GUMBAZ KONSTRUKSIYALARINING SEYSMIK TA’SIRLAR OSTIDAGI MUSTAHKAMLIGI VA BARQARORLIGI

UDK 624.074:699.841

B.N.Elboyev —Mirzo Ulug‘bek nomidagi Samarqand davlat texnika universiteti.

Annotatsiya. Maqolada gumbaz-qobiq konstruksiyalarini hisoblash usullari va ularga qo‘yiladigan asosiy talablar tahlil qilingan. Silliq, sferik va konussimon gumbazlarda hosil bo‘ladigan ichki zo‘riqish kuchlarini momentsiz nazariya asosida aniqlash masalalari ko‘rib chiqilgan. Gumbazlarda membranaviy kuchlarning taqsimlanishi, konstruktiv shakl va geometrik parametrlarning zo‘riqish holatiga ta’siri o‘rganilgan. Hisoblash natijalari asosida gumbaz konstruksiyalarining mustahkamligi va barqarorligini baholash bo‘yicha tavsiyalar ishlab chiqilgan.

Kalit so‘zlar: gumbaz-qobiq, sferik gumbaz, silliq gumbaz, konussimon gumbaz, ichki zo‘riqish kuchlari, momentsiz nazariya, membranaviy kuchlar, mustahkamlik, barqarorlik.

Аннотация. В статье проанализированы методы расчёта купольно-оболочечных конструкций и основные требования, предъявляемые к ним. Рассмотрены вопросы определения внутренних усилий в гладких, сферических и конических куполах на основе безмоментной теории. Исследованы закономерности распределения мембранных усилий и влияние геометрических и конструктивных параметров на напряжённое состояние куполов. На основе результатов расчётов разработаны рекомендации по оценке прочности и устойчивости купольных конструкций.

Ключевые слова: купольная оболочка, сферический купол, гладкий купол, конический купол, внутренние усилия, безмоментная теория, мембранные усилия, прочность, устойчивость.

Abstract: The article analyzes calculation methods for dome-shell structures and the main requirements imposed on them. The determination of internal forces in

smooth, spherical, and conical domes based on the membrane theory is considered. The distribution of membrane forces and the influence of geometric and structural parameters on the stress state of domes are investigated. Based on the calculation results, recommendations for assessing the strength and stability of dome structures are developed.

Keywords: dome-shell, spherical dome, smooth dome, conical dome, internal forces, membrane theory, membrane forces, strength, stability.

Gumbazlarning konstruktiv yechimini qabul qilishda modellashtirishga asoslangan hisob usulidan foydalaniladi. Bu usullarni qo’llash ishonchli natijalar berishidan tashqari undan beton va armatura kesimini tanlashda foydalanishga ham ruxsat etiladi. Loyihalar ishlab chiqishda EHM yordamida aniqligi yuqori bo’lgan ishonchli hisob usullaridan foydalanish mumkin.

Gumbaz – qobiqlarning hisob usullari, talab va shartlarini ko’rib chiqamiz. Qobiqning qalinligi gumbaz kichik radiusining 1/20 dan oshmasa, u holda amaliyotga yetarli aniqlik bilan momentsiz hisob nazariyasidan foydalanish mumkin. Gumbaz – qobiqning momentsiz ishlash shartlari quyidagicha: qobiq qalinligining, egrilik radiusining, materiallar elastiklik xususiyatining va yuklarning tekis o’zgarishi hamda radial va halqa yo’nalishlaridan qobiqning erkin siljishidan iborat. Gumbaz – qobiqning tashqi konturga tayanishi uzluksiz sharnirli – qo’zg’aluvchan tayanch – sterjenchalar yordamida amalga oshirilib, qobiqning meridional kesimi yo’nalishiga urinma sifatida qaraladi. Bu holatda qobiq statik aniq hisoblanadi. Yuqorida keltirilgan shartlar bajarilmasa, qobiqning kuchlanish – deformatsiyalanish holati eguvchi momentlarni e’tiborga olgan holatda aniqlanadi. Bu holda qobiqda meridional va tangensial eguvchi momentlar va ularga mos ravishda ko’ndalang kuchlar vujudga keladi va bular o’z navbatida momentli nazariya bog’lanishlari yordamida aniqlanadi.

Momentsiz kuchlanganlik holatida gumbaz qobig’i yupqa membrana kabi ishlaydi. Shuning uchun u o’rta sirti bo’ylab tarqalgan normal kuchlanishlar ta’sirida

bo’ladi. Amaliyotda bu holatni butun gumbazga qo’llasa ham bo’ladi, faqat bundan egilish kuchlanganligi holatida bo’lgan kontur unsurlariga tutash qismlar mustasno.

