G‘O‘ZA POYASINING MEXANIK-BIOFIZIK XUSUSIYATLARI VA ULARNING TORTIB OLISH JARAYONIDAGI SIQISH MEXANIZMLARIGA TA’SIRI

*NamDTU, mustaqil tadqiqotchi **J.X.Usmonov***

ANNOTATSIYA (o‘zbek tilida)

G‘o‘za poyasini butun holda yulib olishda uchraydigan ikkita asosiy nosozlik — poyaning sinishi va po‘stlog‘ining yog‘ochlik atrofida sirpanib ketishi (PPSAX) — poyaning ichki mexanik tuzilishi bilan chambarchas bog‘liq. Ushbu maqolada g‘o‘za poyasi, uning ksilema va floema qatlamlarining cho‘zilish, siqilish va egilish elastiklik modullari, kompozit material nazariyasi asosida tahlil qilingan; shuningdek qisuvchi ishchi organlar bilan o‘zaro ta’sir jarayonidagi elastik to‘qnashuv va sodda nur nazariyalari asosida qurilgan matematik modellar ko‘rib chiqilgan. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, poyaning o‘qi bo‘yicha elastiklik moduli radial yo‘nalishdagidan taxminan 34 marta yuqori (mos ravishda 3181,79 MPa va 91,04 MPa), ksilema esa siqilish mustahkamligining 96 foizini ta’minlaydi. Siqilgandan so‘ng poyaning cho‘zilish mustahkamligi 23,95–33,25 MPa dan 17,93–23,51 MPa gacha kamayadi, bu esa ishchi organning maksimal ruxsat etilgan tortish kuchini belgilashda asosiy mezon hisoblanadi. Moslashuvchan materiallardan foydalanish poyaning egilish deformatsiyasini kamaytirib, sinish darajasini sezilarli pasaytirishi aniqlangan. Natijalar g‘o‘za poyasini yulish mashinalari ishchi organlarini biomexanik jihatdan asoslangan holda loyihalash uchun ilmiy-amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: g‘o‘za poyasi; elastiklik moduli; ksilema; floema; kompozit material; poya sinishi; deformatsiya; biomexanika.

АННОТАЦИЯ (на русском языке)

Два основных вида отказов при извлечении стебля хлопчатника целиком — излом стебля и соскальзывание коры (флоэмы) относительно древесины (ксилемы) вдоль оси (PPSAX) — тесно связаны с внутренней механической структурой стебля.

В настоящей статье с позиций теории композиционных материалов проанализированы модули упругости стебля хлопчатника, а также его тканей — ксилемы и флоэмы — при растяжении, сжатии и изгибе; рассмотрены математические модели, построенные на основе теории упругого соударения и теории простой балки, описывающие взаимодействие стебля с зажимными рабочими органами. Установлено, что осевой (аксиальный) модуль упругости стебля примерно в 34 раза превышает радиальный модуль (3181,79 МПа против 91,04 МПа соответственно), при этом ксилема обеспечивает 96% сопротивления сжатию. После сжатия предел прочности стебля на растяжение снижается с 23,95–33,25 МПа до 17,93–23,51 МПа, что служит определяющим критерием при установлении максимально допустимого тягового усилия рабочего органа. Показано, что применение гибких (эластичных) материалов снижает изгибную деформацию стебля и, соответственно, существенно уменьшает долю поломки. Результаты работы формируют научно-практическую основу для биомеханически обоснованного проектирования рабочих органов машин для извлечения стеблей хлопчатника.

Ключевые слова: стебель хлопчатника; модуль упругости; ксилема; флоэма; композиционный материал; излом стебля; деформация; биомеханика.

ABSTRACT (in English)

Two principal failure modes encountered during whole-plant cotton stalk extraction — fractured cotton stalk (FCS) and peeled phloem sliding along the xylem (PPSAX) — are closely tied to the internal mechanical structure of the stalk. This paper analyzes, from the standpoint of composite-material theory, the tensile, compressive, and bending elastic moduli of the cotton stalk and its constituent tissues, the xylem and phloem, and reviews mathematical models built on elastic-collision and simple-beam theory that describe the interaction between the stalk and clamping working components. The evidence shows that the axial modulus of elasticity of the stalk is roughly 34 times greater than the radial modulus (3181.79 MPa versus 91.04 MPa, respectively), while the xylem accounts for

96% of the stalk's compressive strength. After compression, the tensile strength of the stalk decreases from 23.95–33.25 MPa to 17.93–23.51 MPa, a finding that serves as the governing criterion for setting the maximum permissible pulling force of a working component. The use of flexible (elastic) materials is shown to reduce the bending deflection of the stalk and, consequently, to substantially lower the breakage rate. These results provide a science-based foundation for the biomechanically informed design of working components in cotton-stalk pulling machinery.

