

**MAVZU: SHAMOL GENERATORLARIINING TEMIRBETON
USTUNLARI VA POYDEVORLARINI LIRA-SAPR, ANSYS
DASTURLARIDA TAHLIL QILISH**

Mualliflar:

Magistrant: Jabbarberganov J.R

t.f.d.prof., Asqarov B.A

v.v.b.dots., Toxirov J.O

Talaba: Jabbarberganov M.R

ANNOTATSIYA

Ushbu ilmiy ishda shamol generatorlari konstruksiyasining eng muhim elementlari hisoblangan temirbeton ustun va poydevorlarning turli geometrik shakllari Lira-SAPR va ANSYS dasturlarida chuqur tahlil qilindi hamda natijalar o'zaro taqqoslandi. Tadqiqotning asosiy maqsadi – shamol energetikasi inshootlarida qo'llaniladigan ustun va poydevorning optimal shaklini aniqlash, yuklanishlar ostida ularning deformatsiya va kuchlanish holatini baholash, shuningdek, beton sinfi oshirilganda konstruksiyaning barqarorlik darajasi qanday o'zgarishini ilmiy asosda ko'rsatib berishdir.

Tadqiqot jarayonida ustun va poydevorlarning bir nechta geometrik variantlari – dumaloq, to'rtburchak, beshburchak va olti burchakli shakllar – bir xil yuk qiymatlari, bir xil o'lchamlar va identik beton sinflari asosida modellashtirildi. Har bir variant uchun yuklanishlar shamol turbinasining real sharoitlari, ya'ni generatsiya tizimining massasi, shamol bosimi, burilish momentlari va boshqa eksplikativ omillar asosida berildi. Ularning geometriyasi va yuklanish sharoitlari butunlay bir xil bo'lganligi tufayli, shakllar o'rtasidagi farq faqat konstruktiv samaradorlik nuqtai nazaridan aniqlanishi mumkin bo'ldi.

Hisoblashlar ikki xil dasturiy muhitda – Lira-SAPR (konstruktiv va qurilish statikasi tahlili uchun keng qo'llaniladigan paket) hamda ANSYS (murakkab element tahlili va yuqori aniqlikdagi modellashtirish platformasi)da bajarildi. Natijalarni ikki dastur orasida solishtirish konstruksiya shaklining ta'siri bilan bir qatorda dasturiy muhitlar bergan hisoblash aniqligi, element modeli farqi va tarmoq (mesh) zichligi ta'sirini ham baholash imkonini berdi.

Olingan natijalarga ko'ra, har bir geometrik shaklning o'ziga xos afzallik va kamchiliklari kuzatildi. Dumaloq shakl kuchlanishlarning teng taqsimlanishi bilan ajralib turgan bo'lsa, ko'p burchakli (5 va 6 burchak) ustun va poydevorlar qat'iylilik va deformatsiya ko'rsatkichlari bo'yicha yuqori natijalarni ko'rsatdi. To'rtburchak shakl esa qurilish texnologiyasi nuqtai nazaridan qulay bo'lsa-da, deformatsiya qiymatlari boshqa shakllarga qaraganda nisbatan yuqoriroq qayd etildi. Yakuniy xulosalar asosida

umumiy barqarorlik, deformatsiya minimal darajasi va kuchlanishlarning optimal taqsimlanishi bo'yicha eng maqbul shakl aniqlab olindi.

Loyihalangan va optimal deb topilgan shakl uchun keyingi bosqichda beton sinflari bosqichma-bosqich oshirilib konstruksiyaning deformatsiyaga chidamlilik darajasi tahlil qilindi. Beton mustahkamligi oshgan sari deformatsiya miqdorining izchil kamayishi qayd etildi. Bu esa shamol generatorlari kabi uzoq muddatli, dinamik yuklanishga duch keladigan inshootlar uchun yuqori mustahkamlikdagi beton qo'llashning amaliy afzalligini jonli ravishda tasdiqladi.

