

# PLIENINIŲ RITINIO PAVIDALO TALPYKLŲ SIENUTĖS VIETINIŲ DEFEKTŲ MECHANINIO BŪVIO TIESINĖ IR FIZIŠKAI NETIESINĖ ANALIZĖ BAIGTINIŲ ELEMENTŲ METODU

KONSTANTIN ROMANENKO,  
MICHAIL SAMOFALOV,  
ANTANAS ŠAPALAS

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

LEONID A. ALIPHANOV

*Rusijos mokslo akademijos Sibiro skyriaus Skaitinio modeliavimo institutas,  
Krasnojarskas, Rusija*

## 1. Įvadas

Didelio tūrio talpyklų saugus eksploatavimas susietas su jų būklės nuolatiniu tikrinimu ir diagnostika. Tokių statinių atitvariniai konstruktyviniai elementai – sienutė, stogo segmentai ir kt. – pastoviai reikalauja priežiūros, o dažnai net ir remonto [1-3]. Eksploatuojant talpyklas atsiranda įvairių pavidalų vietiniai defektai, didėjantys dėl reikalavimų technologiniams procesams nesilaikymo, atramų netolygių nuosėdžių ir kitų priežasčių. Stebėjimai rodo, kad daug esamų talpyklų sėkmingai eksploatuojamos su defektais, viršijančiais leistinusius [4]. Tai reiškia, kad šis klausimas nepakankamai išnagrinėtas.

Šiame straipsnyje aprašytas „minkštų“ defektų (įdubų sienutėje) analitinis tyrimas ir skaičiavimas *baigtinių elementų metodu* (BEM). Pateiktos analitinės išraiškos defektų srities įtempių būviui aprašyti. Šių išraiškų tinkamumas tikrinamas skaitiškai modeliuojant defektus tamprioje ir plastinėje stadijose.

## 2. Mechaninio būvio analizė dalinai analitiniu būdu

Pagrindinis plieninių talpyklų vietinių defektų tyrimo tikslas – aprašyti įtempių būvį defekto srityje ir nustatyti pavojingiausiąjį *įtempių samplaikos koeficientą* (ISK). Pavojingiausių taškų vieta [4, 5] – tai įdubos vidurinė sritis ir kontūras (1 pav.). Defekto centre ISK dalinai analitiškai nustatomas taip:

$$k_{mid}(q, \beta, \gamma) = \frac{P_1(q, \beta, \gamma)}{P_2(q, \beta, \gamma)}, \quad (1)$$

čia  $q$  – algebriniai koeficientai, nustatyti pusiau empiriniu būdu.



1 pav. Įduba viršutinėje sienutės juostoje (a) ir nagrinėjamieji įdubos modelio taškai (b): defekto centre (žymė *mid*); kontūro linijos viršuje (žymė *cnt*)

Išraiškos santykiniam įdubos spinduliui  $\beta$  ir gyliui  $\gamma$  aprašyti yra:

$$\beta(r, R, t) = r / \sqrt{R \times t}; \quad \gamma(f, t) = f / t, \quad (2)$$

čia  $r$  – įdubos spindulio absoliutinė reikšmė,  $R$  – visos talpyklos spindulys,  $t$  – talpyklos sienutės storis defekto vietoje,  $f$  – įdubos absoliutusias gylis.

Lygties (1) skaitiklis parodo įtempių didėjimą dėl koncentratoriaus, o vardiklis – bendra (nominalųji) įtempių pasiskirstymą defekto vietoje.

Įdubos kontūro srities įtempiai pasiskirsto kitu dėsniu, todėl ĮSK tikslinga skaičiuoti, taikant kito pavidalo lygtį su algebriniais koeficientais  $s$  [4]:

$$k_{cont}(s, \beta, \gamma) = A(s, \gamma) \cdot \beta^m(s, \beta, \gamma), \quad (3)$$

čia pirmasis narys aprašo įdubos gylio įtaką, o antrasis – gylio ir spindulio.

Aukščiau pateiktosios analitinės išraiškos neatsižvelgia į defekto pavidalą ir kitus konkretaus uždavinio sąlygas, taip pat nepaisoma defekto vieta talpykloje. Minėtus inžinierinius supaprastinimus kompensuoja tai, kad šias lygtis inžinieriui taikyti yra paranku (nenušėngiant konstrukcijos saugai).