Momentsiz holatdagi yupqa gumbazlarning muvozanat shartlarini ko’rib chiqamiz.(1.1-rasm)

Gumbaz – qobiqning meridial va halqaviy kesimlari meridional N_1 halqaviy N_2 va urinma S zo’riqish kuchlari ta’sirida bo’ladi. Gumbaz vertikal tekis taqsimlangan o’qqa nisbatan mutanosib yuklangan holda S = 0 bo’ladi va N_1, N_2 normal zo’riqish kuchlari statik shartlariga ko’ra faqat φ kenglik funksiyasidan aniqlanadi.

Gumbaz – qobiqni o’qqa nisbatan mutanosib yuk ta’siridagi momentsiz kuchlanganlik holatini quyidagi muvozanat tenglamasidan hisoblab topamiz.

$N_1 2\pi r \sin\varphi = - Q_\varphi$

$N_1/R_1 + N_2/R_2 = -q_\varphi$ (1.1)

bunda N_1 – meridional zo’riqish kuchi; N_2 – halqaviy zo’riqish kuchi; q_φ – qobiq yuzasiga ta’sir etuvchi normal tashqi kuch q ning tashkil etuvchisi; R_1 – meridian egrilik radiusi; R_2 – meridian yo’nalishiga normal bo’lgan kesim egrilik radiusi.

Meridional zo’riqish kuchi N_1 ni aniqlash uchun gumbazning yuqori qismi halqaviy kesim bilan kesib olinib muvozanati tekshiriladi.

Kesilgan sferik sigmentga yig’indi yuk Q_φ ta’sir etadi, u radiusi r halqaviy kesim perimetri bo’ylab ta’sir etuvchi meridional zo’riqish kuchi N_1 bilan muvozanatlashadi.

$Q_\varphi = -N_1 2\pi r \sin\varphi$

Bunda φ – o’zgaruvchan burchak koordinatasi (aylanish o’qidan boshlab hisoblanadi). Bundan kelsib chiqadiki:

$$N_1 = -\frac{Q_\varphi}{2\pi \sin\varphi} \quad (1.2)$$

Halqaviy zo’riqish kuchi N_2 ni (3.1) tenglamadan topamiz:

$$N_2 = -R_2\left(q_\varphi + \frac{N_1}{R_1}\right) \quad (1.3)$$

Gumbaz tortqisidagi zo’riqish kuchi meridional zo’riqish kuchi N_1 ning gorizontal proeksiyasidan aniqlanadi:

$$H = N_1 cos\varphi = -\frac{Q_\varphi}{2\pi r tg\varphi} (1.4)$$

Tayanch halqasi sathidan tortqi zo’riqish kuchi

$$H_0 = N_{10} \cos\varphi_0 = -\frac{Q_{\varphi_0}}{2\pi r_0 tg\varphi_0} (1.5)$$

Bunda N_{10} – tayanch halqasi sathidagi meridional zo’riqish kuchi; φ_0 – meridional yo’nalishdagi qobiq yoyi markaziy burchagining yarmisi; r_0 – tayanch halqasi radiusi; Q_{φ_0} – gumbazga ta’sir etuvchi yuk.

Tayanch halqasidagi cho’zuvchi kuch

$$N_0 = H_0 r_0 = N_{10} cos\varphi_0 r_0 = -\frac{Q_{\varphi_0}}{2\pi r tg\varphi_0} (1.6)$$

N_0 zo’riqish kuchi to’lig’icha halqa armaturasi bilan qabul qilinishi kerak.

Yuqori halqadagi q yuk ta’sirida vujudga kelgan qisuvchi zo’riqish φ koordinataning mos qiymatidan foydalanib (1.8) – tenglamadan topiladi. Qisilishga ishlaydigan fonar halqasidagi zo’riqish kuchi esa quyidagi tengladan aniqlanadi.

$N_ϕ$ = - $pR_2 cos\varphi_1$ = - $pr_1 ctg\varphi_1$ (1.7)

Bunda p – 1 m fonar halqasiga ta’sir etuvchi yuk; r_1 – fonar halqasining radiusi; φ_1 – halqa kesimining burchagi.

Sferik gumbazning meridional va halqaviy kesimi egrilik radiuslari bir – biriga teng va doimiydir. $R_1 = R_2 = R$ = const.(1.1-rasm). Muvozanat tenglamasi (3.1) quyidagi ko’rinishga ega.

