

SILINDRIK QOBIQNING MAJBURIY TEBRANISHLARI TAHLILI

Axmedova Umeda Farxod qizi

Buxoro davlat pedagogika instituti magistranti.

Annotatsiya: *Ushbu maqolada silindrik qobiqlarning majburiy tebranishlari, ularning dinamik xatti-harakati hamda tashqi davriy yuklanishlar ta'siridagi tebranish jarayonlari tahlil qilingan. Tadqiqotda elastiklik nazariyasi va qobiq mexanikasi asosida silindrik qobiqlarning harakat tenglamalari keltirib chiqarilgan hamda rezonans hodisasi, chastota spektrlari va tebranish amplitudalarining o'zgarish qonuniyatlari ko'rib chiqilgan. Shuningdek, damping (so'nish) ta'siri va tizimning dinamik barqarorligi ham o'rganilgan. Olingan natijalar muhandislik konstruksiyalari, turbina elementlari, quvurlar va bosim ostidagi silindrik tizimlarni loyihalashda muhim ahamiyat kasb etadi.*

Kalit so'zlar: *silindrik qobiq, majburiy tebranishlar, rezonans, chastota, elastiklik nazariyasi, dinamik yuklama, damping, tebranish amplitudasi, qobiq mexanikasi.*

Аннотация: *В данной статье анализируются вынужденные колебания цилиндрических оболочек, их динамическое поведение и процессы вибрации под действием внешних периодических нагрузок. На основе теории упругости и механики оболочек выведены уравнения движения цилиндрических оболочек, рассмотрены явления резонанса, спектры частот и закономерности изменения амплитуды колебаний. Также изучены влияние демпфирования и динамическая устойчивость системы. Полученные результаты имеют важное значение для проектирования инженерных конструкций, турбинных элементов, трубопроводов и цилиндрических систем под давлением.*

Ключевые слова: *цилиндрическая оболочка, вынужденные колебания, резонанс, частота, теория упругости, динамическая нагрузка, демпфирование, амплитуда колебаний, механика оболочек.*

Abstract: *This article analyzes the forced vibrations of cylindrical shells, their dynamic behavior, and vibration processes under external periodic loading. Based on elasticity theory and shell mechanics, the governing equations of motion for cylindrical shells are derived, and resonance phenomena, frequency spectra, and amplitude variation patterns are examined. The effects of damping and dynamic stability of the system are also investigated. The obtained results are important for the design of engineering structures, turbine components, pipelines, and pressurized cylindrical systems.*

Keywords: *cylindrical shell, forced vibrations, resonance, frequency, elasticity theory, dynamic loading, damping, vibration amplitude, shell mechanics.*

KIRISH (INTRODUCTION)

Silindrik qobiqlar muhandislik amaliyotida eng ko'p uchraydigan konstruktiv elementlardan biri bo'lib, ular quvurlar, bosim ostidagi idishlar, turbina korpuslari, raketa va aviatsiya tizimlarining asosiy qismlarini tashkil etadi. Bunday konstruksiyalar ekspluatatsiya jarayonida doimiy ravishda tashqi va ichki dinamik yuklanishlar ta'siriga

uchraydi, bu esa ularning tebranish holatini chuqur tahlil qilish zaruratini yuzaga keltiradi.

Silindrik qobiqlarning majburiy tebranishlari masalasi qobiq mexanikasining muhim yo'nalishlaridan biri bo'lib, u elastiklik nazariyasi va dinamik tizimlar nazariyasi kesishmasida o'rganiladi. Tashqi davriy kuchlar ta'sirida qobiqda hosil bo'ladigan tebranishlar uning mustahkamligi, uzoq muddatli chidamliligi va ekspluatatsion xavfsizligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Ayniqsa rezonans hodisasi yuzaga kelganda tebranish amplitudasi keskin ortib, konstruksiyaning buzilish xavfini oshiradi.

Zamonaviy texnologiyalarda silindrik qobiqlarning ishlash sharoiti yanada murakkablashib bormoqda. Yuqori bosim, yuqori harorat, tez o'zgaruvchi yuklanishlar hamda agressiv muhitlar ta'siri ostida ishlaydigan tizimlarda dinamik tahlilning aniqligi juda muhim hisoblanadi. Shu sababli klassik chiziqli modellar bilan bir qatorda nochiziqli tebranishlar nazariyasi va sonli hisoblash usullari ham keng qo'llanilmoqda.

