

ҒТАХА 57.42.33

DOI: <https://doi.org/10.62724/202440305>

**Киікбаев Манас Қайратұлы\*<sup>1</sup>**

аға оқытушы, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы, 090006, Орал қ., Н.Назарбаев даңғылы, 208, [manas.kikbaev@gmail.com](mailto:manas.kikbaev@gmail.com),  
<https://orcid.org/0000-0001-5593-5610>

**Аманжолов Айбар Жанарбекұлы<sup>2</sup>**

магистрант, Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Қазақстан Республикасы, 090006, Орал қ., Н.Назарбаев даңғылы, 208,  
[aibaramanzholov1@gmail.com](mailto:aibaramanzholov1@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0008-5836-7485>

## ОСИММЕТРИЯЛЫҚ ҚАБЫҚШАЛАРДАҒЫ КЕРНЕУЛЕРДІ МОМЕНТСІЗ ТЕОРИЯ БОЙЫНША АНЫҚТАУ

*Аңдатпа.* Қазақстан Республикасында мұнай мен мұнай өнімдерін жинау, сақтау операцияларына арналған резервуарлардың едәуір саны пайдаланылады. Резервуар конструкциясы рулонды немесе парақтап жинау технологиясымен жасалатын тік болат резервуар болып табылады. Мұндай резервуарларды дайындау технологиясын әлдеқайда ұзақ уақыт пайдалануына қарамастан, дәнекерлеу қосылысында ақаудың пайда болу қаупі айтарлықтай жоғары болып қала береді.

Ең жиі дәнекерленген қосылыстың ақауы болып табылады. Кернеудің жоғары деңгейі, құрылыс кезінде дайындау технологиясы мен режимінің сақталмауы, қосылыстың технологиялық қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді.

Бұл жұмыста асимметриялық қабықшалардағы кернеулерді моментсіз теория әдістері арқылы анықтау мәселелері қарастырылады. Асимметриялық қабықшалар құрылыс, авиация, кеме жасау және басқа да салаларда кеңінен қолданылады, сондықтан олардың беріктік және тұрақтылық сипаттамаларын дұрыс есептеу үлкен маңызға ие.

Әр түрлі қаландықты қабырға және түп элементтері бар болат резервуарларды есептеу үшін жұқа қабырғалы қабықшаларының теориясы пайдаланылады. Қабықшалар осьтік қима нысаны бойынша цилиндрлік, конустық, сфералық және тамшы тәрізді конструкцияларға бөлінеді. Бұл ретте резервуарларды есептеу үшін қабырғалы моментсіз қабықшалар теориясын қолдану олардың конструкциясы мен пайдалану ерекшелігін ескеретін ерекшеліктерге ие болуы тиіс. Жұмыста резервуардың қабырғасының жұқа қабырғалық қабықшаларының кернеу-деформацияланған жағыдайын зерттеу үшін кедергісіз қабықшалар теориясы пайдаланылуы қарастырылған.

*Кілт сөздер.* Резервуар, резервуар қабырғасы, түбі, деформация, дәнекерленген жіктер, кернеулер.

*Кіріспе.* Болат тік резервуарлар қалыңдығы әртүрлі қабырға және түп элементтерінен тұратын күрделі дәнекерленген конструкциялар болып табылады. Резервуарды пайдалану процесінде кернеу концентраторлары - әртүрлі қиылыстар, тесіктер мен қиылысулар бар жерлерде қауіп төндіретін белгі ауыспалы жүктемелер сыналады. Резервуарлардың конструкциясындағы осы элементтер кернеу шоғырлануының аймақтарын құрады. Нәтижесінде біркелкіліктен айқын ауытқулары бар кернеулі-деформацияланған күйдегі өрістер қалыптасады.

**Зерттеу материалдары мен әдістері.** Мұнай және мұнай өнімдерін сақтауға арналған резервуарлар жұқа қабырғалы табақ конструкцияларға жатады, өйткені резервуардың сипатты өлшемдері тіреу элементтері қималарының қалыңдығынан бірнеше ретке асады [1-2].