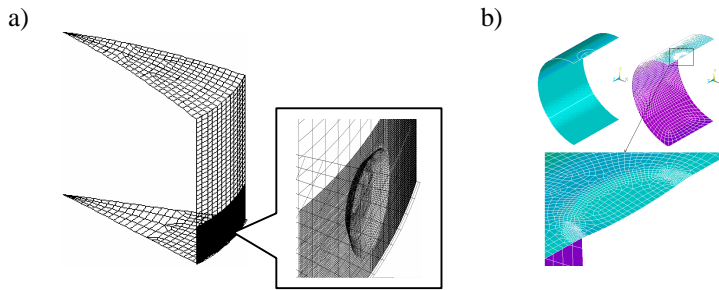
### 3. Skaitinis modeliavimas baigtinių elementų metodu

#### 3.1. Uždavinio modelis

Tikrinant išraiškų (1)-(3) tinkamumą buvo atliktas realaus objekto defektų modeliavimas [6]. Talpyklos matmenys:  $R = 11,5$  m;  $H = 12,0$  m;  $t = 7,0$  mm. Nagrinėtas nupjautos sferos pavidalo defektas (1 pav.), o

skaičiavimams taikoma standartinė BEM programa COSMOS/M [7]. Siekiant sudubliuoti, keli defektų atvejai buvo skaičiuoti programa ANSYS [8].

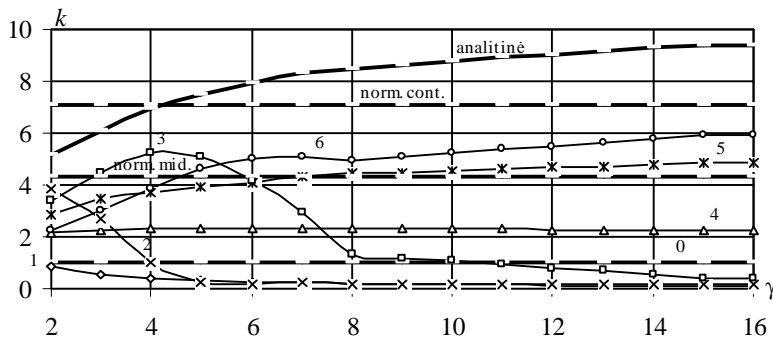
Pasinaudojant talpyklos simetrijos savybe, programa COSMOS/M buvo tirta talpyklos 1/12 dalis (2a pav.). Dubliuojant skaičiavimus ANSYS, buvo nagrinėjama talpyklos pusė juostos su įdubos defektu (2b pav.).



2 pav. Diskretizacija BEM: taikant COSMOS/M (a) ir taikant ANSYS (b)

### 3.2. Tampiškai deformuojamos konstrukcijos būvio analizė

BEM atlikta tampiškai deformuojamos konstrukcijos būvio analizė. Rezultatai parodė, kad įdubos centrinio ir kontūro viršutinio taškų ĮSK priklauso nuo įdubos spindulio  $\beta$  ir gylio  $\gamma$  (3 pav.). Kreivės 1, 2 ir 3 rodo ĮSK kitimą įdubos centre, kai  $\beta = 1, 3$  ir  $5$ , o kreivės 4, 5 ir 6 – atitinkamai viršutiniame kontūro taške. Modeliuojant defektus, talpyklos geometriniai parametrai  $R$  ir  $t$ , o taip pat medžiagos mechaniniai rodikliai nesikeičia.



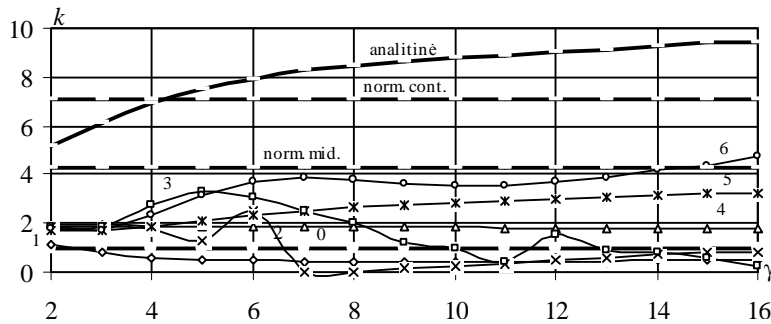
3 pav. ĮSK nupjautos sferos pavidalo defekto būdinguose taškuose, kreivės: 1, 2 ir 3 – viduriniame; 4, 5 ir 6 – viršutiniame