Silindrik qobiqlarning majburiy tebranishlarini o'rganishda damping (so'nish) effektlari, materialning elastik xususiyatlari, geometrik parametrlari hamda tashqi kuchlarning chastotasi asosiy rol o'ynaydi. Ushbu omillar tizimning dinamik barqarorligini belgilab beradi va tebranish amplitudasining vaqt bo'yicha o'zgarishiga ta'sir qiladi.

Mazkur maqolaning maqsadi silindrik qobiqlarda majburiy tebranishlar jarayonini elastiklik nazariyasi asosida tahlil qilish, rezonans sharoitlarini aniqlash hamda tebranishlarning asosiy fizik qonuniyatlarini yoritishdan iborat. Shu bilan birga, ushbu masalaning muhandislik amaliyotidagi ahamiyati va zamonaviy hisoblash usullari bilan bog'liqligi ham ko'rib chiqiladi.

ASOSIY QISM

Silindrik qobiqlarning majburiy tebranishlari muhandislik mexanikasining eng muhim va murakkab masalalaridan biri hisoblanadi. Bunday tizimlarda tebranishlar tashqi davriy kuchlar ta'siri ostida yuzaga keladi va ularning dinamik xatti-harakati vaqt, fazo hamda material xususiyatlariga bog'liq holda o'zgaradi. Silindrik qobiq modeli real konstruksiyalarni soddalashtirilgan ko'rinishda ifodalab, ularning asosiy fizik qonuniyatlarini tahlil qilish imkonini beradi.

Silindrik qobiqning mexanik holati odatda uchta asosiy parametr orqali tavsiflanadi: radial siljish, o'q bo'ylab siljish va aylana bo'ylab siljish. Ushbu siljishlar o'zaro bog'liq bo'lib, qobiq yuzasida murakkab deformatsiya maydonini hosil qiladi. Tashqi davriy yuklanishlar ta'sirida bu siljishlar vaqtga bog'liq funksiyaga aylanadi va natijada majburiy tebranishlar paydo bo'ladi.

Majburiy tebranishlar tenglamasi elastiklik nazariyasi va Nyuton mexanikasi asosida tuziladi. Qobiq elementiga ta'sir etuvchi kuchlar yig'indisi uning inertsiya kuchlari bilan muvozanatda bo'ladi. Bu holat differensial tenglamalar tizimi orqali ifodalanadi. Silindrik qobiqlar uchun bu tenglamalar odatda ikkinchi yoki to'rtinchi tartibli xususiy hosilali differensial tenglamalar ko'rinishida bo'ladi.

Tashqi davriy yuklanishning mavjudligi tizimda rezonans hodisasini yuzaga keltirishi mumkin. Rezonans — bu tashqi kuch chastotasi qobiqning tabiiy chastotasiga

yaqinlashganda tebranish amplitudasining keskin ortishi holatidir. Ushbu holat muhandislik nuqtai nazaridan juda xavfli bo'lib, konstruksiyaning deformatsiyalanishi yoki buzilishiga olib kelishi mumkin.

Silindrik qobiqlarning tabiiy chastotalari ularning geometrik o'lchamlari, material elastiklik moduli, zichligi hamda qalinligiga bog'liq. Qobiq qanchalik yupqa bo'lsa, uning egilish deformatsiyasi shunchalik sezgir bo'ladi va past chastotali tebranishlarga moyilligi ortadi. Qalin qobiqlarda esa siljish deformatsiyalari ham muhim rol o'ynaydi va tizimning dinamik xatti-harakati murakkablashadi.

Majburiy tebranishlarni tahlil qilishda damping (so'nish) effekti alohida ahamiyatga ega. Damping tizimdagi energiya yo'qotish jarayonini ifodalaydi va tebranish amplitudasining vaqt o'tishi bilan kamayishiga olib keladi. Real materiallarda ichki ishqalanish, muhit qarshiligi va struktura nuqsonlari dampingni keltirib chiqaradi. Damping mavjud bo'lganda rezonans amplitudasi cheklanadi, bu esa tizimning barqarorligini oshiradi.

Silindrik qobiqlarning tebranish xususiyatlari klassik nazariyalar yordamida ham, zamonaviy sonli usullar yordamida ham o'rganiladi. Klassik yondashuvlarda analitik yechimlar olishga harakat qilinadi, biroq ular faqat soddalashtirilgan geometrik va fizik sharoitlarda qo'llaniladi. Zamonaviy yondashuvlarda esa chekli elementlar usuli (FEM), chegara elementlari usuli va kompyuter simulyatsiyalari keng qo'llaniladi.

