1}, F_{n2} \cdot \gamma_{f2}, \dots)$. Čia F_{n1}, F_{n2} – norminės apkrovos, γ_{n1}, γ_{n2} perkrovimo koeficientai, kurie kiekvienai apkrovos rūšiai paprastai būna skirtingi. Pavyzdžiui, įvertinant jau minėtą studentų svorį, verta numatyti atvejį, kai į auditoriją susirinks ne 100, bet 150 studentų; taigi norminė apkrova turėtų būti padauginta ir perkrovimo koeficiento $\gamma_f = 1,5$. Paties perdenginio svoris taip pat gali viršyti norminį (pavyzdžiui, grindų sluoksnis padarytas keliais milimetrais storesnis), bet šis viršijimas niekad nebus žymus, todėl šiai apkrovai taikytinas perkrovimo koeficientas $\gamma_f = 1,1$. Kiekvieno skerspjūvio įrašą gali būti skaičiuojama vis pagal kitokią skaičiuojamųjų apkrovų kombinaciją. Jeigu nuo kurios nors apkrovos įrašos absoliutinis didumas ne padidėja, bet sumažėja, tai perkrovimo koeficientas prie šios apkrovos gali būti mažesnis už vienetą. Kai skaičiuojama pagal antrosios grupės ribinį būvį, perkrovimo koeficientai priimami lygūs vienetai.

Taigi nors skaičiuojant tiek leistinųjų įtempimų metodu, tiek ribinių būvių metodu stiprumo sąlygos kairioji pusė turi vienodą pavidalą ($|\sigma|_{\max}$), turinys skiriasi iš esmės: pirmuoju atveju didžiausi konstrukcijos įtempimai nustatomi nuo nominalių apkrovų, antruoju – nuo projektinių. Tuo tarpu dešinėsios stiprumo sąlygos pusės skiriasi tiek savo pavidalu, tiek turiniu. Naudojant ribinių būvių metodą, konstrukcijos medžiagos patikimumas įvertinamas ne vienu, o keliais koeficientais:

$$|\sigma|_{\max} \leq R_n \frac{\gamma_c}{\gamma_m \cdot \gamma_n} \quad (6.4)$$

Čia: R_n – norminis stipris (normų nustatytas ribinio įtempimo didumas, gaunamas statistiškai apdorojant eksperimentinius duomenis), γ_m – medžiagos saugos koeficientas, apibūdinantis medžiagos vienodumą, standartiškumą bei galimus sortimento matmenų netikslumus, γ_c – darbo sąlygų koeficientas, apibūdinantis visos konstrukcijos arba jos atskirų elementų darbo sąlygų ypatybes, konstrukcijos darbo specifiką (pvz., koroziją, kuri ypač pavojinga rezervuarams, specialiųjų cechų darbo sąlygas ir t.t.), γ_n – konstrukcijos patikimumo koeficientas, apibūdinantis pastato kapitališkumą.

Dažnai normomis iškart nustatomas vadinamasis projektinis stipris R ($R = \frac{R_n}{\gamma_m}$). Tada ribinių būvių metodo stiprumo sąlyga turi tokį pavidalą:

$$|\sigma|_{\max} \leq R \frac{\gamma_c}{\gamma_n}. \quad (6.5)$$

6.4 tekstas ✖ ✖ ✖

■ Metodas, besiremiantis antruoju konstrukcijos stiprumo įvertinimo principu, vadinamas ribinių apkrovų metodu. Naudojant šį metodą, lyginami ne įtempimai, o apkrovos. Tam tikslui nustatoma ribinė apkrova, t.y. didžiausia apkrova, kurią nesuirinama ar per daug plastiškai nesideformuodama gali atlaikyti konstrukcija. Gautąją ribinę apkrovą padalijus iš atsargos koeficiento, gaunama leistinoji apkrova, su kuria ir lyginama skaičiuojamoji apkrova. Pagrindinė metodo nelygybė turi tokį pavidalą:

$$|F|_{\max} \leq \frac{F_{\lim}}{n_f} = F_{\text{adm}}, \quad (6.6)$$

čia: $|F|_{\max}$ – skaičiuojamoji apkrova, t.y. didžiausia apkrova, kuria galima apkrauti konstrukciją, F_{\lim} – ribinė apkrova, n_f – atsargos koeficientas (jį pasirenkant atsižvelgiama į tas pačias sąlygas, kaip ir nustatant atsargos koeficientą n), F_{adm} – leistinoji apkrova, t.y. apkrova, kuriai esant galima saugiai eksploatuoti konstrukciją.