Резервуардың қабырғасының жұқа қабырғалық қабықшаларының кернеу-деформацияланған жағыдайын зерттеу үшін кедергісіз қабықшалар теориясы пайдаланылуы тиіс [3], оның негізгі ережелері білдіреді:

- қабықшаның қимасында тек созылмалы кернеу әсер етеді, бұл ретте иілу кедергісі болмайды, иілу сәті туындамайды;

- қабықтың бетінде әрекет ететін жүктемелер қабықтың айналу осіне қатысты перпендикулярлы және симметриялы болып есептелуі мүмкін;

- қабықтың қалыңдығы бойынша кернеу өзгеріссіз қалады.

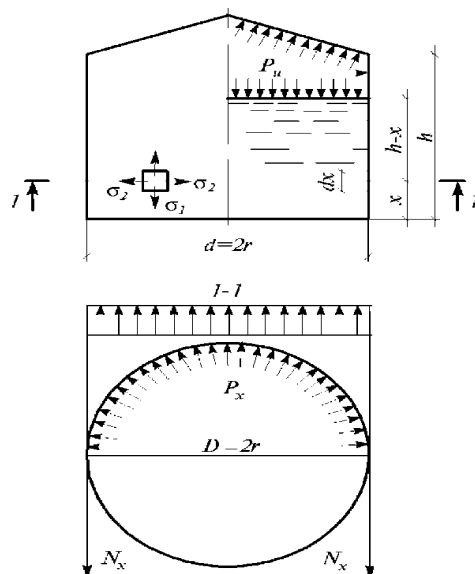
Бұл теория қабырға мен түптің түйісу орындарында, сондай-ақ қабырға қалыңдығының күрт өзгеруі орындарында шеткі әсерлерді ескермейді. Мұндай жағдайлар көлденең күштерден немесе моменттерден иілу кернеулерінің туындауына әкеледі. Резервуардың аталған бөліктеріндегі иілу кернеулерін есепке алу қабықтардың мезеттік теориясы шеңберінде жүргізіледі [4].

Тік болат резервуарды стационарлық жабынмен жабылған, тегіс түбіне тігінен орнатылған, қалыңдығы ауыспалы тік дөңгелек цилиндр түрінде көруге болады.

Пайдалану кезінде резервуардың конструкциясына бірқатар жүктемелер пайда болады, олардың негізгілері сақталатын сұйықтықтың гидростатикалық қысымы, газ кеңістігіндегі бу қысымы, резервуардың металл құрылымдары мен жабдығының салмағы, жел және қар жүктемелері болып табылады.

Резервуардың нақты белдік қабырғасы беріктігінің негізгі шарты резервуар қабырғасы материалының есептік кедергісінің меридионалдық және сақиналық кернеулер комбинациясынан аспауы болып табылады (1-сурет).

Меридионалдық кернеуге негізгі үлес қосатын жүктеме, резервуар конструкциясының салмағымен, төбе мен ондағы жабдықтың салмағымен, қар жүктемесімен анықталады. Бұл ретте сақиналық кернеудің пайда болуының негізгі себебі сақталатын сұйықтықтың гидростатикалық қысымы, сондай-ақ резервуардың толтырылмаған бөлігіндегі газ фазасының қысымы болып табылады. Резервуар қабырғасындағы меридиандық және сақиналық кернеулердің қатынасы екі осьтілік коэффициентімен сипатталады.



Сурет 1. Тік болат резервуардың есептік сұлбасы.