$N_1 + N_2 = -q\varphi R$ (1.8)

Gumbaz xususiy og’irligi ta’siridan vertikal tekis taqsimlangan yukning g normal tashkil etuvchisi quyidagicha:

$$q_\varphi^{(g)} = g cos\varphi (1.9)$$

Segmental ta’sir etuvchi to’liq yuk

$$Q_\varphi^{(g)} = 2\pi R f g = 2\pi R^2 g(1 - cos\varphi) (1.10)$$

Bunda $f = R(1-cos\varphi)$ – sferik segment balandligi.

Meridional zo’riqish kuchlari N_1 yig’indisining simmetriya o’qiga proeksiyasi.

$N_1 \sin\varphi 2\pi r = N_1 2\pi R \sin^2\varphi$

Gumbazning xususiy og’irligidan meridional zo’riqish kuchini aniqlaymiz:

$$N_1^{(g)} = -\frac{gR(1-\cos\varphi)}{\sin^2\varphi} = -\frac{gR}{1+\cos\varphi} (1.11)$$

Gumbaz og’irligi ta’siridan halqaviy zo’riqish kuchi (1.10)- tenglamadan topamiz.

$$N_2^{(g)} = -q_\varphi R - N_1 = -gR\left[\cos\varphi - \frac{1}{1+\cos\varphi}\right] (1.12)$$

Qor yuki S (3.1,3.2-rasmlar) ni qobiq sirti gorizontal proeksiyasiga nisbatan tekis taqsimlangan deb qarab uning normal tashkil etuvchisi quyidagi formula bilan topiladi.

$$q_\varphi^{(s)} = s\cos^2\varphi (1.13)$$

φ burchak orqali aniqlanadigan gumbaz halqaviy kesimining yuqori qismiga ta’sir etuvchi qorning yig’indi yuki quyidagiga teng:

$$Q_\varphi^{(s)} = \pi R^2 s \sin^2\varphi (1.14)$$

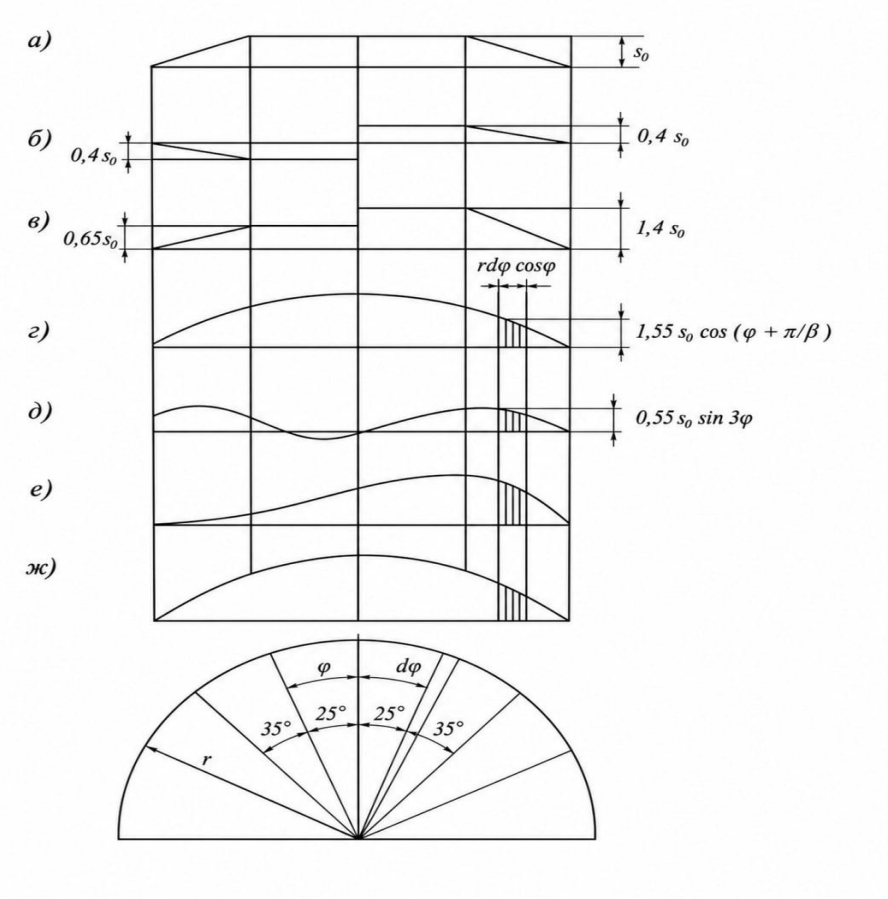
Qor yuki S dan meridional zo’riqish kuchi N_1 (3.3) ga ko’ra istalgan kesimda doimiy qiymatga ega bo’ladi.

$$N_1^{(s)} = -\frac{\pi r^2 s}{2\pi r \sin\varphi} = -\frac{sR}{2} (1.15)$$

Bunda S – gumbazning 1 m gorizontal proeksiyasiga to’g’ri keluvchi qorning hisobiy yuki.