Ribinių apkrovų metodas leidžia tiksliau įvertinti konstrukcijos patikimumą, negu metodai, besiremiantys skaičiavimais pagal įtempimus. Esminis jo trūkumas – labai sunku nustatyti ribines apkrovas.

6.1 pvz. ✖ ✖ ✖

6.3. Konstrukcijos standumo įvertinimas

■ Pakankamai stipri konstrukcija gali būti netinkama eksploatacijai dėl per didelių jos elementų deformacijų, dėl per didelių jos mazgų poslinkių. Pavyzdžiui, per mažas kai kurių mechanizmo (mašinos) elementų standumas gali pažeisti technologinius procesus, kitose konstrukcijose didelės deformacijos gali pakeisti konstrukcijos skaičiuojamąją schemą ir sukelti nepageidaujamą įrašų persiskirstymą, dėl kurio gali būti pažeista stiprumo sąlyga ir pan. Pagaliau didelės deformacijos gali būti apribojamos estetiniais sumetimais.

Dažniausiai yra ribojami konstrukcijos mazgų poslinkiai. Tada standumo sąlyga turi tokį pavidalą:

$$|s| \leq s_{\lim}, \quad (6.7)$$

čia: s – nagrinėjamo mazgo poslinkis, s_{lim} – normomis nustatytas arba technologiniais, estetiniais sumetimais padiktuotas poslinkis.

Kartais ribojamos konstrukcijos deformacijos. Tada standumo sąlyga turi tokį pavidalą:

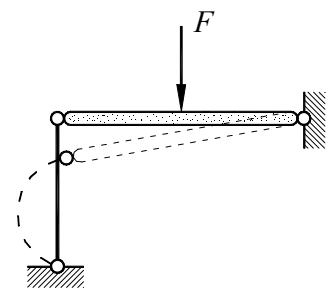
$$|\varepsilon|_{\max} \leq \varepsilon_{lim}, \quad (6.8)$$

čia: $|\varepsilon|_{\max}$ – didžiausia absoliutiniu didumu linijinė deformacija, ε_{lim} – normomis nustatyta deformacija.

6.2 pvz. ✖✖✖

6.4. Konstrukcijos stabilumo įvertinimas

■ Dažnai, kai gniuždomi liauni strypai ar plonasieniai elementai (dar blogiau, kai jie gniuždomi ir kartu lenkiami ar sukami) pirmiausia pažeidžiamos ne stiprumo ar standumo sąlygos, bet stabilumo sąlyga, t.y. elementas praranda pirminę pusiausvyros formą greičiau, negu didžiausi konstrukcijos įtempimai ar nagrinėjamo mazgo poslinkis pasiekia savo ribines reikšmes. Pavyzdžiui, 6.2 pav. pateiktos konstrukcijos gniuždomas strypas gali suklypti tada, kai įtempimai yra daug mažesni netgi už proporcingumo ribą. Gniuždomam strypui suklypus, konstrukcijos eksploatuoti negalima, nes ženkliai pasikeičia jos geometrija. Dar daugiau – strypas suklympa staiga, netikėtai, be pastebimų išpėjimų požymių (jo klupimo praktiškai negalima sustabdyti ar reguliuoti), todėl pažeidus konstrukcijos pusiausvyros stabilumą pasekmės būna skaudžiausios.



6.2 pav.