Pavojingiausioji ĮSK reikšmė gauta viršutiniame kontūro taške  $k_{cont} = 5,9$ , kai  $\beta = 5$  ir  $\gamma = 16$ . Defekto viduriniame taške didžiausia reikšmė yra  $k_{mid} = 5,2$ , kai  $\beta = 5$  ir  $\gamma = 4$ . Reikšmė  $k = 1$  parodo įtempimus be samplaikos įtakos.

Tikrinamieji skaičiavimai programa ANSYS [4, 9] patvirtino gautus rezultatus, skirtumas su COSMOS/M rezultatais sudaro apie 2 %, o tai nereikšminga inžineriniuose skaičiavimuose.

#### 4. Tampiškai-plastiškai deformuojamos konstrukcijos būvio analizė

Nustatant įdubos būdingųjų taškų ĮSK, atsižvelgta į legiruotojo plieno plastines deformacijas – taikoma idealizuotoji bitiesinė plieno diagrama, kai esant  $\sigma = 345$  MPa, tai  $\varepsilon = 1,6 \times 10^{-3}$  ir kai  $\sigma = 480$  MPa, tai  $\varepsilon = 3,0$ .



4 pav. ĮSK nupjautos sferos pavidalo defekto būdinguose taškuose, esant tampiškai-plastinėms deformacijoms, kreivės: 1, 2 ir 3 – viduriniame; 4, 5 ir 6 – viršutiniame

Gautos kreivės 4, 5 ir 6 (4 pav.), kai  $\beta = 1, 3$  ir 5, rodo, jog didžiausioji ĮSK reikšmė (kaip ir tampojoje stadijoje) yra kraštiniame taške  $k_{cont} = 4,7$ , kai  $\beta = 5$  ir  $\gamma = 16$ . Kreivės 1, 2 ir 3 atitinkamai rodo, kad defekto centriniame taške didžiausioji reikšmė  $k_{mid} = 3,3$  atsiranda, kai  $\beta = 5$  ir  $\gamma = 5$ .

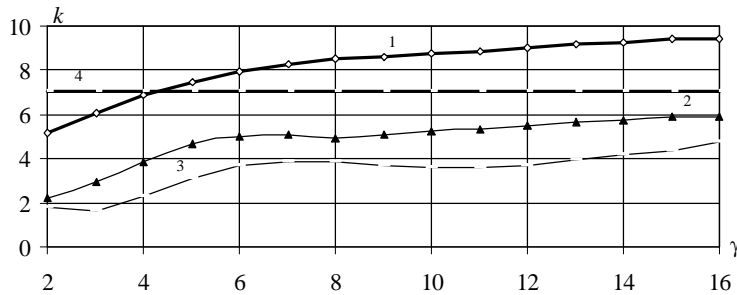
Plastinės deformacijos sušvelnina ĮSK priklausomybę nuo skirtingų gylio reikšmių  $\gamma$ , tačiau santykinio spindulio  $\beta$  įtaka beveik nesikeičia. Visumoje toks nagrinėjimas mažina įtempimų koncentraciją, bet ne visada leistinas [1-3].

#### 5. Rezultatų palyginimas

Greitinant analitiškai ir skaitiškai gautus rezultatus (5 pav.), įdubos pavojingiausioje vietoje – kontūro viršutiniame taške – matyti, kad analitinių lygčių rezultatai (kreivė 1 su  $\beta = 5$ ) gerokai viršija BEM rezultatus (kreivė 2 su  $\beta = 5$ ), kai atsižvelgiama į tamprųjį deformavimą, ir dar labiau (kreivė 3 su

$\beta = 5$ ), kai atsižvelgiama į tampriai-plastinį deformavimą. Tai rodo, kad skaičiavimo rezultatai, gauti taikant analitines išraiškas, yra užaukštinti ir negali detalai apibūdinti konkretaus atvejo geometrinių faktorių derinius.