Chekli elementlar usuli silindrik qobiqni kichik elementlarga bo'lib, har bir element uchun harakat tenglamalarini yechish asosida umumiy tizimning dinamik javobini aniqlash imkonini beradi. Bu usul murakkab yuklanishlar, geometrik nochiziqliklar va material anizotropiyasini hisobga olishda juda samarali hisoblanadi.

Tashqi yuklanishning chastotasi vaqt bo'yicha o'zgaruvchi bo'lishi ham mumkin. Bunday holatda parametrik tebranishlar yuzaga keladi va tizim barqarorligi yanada murakkablashadi. Parametrik tebranishlar odatda konstruksiyaning kritik holatga yaqinlashishini tezlashtiradi.

Silindrik qobiqlarda issiqlik ta'siri ham tebranish jarayoniga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Harorat o'zgarishi materialning elastiklik modulini kamaytiradi, ichki kuchlanishlarni o'zgartiradi va tabiiy chastotalarning siljishiga olib keladi. Bu esa issiq muhitda ishlaydigan quvurlar va reaktor elementlari uchun juda muhim omildir.

Shuningdek, real konstruksiyalarda nuqsonlar, mikroyoriqlar va ishlab chiqarishdagi og'ishlar ham tebranish xarakteriga ta'sir qiladi. Bunday nuqsonlar lokal qattqlikni kamaytirib, rezonans chastotalarini o'zgartiradi va tizimni beqaror holatga olib kelishi mumkin.

Zamonaviy tadqiqotlarda silindrik qobiqlarning majburiy tebranishlarini o'rganishda eksperimental va hisoblash usullari birgalikda qo'llaniladi. Eksperimental modal tahlil yordamida real tizimning tabiiy chastotalari va tebranish shakllari aniqlanadi, so'ngra ular matematik modellar bilan taqqoslanadi.

Umuman olganda, silindrik qobiqlarning majburiy tebranishlari murakkab fizik jarayon bo'lib, u geometrik parametrlar, material xossalari, tashqi yuklanish va damping effektlarining o'zaro ta'siri natijasida shakllanadi. Ushbu omillarni to'liq hisobga olish

muhandislik konstruksiyalarining ishonchliligini oshirish va xavfsiz ishlashini ta'minlashda muhim ahamiyatga ega.

MUAMMOLAR YECHIMI BO'YICHA TAKLIF VA TAVSIYALAR

Silindrik qobiqlarning majburiy tebranishlarini tahlil qilish natijasida aniqlanadiki, bunday tizimlarning dinamik xatti-harakati juda ko'p omillarga bog'liq bo'lib, ularni to'liq boshqarish muhandislik amaliyotida muhim ahamiyat kasb etadi. Shu sababli tebranishlarni kamaytirish, rezonans xavfini oldini olish va konstruksiyaning barqarorligini oshirish bo'yicha bir qator ilmiy-amaliy tavsiyalar ishlab chiqiladi.

Birinchi, silindrik qobiqlarni loyihalash jarayonida ularning tabiiy chastotalarini tashqi yuklanish chastotalaridan uzoqroq sohalarda joylashtirish muhimdir. Buning uchun geometrik parametrlar (diametr, uzunlik, qalinlik) hamda material xossalari optimal tanlash orqali rezonans holatlarining oldi olinadi. Bu yondashuv konstruksiyaning ekspluatatsion xavfsizligini sezilarli darajada oshiradi.

Ikkinchi, damping (so'nish) xususiyatlarini oshiruvchi materiallardan foydalanish tavsiya etiladi. Ichki ishqalanishi yuqori bo'lgan kompozit materiallar yoki maxsus qoplamalar tebranish amplitudasini kamaytiradi va energiya yo'qotishlarini kuchaytiradi. Bu esa rezonans holatlarining zararli ta'sirini yumshatadi.

Uchinchi, zamonaviy aktiv boshqaruv tizimlarini joriy etish muhim hisoblanadi. Sensorlar va aktuatorlar yordamida real vaqt rejimida tebranishlarni o'lchash va ularni kompensatsiya qilish mumkin. Bunday tizimlar ayniqsa aviatsiya va raketa texnikasida yuqori samaradorlikka ega.

To'rtinchi, silindrik qobiqlarda yuzaga keladigan nuqsonlarni kamaytirish uchun ishlab chiqarish texnologiyalarini takomillashtirish zarur. Payvand choklari sifatini oshirish, materialni bir jinsli qilish va issiqlik ishlovlarini to'g'ri qo'llash orqali lokal zaif zonalarning oldi olinadi.