Halqaviy zo’riqish kuchi N_2 (3.9) – tenglamadan topiladi.

$$N_2^{(s)} = -q_\varphi R + \frac{sR}{2} = -\frac{sR}{2}\cos 2\varphi (1.16)$$



1.1-rasm. Gumbazlarni qor yukiga hisoblash tarxi:

а,б,в – QMQ bo’yicha simmetrik, nosimmetrik va bir tomonlama yuklar; г,д,е – hisobiy simmetrik, nosimmetrik va bir tomonlama yuklar; ж – gumbazlar sxemasi.

Qor yuki va gumbaz xususiy og’irligidan sferik gumbaz tayanch halqasida hosil bo’ladigan cho’zuvchi zo’riqish kuchi (17) – tenglamadan aniqlanadi.

Vertikal yuklar ta’siridan meridional va doiraviy zo’riqish kuchlarini sferik gumbazda taqsimlanishi 1.1-rasmda keltirilgan. Qobiq og’irligi va qor yuki ta’sirida meridional zo’riqish kuchi esa o’z ishorasini o’zgartirib, qisilishdan cho’zilishga o’tadi. Doimiy yukdan halqaviy zo’riqish kuchlari nolga teng bo’lgan burchak $51^0 49^{'}$ ni tashkil etadi, qor yukiniki esa – 45^0 ni tashkil qiladi. Halqaviy cho’zuvchi zo’riqish kuchlaridan voz kechish uchun gumbaz balandligi 1/5 diametridan kichik qilib olinishi tavsiya etiladi.

Gumbaz yuqorisida halqa shaklidagi fonar o’rnatilgan bo’lsa va fonarning og’irligi gumbazning og’irligidan 1,5 marta og’ir bo’lmasa, zo’riqish kuchlari yopiq

gumbazdagidek topiladi. Aks holda fonar qirqilgan chiziq bo’ylab ta’sir etuvchi p kuchni e’tiborga olish zarur.

Mutanosib yuklangan yopiq va ochiq sferik gumbazlar uchun N_1, N_2 va N_0 zo’riqish kuchlari ilovadagi tenglamalar orqali aniqlanadi.

Shamol yuki yassi gumbazlar uchun ahamiyatli emas, shunga ko’ra hisobga e’tiborga olmasa ham bo’ladi.

Kam o’chraydigan baland gumbazlar uchun esa shamol yuki [3,4,5] da keltirilgan usullar bilan topiladi. Hisob sxemasida esa shamol oqimi qiya simmetrik holda ta’sir etadi:

$$q_w = q_{w0}\sin\varphi\sin\theta \quad (1.17)$$

bunda, q – gumbaz asosidagi 1 m^2 vertikal yuzaga to’g’ri keluvchi hisobiy yuk;

θ – gorizontal burchak.

Gorizontal burchak 90^0 bo’lganda gumbazda shamoldan maksimal zo’riqish kuchlari vujudga keladi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Abdurashidov K.C. Seysmostoykost jiliz energiticheskix i prostranstvennix pomesheniy. Teoriya i texnologiya betona i jelezabetona.Tashkent.1998. 17-25-b
2. Asqarov B, Nizamov Sh.R, Xobilov B.A. “Temirbeton va tosh konstruksiyalar”, Toshkent, “O’zbekiston” nashriyoti 1997. 358-b.
3. Razzakov S.R. Dinamicheskie parametri sostavnoy obolochki s uchetom dlitelnosti zagrujeniy. // Beton i jelezabeton 1992 N_11. 10-14-b.1973.
4. Razzakov S.R. Povedenie sostavnix obolochek pri visokix urovniyax zagrujeniya c uchetom predistorii nagrujeniya // Beton i jelezabeton-1992.N_9. 22-25-b.
5.Раззоков Н.С. Железобетонные оболочки покрытий уникальных большепролетных зданий в стадии возведения. Ташкент Издательство

«Фан». Академии наук Республика Узбекистан. Монография 2022. 212 с.

6. Ibragimov B.T. Razzakov N.S. Experimental and analytical assessment of the erection state of large-span reinforced concrete shell structures. Vibroengineering PROCEDIA Volume 63 contains papers presented at the 77th International Conference on Vibroengineering in Almaty, Kazakhstan, June 11-12, 2026. The main theme of the Conference is “Advanced Engineering Problems in Mechanical, Civil, Communication, and Autonomous Technologies” 218-227p.