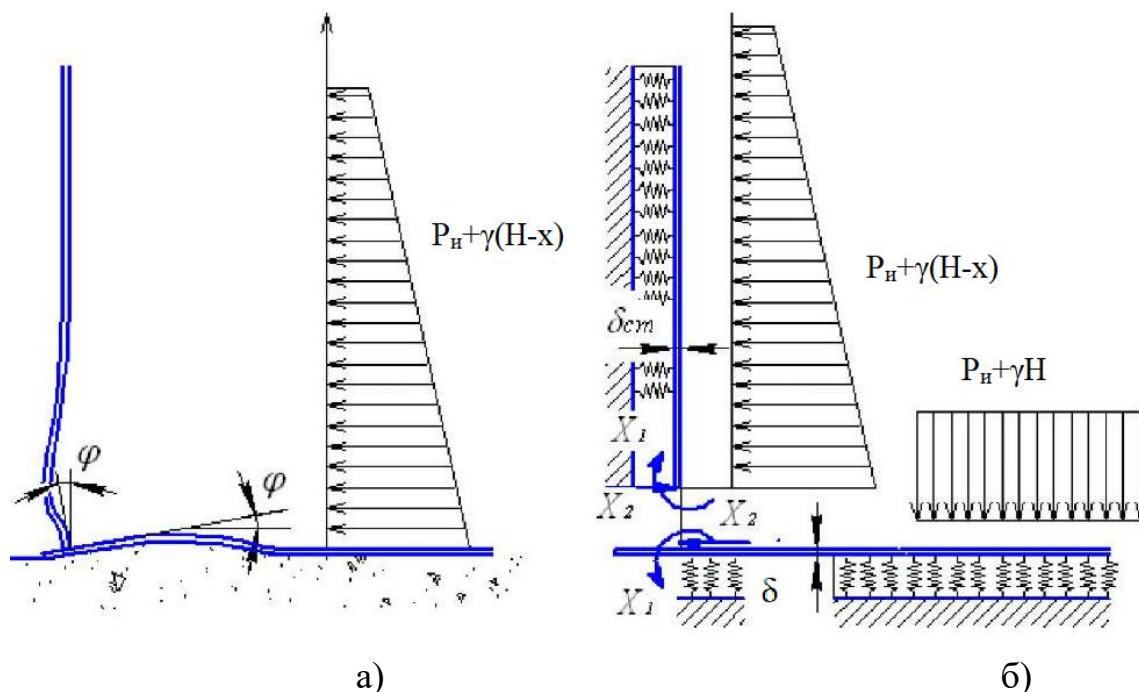
Пайдалану деректерімен расталатын теориялық негіздемелерге сүйене отырып, тік резервуарлардың келесі элементтерінің бұзылуы жиі туындайды [5,6]:

- қабырғаның төменгі белдіктеріндегі, оның ішінде люктер мен келте құбырларға жақын орналасқан тік дәнекерленген жіктер;
- қабырғаның төменгі белдеулеріндегі тік және көлденең дәнекерленген жіктердің қиылысатын учаскелері;
- қабырғаның бірінші белдеуіндегі люктердің, келте құбырлардың қиылысу аймақтары;
- резервуар түбінің дәнекерленген жіктері;
- қабырға мен түптің түйісу торабы.

**Нәтижелер және оларды талқылау.** Жұмыстың зерттеу объектісі қабырға мен түптің түйісу торабы, қабырғаның еркін деформациясы резервуардың түбіне бекітілуімен шектеледі. Бұл ретте иілу сәтінің пайда болуымен сипатталатын шеткі әсер ету аймағы пайда болады. Шеткі аймақ ұзындығы (0,5 -1,0 м-ден аспайды), алайда туындайтын қосымша иілгіш кернеулер қабырғаның осы саласындағы кернеулердің жалпы деңгейін арттырады [7].

Қабырға-түптің түйісу торабында иілу сәттерінен, көлденең күштерден және қосымша меридионалдық және сақиналық күштерден қабырғалардың иілуінің пайда болуына әкелетін шеткі әсер пайда болады. Июші кернеулер меридионалды және сақиналы кернеулермен қосылады.

Дәнекерлеу қосылысы аймағында қабырға мен түптің радиалдық деформацияларын лимиттеу есебінен иілу сәті мен көлденең күшінің бірлескен әрекеті пайда болады. Қабырға - түптің қосылу торабы статикалық тұрғыдан анықталмайтын болып табылады және оны ашу үшін күштер әдісі қолданылады. Теңдеу жүйесі екі статикалық айқындалатын жүйені білдіреді. Күштер әдісімен есептеу үшін пайдаланылатын жүктемелер қосымшасының есептік схемасы 2-суретте келтірілген.



Сурет 2. Күштер әдісімен шешілетін резервуар қабырғасы мен түптің түйісу торабына арналған жүктемелерді қосымшаның есептік сұлбасы.

- а) бастапқы жүйе - қабырға мен түптің бірлескен деформациясы.
- б) есептеуге арналған негізгі жүйе.