Keywords: cotton stalk; modulus of elasticity; xylem; phloem; composite material; stalk fracture; deformation; biomechanics.

1. KIRISH

G‘o‘za poyasini butun holda yulib olish jarayonining samaradorligi, birinchi navbatda, ishchi organ tomonidan qo‘llaniladigan kuchning poyaning tabiiy mexanik chidamliligiga mosligi bilan belgilanadi. Amaliyotda ikkita tipik nosozlik holati kuzatiladi: poyaning qisilgan joyda sinib, ildiz qismi tuproqda qolib ketishi va po‘stlog‘ qatlamining ichki yog‘ochlik atrofida sirpanib tushishi [1]. Ikkala holat ham poyaning ko‘p qatlamli, anizotrop (yo‘nalishga qarab xossalari farqlanuvchi) tuzilishi bilan bevosita bog‘liq bo‘lib, uni faqat tashqi kuch-tezlik parametrlarini o‘zgartirish orqali emas, balki poyaning ichki biomexanik xususiyatlarini hisobga olgan holda bartaraf etish mumkin.

So‘nggi yillarda olib borilgan tadqiqotlar g‘o‘za poyasini kompozit material sifatida ko‘rib chiqishga asoslangan: poya markazida yumshoq o‘zak, uni o‘rab turuvchi qattiq ksilema va eng tashqi qatlamda nisbatan yumshoq, tolali floema joylashgan [1]. Bunday ko‘p qatlamli tuzilish poyaning aksial (uzunlik bo‘yicha) va radial (ko‘ndalang) yo‘nalishlardagi mustahkamlik va elastiklik ko‘rsatkichlarining keskin farq qilishiga olib keladi. Shu bilan birga, qisuvchi ishchi organ bilan o‘zaro ta’sirlashuv jarayonini tavsiflash uchun elastik to‘qnashuv nazariyasi va sodda nur egilishi nazariyasini birlashtirgan matematik modellar taklif etilgan, ular poyaning tortib olinishi, o‘tkazib yuborilishi va sinishi holatlarini nazariy jihatdan izohlash imkonini beradi [2,3]. Ushbu maqolaning

maqsadi — g‘o‘za poyasining mexanik xususiyatlariga oid empirik ma’lumotlarni tizimlashtirish va ularning amaliy loyihalash jarayoniga ta’sirini yoritishdan iborat.

2. TADQIQOT MATERIALLARI VA METODLARI

G‘o‘za poyasining mexanik xususiyatlarini o‘rganishda quyidagi yondashuvlar qo‘llanilgan: (1) poya, uning ksilema va floema qismlarini alohida ajratib olib, ularning cho‘zilish, radial siqilish va uch nuqtali egilish sinovlaridan o‘tkazish (universal sinov mashinasi yordamida, yuklash tezligi 5 mm/daq) va olingan kuch-deformatsiya egri chizig‘idan elastiklik modulini hisoblash; natijalar kompozit materiallar nazariyasidagi qoidalar (masalan, aralashma qoidasi — rule of mixtures) yordamida tekshirilgan [1]. (2) Poyani dastlab 1000 N kuch bilan tez siqib, so‘ngra cho‘zish sinovidan o‘tkazish orqali siqilishdan keyingi qoldiq cho‘zilish mustahkamligini aniqlash, bu usul qisuvchi g‘altaklarning maksimal ruxsat etilgan bosim kuchini belgilashda asosiy mezon sifatida qo‘llanilgan [4]. (3) Qisuvchi tish yoki g‘altak bilan poya orasidagi to‘qnashuvni elastik to‘qnashuv nazariyasi asosida modellashtirish, bunda poyaning deformatsiyasi va tiklanish bosqichlari alohida ko‘rib chiqilgan, poya-tish kontakti esa sodda nur nazariyasi yordamida tavsiflangan [3]. (4) Moslashuvchan (elastik) material bilan qattiq g‘altak birikmasi ta’sirida poya kesimidagi egilish momenti va siljish miqdorini nazariy hisoblash [2].