Bendriausia stabilumo sąlyga turi tokį pavidalą:

$$\sigma_{det} \leq \frac{\sigma_{cr}}{n_{stb}}, \quad (6.9)$$

čia: σ_{det} – skaičiuojamieji konstrukcijos elemento įtempimai, σ_{cr} – kritiniai įtempimai (mažiausi įtempimai, kuriems esant elementas praranda pirminę pusiausvyros formą; nustatomi eksperimentiškai arba apskaičiuojami teoriškai), n_{stb} – stabilumo atsargos koeficientas.

6.5 tekstas ✖✖✖

6.5. Uždavinių tipai

■ Priklausomai nuo to, kas yra žinoma ir kas yra ieškoma, visi medžiagų mechanikos uždaviniai, susiję su konstrukcijos patikimumo įvertinimu, sąlygiškai skirstomi į tikrinamuosius, leistinosios apkrovos nustatymo ir projektinius.

Kai žinomi konstrukcijos ir jos elementų skerspjūvių geometriniai matmenys ir medžiagos mechaninės savybės, o ieškomi konstrukcijos įtempimai, deformacijos ar ypatingųjų mazgų poslinkiai, kurių reikšmės vėliau lyginamos su atitinkamais norminiais dydžiais, turime tikrinamąjį uždavinį.

Kai žinomi konstrukcijos ir jos elementų skerspjūvių geometriniai matmenys ir medžiagos mechaninės savybės, o ieškoma apkrova, kuriai esant galima saugiai eksploatuoti konstrukciją, turime leistinosios apkrovos (leistinos projektinės apkrovos) nustatymo uždavinį.

Kai žinomi konstrukcijos geometriniai matmenys, medžiagos mechaninės savybės ir konstrukciją veikiančios apkrovos, o ieškomi konstrukcijos elementų skerspjūvių matmenys (rečiau kiti geometriniai matmenys), turime projekcinį uždavinį.

6.6 tekstas, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6 pvz.

Kontroliniai klausimai

- 6.1. Užrašykite bendriausią sąlygą, matematiškai aprašančią atvejį, kai išorės poveikis į konstrukciją neviršija jos medžiagos pasipriešinimo.
- 6.2. Kokius žinote konstrukcijos stiprumo įvertinimo kriterijus?
- 6.3. Užrašykite bendriausią stiprumo sąlygą, kai stiprumo kriterijus yra ribinis įtempimas, konstrukcija patiria tik tempimo-gniuždymo poveikį, jos medžiaga vienodai priešinasi tempimui ir gniuždymui.
- 6.4. Kas yra ribinis įtempimas? Kam jis lygus trapioms ir kam jis lygus plastinėms medžiagoms?
- 6.5. Kodėl trapios medžiagos stiprumo atsargos koeficientas didesnis už plastinės medžiagos atsargos koeficientą?
- 6.6. Dėl kokių priežasčių reikalingas stiprumo atsargos koeficientas?
- 6.7. Kodėl skaičiuojamieji įtempimai gali skirtis nuo tikrųjų realioje konstrukcijoje?
- 6.8. Užrašykite bendriausią stiprumo sąlygą, kai stiprumo kriterijus yra ribinė apkrova.
- 6.9. Kas yra ribinė apkrova?
- 6.10. Paaiškinkite formulę:
$$|\sigma|_{\max} \leq \frac{\sigma_{\text{lim}}}{n_0} = \sigma_{\text{adm}}.$$
- 6.11. Kas yra ribinis būvis?
- 6.12. Kuo skiriasi pirmosios ir antrosios grupių ribiniai būviai?
- 6.13. Paaiškinkite formulę:
$$|\sigma|_{\max} \leq R_n \frac{\gamma_c}{\gamma_m \cdot \gamma_n}.$$
- 6.14. Kaip skaičiuojami didžiausi absoliutiniu didumu įtempimai, kai naudojamas ribinių būvių metodas? Formulė.
- 6.15. Kuo ribinių būvių metodas pranašesnis už leistinųjų įtempimų metodą?
- 6.16. Užrašykite bendriausias standumo sąlygas.
- 6.17. Užrašykite bendriausią stabilumo sąlygą.
- 6.18. Kokius žinote medžiagų mechanikos uždavinių, susijusių su konstrukcijos patikimumo įvertinimu, tipus?