Есептеуді орындау кезінде резервуардың симметрия осінен сыртқы түзгішке дейінгі бір ені бар сектор түріндегі учаскелері қаралады. Теңдеу жүйесіне белгісіз шаманың қосымша күштері енгізіледі ( $X_1$  - иілу моменті,  $X_2$  - көлденең күш). Түйісу нүктесіндегі қабырға мен түптің орын ауыстыруының үйлесімділік шарты негізгі шарты болып табылатын теңдеулер жүйесінің шешімі енгізілген белгісіз шамаларды анықтайды. Сыртқы жүктеменің, моменттің және көлденең күштің әсерінен көлденең жазықтық элементтерінің барлық орын ауыстырулары нөлге тең болып қабылданады. Теңдеу жүйесі келесі түрге ие болады:

$$\begin{cases} (\delta_{11}^{CT} + \delta_{11}^{DH}) \times X_1 + \delta_{12}^{CT} \times X_2 + \Delta_{1p}^{CT} + \Delta_{1p}^{DH} = 0 \\ \delta_{21}^{CT} \times X_1 + \delta_{22}^{CT} \times X_2 + \Delta_{2p}^{CT} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

мұнда,  $\delta_{ij}$  ст,  $\delta_{ij}$  дн - қабырғаның және түптің бір моменттен  $X_1$  және бір күштен  $X_2$  жылжуы;

$\Delta_{ip}$  ст,  $\Delta_{ip}$  дн - сыртқы жүктемелерден қабырғалар мен түптің жылжуы.

Резервуардың қабырғасы үшін төртінші реттегі теңдеуді келесі түрде көрсетуге болады (2):

$$D_{CT} \frac{d^4 V}{dx^4} + \frac{EV \delta_{CT}}{R^2} = P_x, \quad (2)$$

түбі үшін (3):

$$D_{DN} \frac{d^4 V}{dx^4} + k_{DN} V = P_x, \quad (3)$$

мұнда,  $k_{дн}$  - резервуар негізінің серпімділік қасиеттеріне байланысты түптің төсек коэффициенті.

Қабырғаның төсек коэффициентін келесі түрде жазуға болады

$$k_{ст} = \frac{E\delta_{ст}}{R^2}$$

$$\frac{k_{ст}}{D_{ст}} = 4m_{ст}^4$$

тендеу (3) түрлендіріледі (4):

$$\frac{d^4V}{dx^4} + m_{ст}^4 V = \frac{P_x}{D_{ст}} \quad (4)$$

мұнда,  $m_{ст} = \sqrt[4]{\frac{k_{ст}}{4D_{ст}}}$  - қабырға деформациясының коэффициенті;

$D_{ст} = \frac{E\delta_{ст}^3}{12(1-\mu^2)}$  - цилиндрлік қабырға мықтылығы;

$\mu$  - Пуассон коэффициенті;

$E$  – болат серпімділік модулі.

Түптің дифференциалды тендеуі (5) түрлендіріледі:

$$\frac{k_{дн}}{D_{дн}} = 4m_{дн}^4$$

$$\frac{d^4V}{dx^4} + 4m_{дн}^4 V = \frac{P_0}{D_{дн}} \quad (5)$$

мұндағы,  $P_0$  - резервуардың төменгі нүктесіндегі қысым. Жылжуды анықтау үшін (4) және (5) сараланған тендеулердің шешімдері пайдаланылады, оны келесі түрде жазуға болады (6):

$$V = e^{-kx}(c_1 \sin kx + c_2 \cos kx) + e^{kx}(c_3 \sin kx + c_4 \cos kx) + V^k, \quad (6)$$

мұнда,  $V^k$  – сараланған тендеудің жеке шешімі. Резервуардың конструкциялары үшін қорытынды есептік арақатынастар келесі түрде болады: (7 – 13):

$$\delta_{11}^{ст} = \frac{1}{m_{ст} D_{ст}} \quad (7)$$

$$\delta_{12}^{ст} = \frac{1}{2m_{ст}^2 D_{ст}} \quad (8)$$

$$\delta_{22}^{ст} = \frac{1}{2m_{ст}^3 D_{ст}} \quad (9)$$

$$\Delta_{1p}^{ст} = \frac{\rho_n g}{k_{ст}} \quad (10)$$

$$\Delta_{2p}^{ст} = \Delta_{1p}^{ст} * H \quad (11)$$

$$\delta_{11}^{ст} = \frac{1}{m_{ст} D_{ст}} * \frac{1 + \varphi^2 + 2\theta^2}{4} \quad (12)$$

$$\Delta_{1p}^{ст} = \frac{P_0 m_{дн}}{2k_{дн}} [1 - \varphi * \psi + 2\theta\xi] \quad (13)$$

Қабырғадағы және түбтегі жылжу шамасын есептегеннен кейін (1) теңдеуді пайдалана отырып, енгізілген белгісіз параметрлер  $X_1$ - иілетін момент және  $X_2$  көлденен күші анықталады.