Mazkur tadqiqot shamol energetikasi inshootlarining konstruktiv ishonchliligi, poydevor-ustun juftliklarining optimal shaklini tanlash, beton sinfini to'g'ri belgilash va zamonaviy hisoblash dasturlaridan kompleks foydalanish bo'yicha muhim ilmiy-amaliy natijalarni taqdim etadi. Ushbu ish natijalari real loyihalash jarayonida, ayniqsa yirik quvvatli shamol generatorlarining barqarorligini ta'minlashda samarali amaliy qo'llanma bo'la oladi.

АННОТАЦИЯ

В данной научной работе проведено всестороннее исследование железобетонных колонн и фундаментов ветроэнергетических установок различной геометрической формы с использованием программных комплексов Lira-SAPR и ANSYS. Основная цель исследования заключается в определении оптимальной формы конструктивных элементов, оценке их напряженно-деформированного состояния под действием эксплуатационных нагрузок, а также в анализе влияния повышения класса бетона на жесткость и деформационные характеристики конструкции.

В рамках работы были разработаны и смоделированы несколько вариантов геометрии колонн и фундаментов: круглая, прямоугольная, пятиугольная и шестиугольная формы. Для всех вариантов соблюдались одинаковые условия загрузки, одинаковая высота и габаритные параметры, а также единый класс бетона. Нагрузки задавались на основе реальных воздействий, характерных для ветроэнергетических установок, включая массу генераторной системы, воздействие ветровой нагрузки, изгибающие моменты и другие эксплуатационные факторы. Благодаря одинаковым расчетным условиям стало возможным чисто конструктивно оценить эффективность каждой формы.

Расчёты были выполнены в двух инженерных средах: Lira-SAPR, широко применяемой в строительной статике, и ANSYS, обеспечивающей детализированный конечно-элементный анализ. Сопоставление результатов двух программ позволило оценить как влияние геометрической формы, так и различия моделей, точности расчёта, особенностей конечно-элементной сетки и параметров моделирования.

Анализ результатов показал, что каждая геометрическая форма обладает собственной системой преимуществ и ограничений. Круглая форма продемонстрировала наиболее равномерное распределение напряжений, в то время как многоугольные формы — пяти- и шестиугольники — отличались повышенной жесткостью и меньшими деформациями. Прямоугольная форма является технологически удобной, однако по деформационным показателям уступила другим вариантам. На основании комплексного сравнения была определена наиболее оптимальная форма, обеспечивающая минимальные деформации, рациональное распределение напряжений и высокую устойчивость конструкции.

Для выбранной оптимальной формы в последующем этапе исследования было выполнено пошаговое увеличение класса бетона. Результаты расчётов показали устойчивую тенденцию уменьшения деформаций при повышении прочности бетона, что подтверждает важность применения высокопрочных материалов для ветровых установок, работающих под длительным динамическим воздействием.

Полученные в работе результаты имеют существенную научно-практическую значимость. Они могут быть использованы при проектировании опорных конструкций ветроэнергетических установок, выборе рациональной формы колонн и фундаментов, подборе оптимального класса бетона, а также при комплексном применении инженерных расчетных программ. Исследование способствует повышению надежности и долговечности конструкций в ветроэнергетике и может служить практическим руководством для проектировщиков и инженеров-конструкторов.

ANNOTATION

This research presents a comprehensive analysis of reinforced concrete towers and foundations used in wind turbine structures, focusing on the influence of different geometric forms. The study employs two advanced engineering software packages—Lira-SAPR and ANSYS—to carry out comparative structural evaluations. The main objective is to determine the optimal geometric configuration of the tower–foundation system, assess its stress–strain behavior under operational loads, and examine how the gradual increase in concrete strength affects structural stiffness and deformation performance.

Several geometric models of wind turbine towers and foundations were developed and analyzed, including circular, rectangular, pentagonal, and hexagonal shapes. All models were designed with identical dimensions, subjected to the same load conditions, and assigned the same concrete strength class. The applied loads were based on realistic operational scenarios typical for wind energy systems, such as the mass of the generator assembly, wind pressure, bending moments, and other external

influences. This ensured that differences in performance were attributable only to geometry, thus allowing a clean comparative evaluation.

Structural simulations were conducted in both Lira-SAPR—widely used for building statics—and ANSYS, known for its highly detailed finite element modeling capabilities. Comparing results across these two platforms allowed the study not only to evaluate geometric efficiency but also to account for differences in computational precision, element formulation, and mesh characteristics provided by each software environment.