Svarbu, kad esant  $\gamma > 4$ , analitiniais skaičiavimais gautas ĮSK viršija leistiną didumą, o visos skaitiškai nustatyti ĮSK – neviršija. Tampriai-plastinio ĮSK skaičiavimo rezultatai apie 20 % mažesni nei tampraus.



5 pav. Įtempimų samplaikos koeficientas defekto pavojingiausiame taške

## 6. Išvados

Atlikti analitiniai ir skaitiniai tyrimai leidžia padaryti tokias išvadas:

- analitines išraiškas (1)-(3) rekomenduojama taikyti preliminariai aprašant defekto įtempimų būvį – jeigu pagal analitinius skaičiavimus ĮSK neviršija leistinojo, tai defektas laikomas nepavojingu; jeigu pagal analitinius skaičiavimus ĮSK viršija leistiną didumą, tai siūloma atlikti detalų modeliavimą BEM; jeigu normatyvinė dokumentacija leidžia eksploatuoti talpyklą esant plastinėms deformacijoms, tai racionaliausia skaičiuoti BEM tampriai-plastinėje stadijoje;
- siūlomi analitiniai sprendiniai tiksliau apibrėžia ĮSK defekto srityje, nei norminių dokumentų reikalavimai, tačiau, kai atsižvelgiama į medžiagos plastines deformacijas, pamynėtas lygtis taikyti yra neracionalu, nes gaunami reikšmingi skirtumai tarp analitinių ir skaitinių reikšmių.
- analitines išraiškas galima patobulinti, pasitelkiant modeliavimo BEM rezultatais, ir taikyti normatyviniams dokumentams.

## Literatūra

1. API 650. Design and Construction of Large, Welded, Low-pressure Storage Tanks. Welded Tanks for Oil Storage. – Washington: American Oil Institute, 1993. – 129 p.
2. РД-08-95-95 Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов. – Москва: 1995. – 35 с.
3. BGC/PS/P11. Procedures for Inspection and Repair of Damaged Steel Pipelines (Designed to Operate at Pressure above 7 bar). – London: 1983.
4. **Aliphanov L.A.** Regulation of the Defect Shape and Resources of the Vertical Cylindrical Tanks. PhD Thesis. – Krasnoyarsk: KrasGASA, 2004. – 165 p.
5. **Aliphanov L.A., Romanenko K., Lepikhin A.M., Moskvichev V.V., Samofalov M.** Analysis of Geometrical Shape Defects of a Steel Cylindrical Tank Wall by Numerical and Analytical Methods. Proceedings of the 8th International Conference “Advanced Materials, Structures and Techniques in Civil Engineering”. – Vilnius: 2004 (in press).
6. **Romanenko K., Samofalov M.** Ritinio pavidalo plieninės talpyklos mechaninio būvio ties liukais skaitinis modeliavimas. Tarptautinė konferencijos “Mechanika-2003” medžiaga. – Kaunas: Technologija, 2003, p. 339–344.
7. COSMOS/M. User’s Manual. 2002.
8. ANSYS Inc. ANSYS Help. Revision 6.0. ANSYS Inc. 2002.
9. **Aliphanov L.A., Moskvichev V.V.** The Mode of Deformation of Storage Tanks with Shape Defects. Computational Technologies, Vol. 7. – Kazan: Vestnik, 2002, p. 16-22.

## **LINEAR AND PHYSICALLY NON-LINEAR ANALYSIS BY THE FINITE ELEMENT METHOD OF MECHANICAL STATE OF LOCAL SHAPE DEFECTS ON STEEL CYLINDRICAL TANK WALLS**

**KONSTANTIN ROMANENKO, MICHAEL SAMOFALOV,  
ANTANAS ŠAPALAS, LEONID A. ALIPHANOV**

### Summary

Steel storage tanks and other structures of such a kind of buildings have been extensively designed following the requirements of continuous cyclic operations. Because of many economically based reasons any engineering

inspections of a huge volume are very expensive, so investigations of the local defects are practically important.

The main objective of the presented investigations is development of an easy and well-tested engineering algorithm for solution of the soft stress concentrator. The results, derived from the proposed formulas, are compared with obtained by numerical modelling using the finite element method.

**Key words:** steel storage tank, dent, finite element method, stress concentration