Есептеу нәтижелерін талдау 1-кестеде келтірілген.

Кесте -1. Есептеу нәтижелері

Торалтар	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
Түп қалыңдығы $S_d$ , мм	8	8	8	12	14
Қабырға қалыңдығы $S_{ст}$ , мм	7	8	12	20	24
Талдамалық есептің нәтижелері, МПа	210	230	250	150	140

**Қорытынды.** Қорытындылай келе, қосылыстың ішкі бетіндегі кернеулер созылу сипатына ие, ең жоғары кернеулер дәнекерленген тігіс пен түптің және дәнекерленген тігіс пен қабырғаның балқыту желілері бойынша байқалады.

Шеттердің алдын ала кері иілуімен тік болат резервуар торабының конструкциясын құрастыру - дәнекерлеу жұмыстарын орындаудың қолданыстағы технологиясын сақтаған кезде «қабырға-шеттердің» қосылысындағы саңылауларды жоюға және сол арқылы дәнекерлеу-монтаждау жұмыстарының өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ.

- 1 Афанасьев В.А., Березин В.Л. Сооружение газохранилищ и нефтебаз [Текст] / Учебник для вузов. М.: Недра, 1986. 334 с.
- 2 Сафарян, М.К. Металлические резервуары и газгольдеры [Текст] / М.: Недра. 1987. 144 с.
- 3 Чепур П.В. Напряженно-деформированное состояние резервуара при развитии неравномерных осадок его основания [Текст] / дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19 / Чепур Петр Владимирович. М., 2015. 179 с.
- 4 Чепур, П.В. Исследование влияния величины выступа окрайки на напряженно-деформированное состояние вертикального стального цилиндрического резервуара при развитии неравномерной осадки наружного контура днища [Текст] / П.В. Чепур, А.А. Тарасенко, Д.А. Тарасенко // Фундаментальные исследования. 2013. № 10 - 15. С. 3441 - 3445.
- 5 Тарасенко, А.А. Напряженно-деформированное состояние вертикальных стальных резервуаров при ремонтных работах. [Текст] / М.: ОАО «Издательство «Недра». 1999. 270 с.

6 Р.Р. Тляшева, С.М. Мансурова, А.В. Ивакин, Г.А. Шайзаков, А.С. Байрамгулов Оценка напряженно-деформированного состояния стального цилиндрического резервуара с учетом эксплуатационных нагрузок [Текст] / Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2014. № 1. С. 329 - 344.

7 Е.А. Егоров, А.С. Соколова / Исследование краевого эффекта в упорном узле стальных вертикальных цилиндрических резервуаров при односторонней связи днища с основанием [Текст] //Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Инновационные технологии жизненного цикла объектов жилищно-гражданского, промышленного и транспортного назначения. 2013. Вып. 69. С. 187 - 191.

## REFERENCES

1 Afanas'ev V.A., Berezin V.L. Sooruzhenie gazohranilishch i neftebaz [Construction of gas storage facilities and oil depots]. Uchebnik dlya vuzov. M.: Nedra, (1986): 334 s. – (In Rus)

2 Safaryan, M.K. Metallicheskie rezervuary i gazgol'dery [Metal tanks and gas tanks]. M.: Nedra. (1987): 144 s. – (In Rus)

3 Chepur P.V. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie rezervuara pri razviti neravnomernyh osadok ego osnovaniya [The stress-strain state of the reservoir with the development of uneven sediments of its base]. dis. ... kand. tekhn. nauk: 25.00.19 /Chepur Petr Vladimirovich. M., (2015): 179 s. – (In Rus)

4 Chepur, P.V. Issledovanie vliyaniya velichiny vystupa okrajki na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie vertikal'nogo stal'nogo cilindricheskogo rezervuara pri razviti neravnomernoj osadki naruzhnogo kontura dnishcha [Investigation of the influence of the size of the stain protrusion on the stress-strain state of a vertical steel cylindrical tank with the development of uneven precipitation of the outer contour of the bottom]. Fundamental'nye issledovaniya. (2013): № 10 - 15. 3441 – 3445s. – (In Rus)