The analysis revealed that each geometric shape offers its own benefits and limitations. The circular form demonstrated the most uniform stress distribution, while the multi-sided geometries—specifically the pentagonal and hexagonal shapes—exhibited superior stiffness and lower deformation levels. The rectangular form, although practical from a construction standpoint, showed comparatively higher deformation values. Based on a comprehensive comparison, the shape that provided the best combination of minimal deformation, optimal stress distribution, and overall structural efficiency was identified as the optimal configuration.

In the subsequent phase of the study, the optimal shape was analyzed under progressively increasing concrete strength classes. The results showed a consistent reduction in deformation as the concrete strength increased, clearly demonstrating the benefits of using high-strength materials for wind turbine structures, which are subjected to continuous and dynamic loading throughout their service life.

The findings of this study have significant scientific and practical value. They can be used in the design of wind turbine support structures, in selecting the most efficient geometric form, in determining the appropriate concrete class, and in applying modern computational tools for structural optimization. The research contributes to enhancing the reliability, durability, and overall performance of wind energy infrastructure and provides a practical reference for structural engineers and designers working in this field.

Kirish

So‘nggi yillarda global miqyosda aholining ko‘payishi, sanoat korxonalarining kengayishi va texnologik jarayonlarning jadal rivojlanishi energiyaga bo‘lgan talabning keskin oshishiga olib kelmoqda. Energiya iste‘moli ortib borayotgan bir paytda, mavjud an‘anaviy energiya manbalari – ko‘mir, neft va tabiiy gaz zaxiralari chegaralangan bo‘lib, ularning ekologik zarar keltirishi ham zamonaviy energiya siyosati uchun muhim muammolardan biridir. Shu sababli qayta tiklanuvchi energiya manbalari, xususan, shamol energetikasi ekologik toza, iqtisodiy samarali va barqaror energiya ishlab chiqarishning asosiy yo‘nalishlaridan biriga aylanmoqda.

O'zbekiston Respublikasida ham mazkur yo'nalishda keng ko'lamli islohotlar olib borilmoqda. Davlat tomonidan qabul qilingan rasmiy hujjatlar – 2017-yilgi Prezident Farmoni, 2019-yildagi texnik reglamentlar, 2020-yilgi Vazirlar Mahkamasining qarori, 2022-yilgi “Green Energy” dasturi va 2023-yilgi shamol energetikasi rivojlantirish strategiyasi – qayta tiklanuvchi energiya tarmoqlarini keng qo'llashga qaratilganini ko'rsatadi. Mamlakatda ACWA Power (500 MW), Zarafshon (521,7 MW), Nukus Wind Power Project (104 MW) kabi yirik shamol elektr stansiyalarining qurilishi bu sohaning strategik ahamiyatga ega ekanini tasdiqlaydi.

Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi — shamol generatorining temirbeton ustuni va poydevor konstruksiyasini turli geometrik shakllarda (dumaloq, to'rtburchak, beshburchak, oltiburchak) modellashtirib, Lira va ANSYS dasturlarida mustahkamlik tahlilini o'tkazish va natijalarni taqqoslashdan iborat.

Annotatsiya

Ushbu maqolada shamol generatorining temirbeton ustuni va poydevorining turli geometrik shakllarda (dumaloq, to'rtburchak, beshburchak va oltiburchak) tahlili va taqqoslanishi Lira-SAPR va ANSYS dasturlari yordamida amalga oshirildi. Hisob-kitoblarda yer deformatsiyasiga uchramaydigan qat'iy taglik sharti qabul qilindi. Tadqiqotda generator va rotor og'irliklari, shamol yuki, beton sinfi kabi parametrlar inobatga olindi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, dumaloq shakl konstruktiv jihatdan eng optimal bo'lib, stresslar minimal va deformatsiya eng past darajada chiqdi. Shuningdek, ANSYS va Lira natijalari o'zaro mosligi tasdiqlandi. Beton sinfi B40 dan B15 gacha pasaytirilganda ham dumaloq shakl barqarorligini saqladi. Maqola natijalari O'zbekiston sharoitida shamol energetikasi loyihalarini rejalashtirish va konstruktorlik yechimlarini tanlashda amaliy ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: shamol generatori, temirbeton ustun, poydevor, Lira-SAPR, ANSYS, statik tahlil, shamol yuki, beton sinfi, barqarorlik, konstruktiv optimallik.