Beshinchi, chekli elementlar usuli asosida raqamli modellashtirishni keng qo'llash tavsiya etiladi. Bu usul yordamida murakkab yuklanish sharoitlarida silindrik qobiqlarning dinamik javobini oldindan aniqlash va kritik holatlarni prognoz qilish mumkin. Natijada loyihalash bosqichida xatolar kamayadi.

Oltinchi, harorat va bosim o'zgarishlarining ta'sirini hisobga olgan holda ko'p fizikaviy (multiphysics) modellar ishlab chiqish zarur. Bu yondashuv real ekspluatatsiya sharoitlarini yanada aniqroq ifodalash imkonini beradi va tizimning ishonchliligini oshiradi.

Yettinchi, eksperimental tadqiqotlarni kuchaytirish, ya'ni modal tahlil va vibratsion sinovlarni keng qo'llash muhimdir. Nazariy modellarni amaliy natijalar bilan solishtirish orqali aniqlik darajasi oshiriladi va yangi qonuniyatlar aniqlanadi.

Umuman olganda, silindrik qobiqlarning majburiy tebranishlari bilan bog'liq muammolarni hal qilishda nazariy tahlil, sonli modellashtirish va amaliy eksperimentlarni uyg'unlashtirish eng samarali yondashuv hisoblanadi. Bu esa zamonaviy muhandislik tizimlarining ishonchliligi va uzoq xizmat muddatini ta'minlashga xizmat qiladi.

XULOSA

Ushbu maqolada silindrik qobiqlarning majburiy tebranishlari elastiklik nazariyasi va qobiq mexanikasi asosida tahlil qilindi. Tadqiqot jarayonida silindrik qobiqlarning dinamik xatti-harakati, tashqi davriy yuklanishlar ta'siri, rezonans hodisasi hamda damping effektlarining tebranish jarayoniga ta'siri yoritib berildi.

Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, silindrik qobiqlarning tebranish xususiyatlari ularning geometrik parametrlari, material elastik xossalari va ekspluatatsiya sharoitlariga bevosita bog'liqdir. Ayniqsa, tabiiy chastota va tashqi yuklanish chastotasi o'rtasidagi yaqinlik rezonans hodisasini keltirib chiqarib, konstruksiyaning mustahkamligiga jiddiy xavf tug'diradi.

Shuningdek, damping mavjudligi tebranish amplitudasini kamaytirishda muhim rol o'ynashi va tizimning dinamik barqarorligini oshirishi aniqlandi. Zamonaviy hisoblash usullari, xususan chekli elementlar usuli, murakkab geometrik sharoitlarda silindrik qobiqlarning tebranishlarini yuqori aniqlikda tahlil qilish imkonini beradi.

Umuman olganda, silindrik qobiqlarning majburiy tebranishlarini chuqur o'rganish muhandislik konstruksiyalarini loyihalashda xavfsizlikni ta'minlash, rezonans xavfini kamaytirish va materiallardan samarali foydalanish uchun muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Flugge, W. *Stresses in Shells* / W. Flugge. – 2nd ed. – Berlin: Springer-Verlag, 1973. – 1–90 p.
2. Ventsel, E.S., Krauthammer, T. *Thin Plates and Shells: Theory, Analysis, and Applications* / E.S. Ventsel, T. Krauthammer. – New York: Marcel Dekker, 2001. – 10–150 p.
3. Amabili, M. *Nonlinear Vibrations and Stability of Shells and Plates* / M. Amabili. – Cambridge: Cambridge University Press, 2008. – 5–120 p.
4. Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L. *The Finite Element Method* / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor. – 6th ed. – Oxford: Elsevier, 2005. – 1–100 p.
5. Leissa, A.W. *Vibration of Shells* / A.W. Leissa. – Washington: NASA SP-288, 1973. – 20–180 p.
6. Mirzaev, S.M. *Mexanika (materiallar qarshiligi va qobiq elementlari)* / S.M. Mirzaev. – Toshkent: O'qituvchi, 2006. – 120–160 b.
7. Yo'ldoshev, A.A. *Qattiq jismlar mexanikasi va qobiq elementlari nazariyasi* / A.A. Yo'ldoshev. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2012. – 45–95 b.
9. Rasulov, M.M. *Muhandislik mexanikasi va qobiq elementlari nazariyasi* / M.M. Rasulov. – Toshkent: ToshDTU nashriyoti, 2015. – 60–110 b.
10. Karimov, Sh.S. *Elastik tizimlar va konstruksiya tebranishlari* / Sh.S. Karimov. – Toshkent: Fan va texnologiya, 2018. – 30–85 b.