5 Tarasenko, A.A. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov pri remontnyh rabotah. [The stress-strain state of vertical steel tanks during repair work.]. M.: ОАО «Izdatel'stvo Nedra, (1999): 270 s. – (In Rus)

6 R.R. Tlyasheva, S.M. Mansurova, A.V. Ivakin, G.A. Shajzakov, A.S. Bajramgulov Ocenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya stal'nogo cilindricheskogo rezervuara s uchetom ekspluatatsionnyh nagruzok [6 Assessment of the stress-strain state of a steel cylindrical tank, taking into account operational loads]. Elektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo». (2014): № 1. 329 – 344s. (In Rus)

7 E.A. Egorov, A.S. Sokolova / Issledovanie kraevogo effekta v utornom uzle stal'nyh vertikal'nyh cilindricheskih rezervuarov pri odostoronnej svyazi dnishcha s osnovaniem [Investigation of the edge effect in the thrust node of steel vertical cylindrical tanks with one-sided connection of the bottom with the base]. Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Innovacionnye tekhnologii zhiznennogo cikla ob"ektov zhilishchno-grazhdanskogo, promyshlennogo i transportnogo naznacheniya. (2013): Vyp. 69. 187 – 191s. – (In Rus)

## STRESSES IN AXIALLY SYMMETRIC SHELLS ACCORDING TO MOMENT-FREE THEORY

**Abstract:** In the Republic of Kazakhstan, a significant number of tanks are used for collecting and storing oil and petroleum products. The tank design represents vertical steel tanks manufactured using roll or sheet assembly technology. Despite the long-term use of such tank manufacturing technologies, the risk of defects in welded joints remains quite high.

The most common defect is the failure of the weld seam integrity. High stress levels, non-compliance with technology and manufacturing regimes during construction significantly affect the technological properties of the joints.

This study addresses the determination of stresses in asymmetric shells using moment-free theory methods. Asymmetric shells are widely used in construction, aviation, shipbuilding, and other fields, making the accurate calculation of their strength and stability characteristics highly important.

For calculating steel tanks with various wall configurations and bottom elements, the theory of thin-walled shells is applied. Shells are classified based on the shape of their axial section into cylindrical, conical, spherical, and droplet-like structures. At the same time, the application of moment-free shell theory for tank calculations must consider the features of their design and operation. This study examines the use of moment-free shell theory to investigate the stress-strain state of the thin-walled shells of tank walls.

**Key words:** Tank, tank wall, bottoms, deformation, welds, stresses.

## НАПРЯЖЕНИЙ В ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ОБОЛОЧКАХ ПО БЕЗМОМЕНТНОЙ ТЕОРИИ

**Аннотация:** В Республике Казахстан используется значительное количество резервуаров для сбора и хранения нефти и нефтепродуктов. Конструкция резервуаров представляет собой вертикальные стальные резервуары, изготавливаемые с применением рулонной или листовой сборочной технологии. Несмотря на длительное использование таких технологий изготовления резервуаров, риск возникновения дефектов в сварных соединениях остается достаточно высоким.

Наиболее распространенным дефектом является нарушение целостности сварного шва. Высокий уровень напряжений, несоблюдение технологии и режимов изготовления при строительстве оказывают существенное влияние на технологические свойства соединений.

В данной работе рассматриваются вопросы определения напряжений в асимметричных оболочках с использованием методов безмоментной теории. Асимметричные оболочки широко применяются в строительстве, авиации, судостроении и других областях, поэтому правильный расчет их прочностных и устойчивостных характеристик имеет большое значение.

Для расчета стальных резервуаров с различной конфигурацией стенок и элементов днища применяется теория тонкостенных оболочек. Оболочки классифицируются по форме осевого сечения на цилиндрические, конические, сферические и каплевидные конструкции. При этом применение безмоментной теории оболочек для расчета резервуаров должно учитывать особенности их конструкции и эксплуатации. В работе рассматривается использование теории безмоментных оболочек для изучения напряженно-деформированного состояния тонкостенных оболочек стенок резервуара.

**Ключевые слова:** Резервуар, стенка резервуара, днища, деформация, сварные швы, напряжения.