Adabiyotlar sharhi

Shamol energetikasi bo'yicha xalqaro miqyosda keng ilmiy izlanishlar mavjud. Chet el olimlari – Mark Z. Jacobson, Paul D. Lund, Ernst Worrell, James E. Blyth, Adrian T.M.Y. McCall, Richard G.L. Houghton, David J. Considine, Anwar R. Al-Mamun, Klaus S. Lackner kabi tadqiqotchilar shamol energiyasidan foydalanish samaradorligi, shamol turbinalarining optimallashtirilishi, ularning aerodinamik va konstruktorlik xususiyatlari yuzasidan ko'plab ishlar qilgan.

O'zbekistonlik olimlar – Sh.T. Bozorov, B.S. Umarov, D.M. Xo'jaev, Z.S. Rahmatov va T.A. Bazarov tomonidan mamlakat shamol energetikasi salohiyati, iqtisodiy tahlil, konstruktiv yechimlar va texnik standartlar bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilgan.

Ushbu ishda bevosita foydalanilgan asosiy manbalardan biri — A.A. Panfilovning “Методика энергетических и прочностных расчетов ветроэлектрической установки” nomli ilmiy ishi bo‘lib, unda shamol qurilmalarining yuklanishi va konstruktiv elementlarining kuchlanish holati bo‘yicha mukammal metodikalar keltirilgan.

Shamol generatori modeli va geometrik parametrlari

Ushbu tadqiqotda xalqaro amaliyotda keng tarqalgan Gamesa G58 (850 kW) modeliga yaqin parametrlardan foydalanildi. Unga asosan tanlab olingan yaqin qiymatlar asosida hisob kitoblar bajarildi va asosiy o‘lchamlari quyidagicha:

- Qanot uzunligi: 30 m
- Minora balandligi: 80 m
- Poydevor diametri: 20 m
- Poydevor balandligi: 4 m
- Ustun qalinligi: 0,5 m
- Ustun yuqori diametri: 2 m
- Ustun pastki diametri: 4 m

Tadqiqot uchun ustun va poydevor 4 xil shaklda modellashtirildi. Ushbu modellar o‘lchamlari umumiy beton hajmi o‘zgartirilmagan holda tanlandi. Dumaloq shakl uchun olingan o‘lchamlar asosida yuza va hajm hisoblanib, shu umumiy haj va yuza qiymatlari har bir shaklga o‘lcham tanlash uchun asos bo‘ldi. Biz tanlagan shakllarni quyidagi ketma ketlikda ko‘rishingiz mumkin:

1. Dumaloq shakl
2. To‘rtburchak shakl
3. Beshburchak shakl
4. Oltiburchak shakl

Poydevor o‘lchamlari:

Poydevor yuzasi barcha variantlarda bir xil:

$$S = 314 \text{ m}^2$$

- Doira radiusi — 10 m
- To‘rtburchak tomoni — 17,72 m
- Beshburchak tomoni — 13,51 m
- Oltiburchak tomoni — 10,99 m

Ustun o‘lchamlari:

Ustun hajmi ham bir xil bo‘lishi uchun:

Ustunning pastki qismi yuzalarining qiymatlari:

- Dumaloq: $5,5 \text{ m}^2$
- To‘rtburchak: $3,25 \times 2,25 \text{ m}$
- Beshburchak: $2,56 \times 1,83 \text{ m}$

- Oltiburchak: $2,12 \times 1,54$ m

Yuqori qismi yuzalarining qiymatlari:

- Dumaloq: $2,36$ m²
- To'rtburchak: $1,68 \times 0,68$ m
- Beshburchak: $1,31 \times 0,58$ m
- Oltiburchak: $1,074 \times 0,497$ m

$H = 80$ m bo'lgani uchun umumiy hajm tenglashtirilgan. Yuzalar va balandlik bir xil bo'lganligi sababli umumiy hajm ham o'zgarmagan.

Yuklar hisobi

Vertikal tushuvchi yuklar:

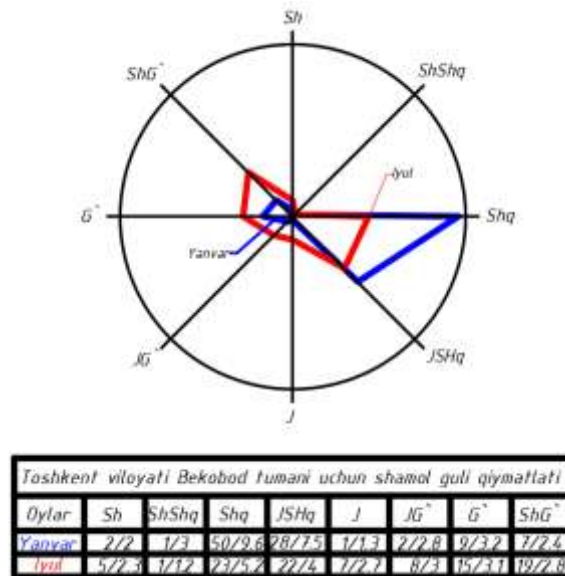
- Qanotlar — 2400 kg
- Rotor va ulanish tizimi — 11500 kg
- Gandola (generator, uzatma, sovitish, boshqaruv tizimi) — 47000 kg

Jami og'irlik: $60,9$ t

Bu og'irlik ustun tepasiga taqsimlangan yuk sifatida berildi.

Shamol yuki hisoblanishi:

Bekobod tumani uchun SHNQ 2.01.01-22 bo'yicha shamol tezligi: $v = 9,6$ m/s



1-rasm. Shamol guli.

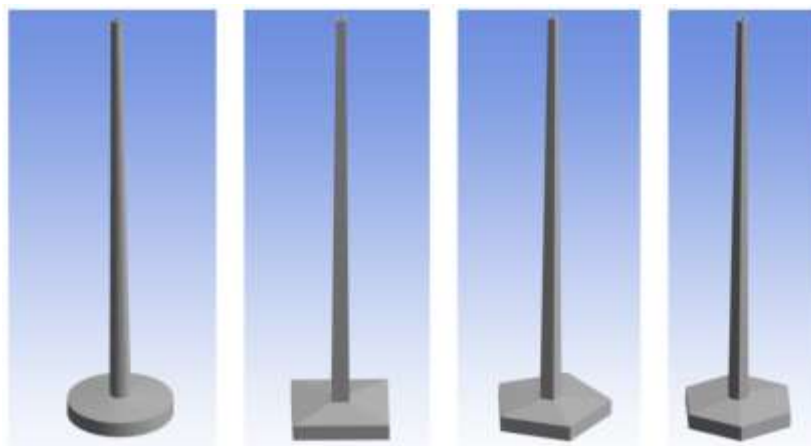
Shamoldan keladigan tasirlarni yuk ko'rinishida hisoblash:

- $R = 30$ m
- $p = 1,225$ kg/m³
- $C_t = 1$
- $A = \pi R^2 = 2827,43$ m²
- $q = 0,5 \cdot p \cdot v^2 = 56,45$ Pa
- $T = qA = 159\,495,6$ N ≈ 16 tonna

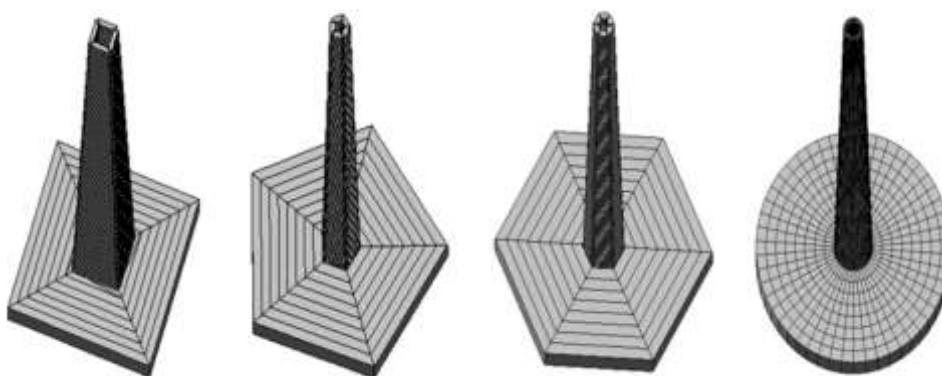
Ushbu yuk minora tepasiga tasir qiluvchi kuch sifatida berildi.

Modellashtirish va hisob shartlari

Tahlil Lira-SAPR va ANSYS Mechanical dasturlarida olib borildi. Yer deformatsiyaga uchramaydigan mutloq qattiq taglik sifatida qabul qilindi.



2-rasm. ANSYS dasturida modellarning 3D ko`rinishi.



3-rasm. LIRA-Sapr dasturida modellarning 3D ko`rinishi.

Hisob shartlari:

- Pastki poydevor qismi – Fixed Support
- Material – beton (avval B40, keyingi bosqichda B15–B40 oraliqda taqqoslash)
- Mesh – avtomatik generatsiya
- Ustun–poydevor aloqalari – qattiq bog‘lanish
- Statik yuklar: og‘irlik + shamol yuki

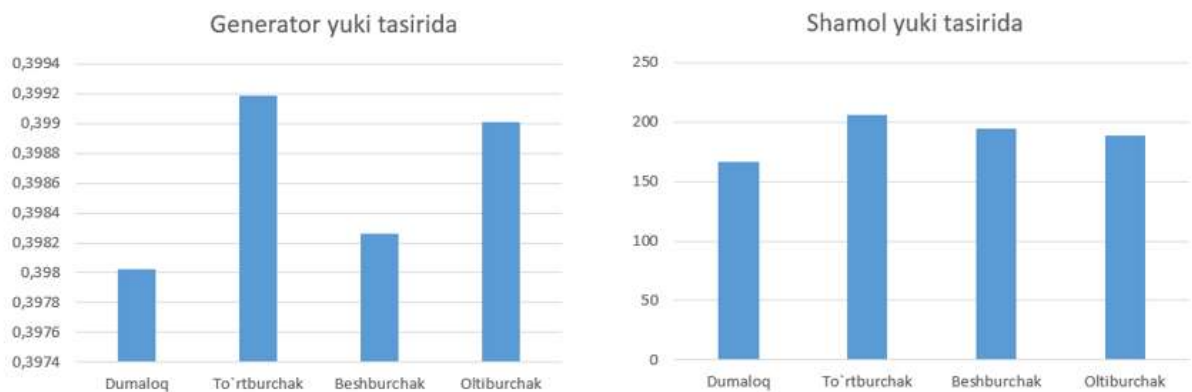
Natijalar

ANSYS dasturi natijalari:

Natijalarda dumaloq shaklning deformatsiya va ekvivalent kuchlanish bo‘yicha eng barqaror variant ekani aniqlandi. Geometriyadagi izotrop tarqalish stresslarni bir maromda taqsimlanishiga olib keldi.

Faqat generatorning og'irligi tasiridagi deformatsiya (mm)		Generator og'irligi va shamol yuki tasiridagi deformatsiya (mm)	
Shakllar	Total deformation	Shakllar	Total deformation
Dumaloq	0,39802	Dumaloq	166,68
To'rtburchak	0,39919	To'rtburchak	206,09
Beshburchak	0,39826	Beshburchak	194,42
Oltiburchak	0,39901	Oltiburchak	188,19

4-rasm. ANSYS dasturidan olingan natijalar.



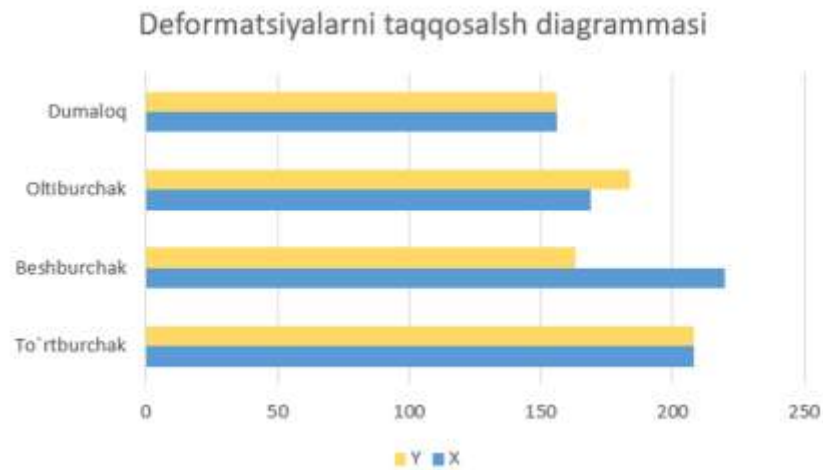
5-rasm. ANSYS dasturidan olingan natijalarning grafik ko'rinishi.

Lira-SAPR natijalari:

Lira-Sapr dasturida olingan natijalar ANSYS bilan o'zaro yaqinligini tasdiqladi.

Toshli gurunt asosida qurilgan generatorlarning deformatsiya qiymatlari (mm)		
Shakllar	X	Y
To'rtburchak	208	208
Beshburchak	220	163
Oltiburchak	169	184
Dumaloq	156	156

6-rasm. Lira-Sapr dasturidan olingan natijalar.



7-rasm. Lira-Sapr dasturidan olingan natijalarning grafik ko'rinishi.

Beton markasi bo'yicha solishtirish (B40 → B15):

Beton sinfi pasaytirilganda:

- deformatsiya oshdi,
- ekvivalent kuchlanish ortdi,
- xavfsizlik zaxirasi kamaydi.

Ammo dumaloq shaklda hatto B20 markasida ham konstruktsiya yetarlicha bardoshli bo'lib qoldi.

Beton sinfi o'zgarganda X va Y o'qlaridagi eng katta deformatsiya qiymatlari		
Beton sinfi	Armatura diametri (mm)	Deformatsiya miqdori (mm)
B40	36	141
B35	36	147
B30	36	156
B25	36	170
B20	36	189
B15	36	222

8-rasm. Lira-Sapr dasturida dumaloq shakl uchun beton sinflarini o'zgartirib hisoblash natijasida olingan qiymatlar jadvali.



9-rasm. Lira-Sapr dasturida dumaloq shakl uchun beton sinflarini o'zgartirib hisoblash natijasida olingan qiymatlar jadvalining grafik ko'rinishi.

Total deformation (mm)		
Shakllar	ANSYS	Lira-Sapr
Dumaloq	166,68	156
To'rtburchak	206,09	208
Beshburchak	194,42	220
Oltiburchak	188,19	184

10-rasm. ANSYS va Lira-Sapr dasturlaridan olingan qiymatlarni taqqoslash jadvali.

Xulosa

Ushbu tadqiqot natijalariga ko'ra shamol generatorining temirbeton ustuni va poydevori turli geometrik shakllarda tahlil qilindi va Lira hamda ANSYS dasturlari orasida o'zaro mos keluvchi natijalar olindi.

Asosiy xulosalar:

1. Dumaloq shakl konstruktiv jihatdan eng optimal variant bo'lib, kuchlanishlar minimal, deformatsiya eng kam chiqdi.
2. To'rtburchak, beshburchak va oltiburchak shakllarda stresslar notekis taqsimlandi va barqarorlik pastroq bo'ldi.
3. ANSYS va Lira-SAPR natijalari orasidagi farq minimal bo'lib, metodikaning to'g'riligi tasdiqlandi.
4. Beton sinfini B40 dan B15 gacha kamaytirish deformatsiya va kuchlanishning ortishiga olib keladi.
5. Dumaloq shakl hatto past beton markalarida ham nisbatan barqaror bo'lib qoldi, bu uning konstruktiv ustunligini ko'rsatadi.

Mazkur tadqiqot shamol generatorlari uchun optimal ustun va poydevor shaklini tanlashda, shuningdek, O'zbekiston sharoitida shamol energetikasini rivojlantirishda muhim amaliy ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Farmoni (2017);
2. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining qarori (2020);
3. Shamol energetikasi bo'yicha strategik reja (2023);
4. International Electrotechnical Commission (IEC);
5. American Wind Energy Association (AWEA);
6. "Wind Energy Handbook" by Tony Burton et al;
7. Siemens Gamesa, Vestas, GE Renewable Energy;