3. NATIJALAR VA MUHOKAMA

Ko‘p komponentli tahlil natijalariga ko‘ra, g‘o‘za poyasining aksial cho‘zilish elastiklik moduli 3181,79 MPa, radial siqilish moduli esa atigi 91,04 MPa ni tashkil etadi, ya’ni aksial modul radial modulldan taxminan 34 marta yuqori — bu poyaning ko‘ndalang anizotropiyaga ega kompozit material ekanligini tasdiqlaydi. Ksilemaning aksial va radial modullari mos ravishda 1093,91 MPa va 83,77 MPa, floemaniki esa 249,89 MPa va 77,01 MPa ni tashkil qiladi, ya’ni ksilema poyaning asosiy «skelet» vazifasini bajarib, uning siqilish mustahkamligining 96 foizini ta’minlaydi [1]. Kimyoviy tarkib tahlili shuni ko‘rsatadiki, poya, ksilema va floemadagi lignin/sellyuloza nisbati mos ravishda 0,42, 0,45

va 0,51 ga teng bo‘lib, bu nisbat qanchalik yuqori bo‘lsa, to‘qima shunchalik «qattiqroq» emas, balki «egiluvchanroq» bo‘lishini bildiradi — shu sababli cho‘zish sinovlarida avval ksilema uziladi, floema esa uzoq vaqt shikastlanmasdan qoladi.

Siqilish sinovlari natijasida aniqlanganki, tabiiy holatdagi poyaning cho‘zilish mustahkamligi 23,95–33,25 MPa oralig‘ida bo‘lsa, uni tezkor ravishda 1000 N kuch bilan siqilgandan so‘ng bu ko‘rsatkich 17,93–23,51 MPa gacha kamayadi [4]. Amaliy loyihalashda eng konservativ (minimal) qiymat — 17,93 MPa — asosiy mezon sifatida qabul qilinib, undan poyaning maksimal ruxsat etilgan cho‘zilish kuchi (≈994,60 N) hisoblab chiqilgan; qisuvchi g‘altaklarning bosim kuchi shu chegaradan oshmasligi kerak, aks holda poya sinish ehtimoli keskin ortadi. Shu bilan birga, radial siqilish mustahkamligi aksial cho‘zilish mustahkamligidan sezilarli darajada past bo‘lganligi sababli, qisuvchi mexanizmni loyihalashda asosiy e’tibor aksial (bo‘ylama) tortishga qaratilishi, radial bosim kuchi esa zarur minimal darajada ushlanishi tavsiya etiladi [1].

Elastik to‘qnashuv nazariyasiga asoslangan modellashtirish shuni ko‘rsatadiki, qisuvchi tish plastinka bilan poya orasidagi dastlabki to‘qnashuv kuchi (Fh1, Fh2) poyaning tishga urilish tezligiga bog‘liq bo‘lib, tezlik ortishi bilan deformatsiya va qaytaruvchi kuch ham kuchayadi, biroq bu kuch poyaning chidamlilik chegarasidan oshib ketsa, floema uzilishi, poyani o‘tkazib yuborish yoki hatto sinish yuz beradi. Sodda nur nazariyasi asosida olingan hisob-kitoblarga ko‘ra, poya-tish kontakt nuqtasining yerdan balandligi (a) qanchalik past bo‘lsa, bir xil deformatsiya miqdorida tish tomonidan hosil qilinadigan kuch (P) shunchalik katta bo‘ladi, bu esa amaliyotda pastroq ushlash balandligining nazariy jihatdan qulayligini, ammo amalda tuproqqa yaqinlashish tufayli konstruktiv cheklovlarga duch kelishini ko‘rsatadi [3].

Moslashuvchan materiallar (masalan, kauchuk yoki elastik tasma) qo‘llanilganda, poyaning egilish deformatsiyasining bir qismi elastik materialga «uzatiladi», natijada poya-ishchi organ kontakt yuzasining deformatsiya uzunligi qisqaradi va egilish siljishi kamayadi; bu, o‘z navbatida, poya tolalarining egiluvchanligini saqlab qolib, sinish ehtimolini kamaytiradi. Tajriba natijalariga ko‘ra, ikki qatlamli moslashuvchan tasmali

konstruksiyada bitta qattiq g‘altak — bitta tasmali konstruksiyaga nisbatan sinish darajasi 5,65–6,30 foiz punktga past bo‘lgan [2]. Bu natija nazariy hisob-kitoblar bilan to‘liq mos kelib, elastik materiallarning deformatsiyani «bufer» sifatida yutish xususiyatini tasdiqlaydi.

4. XULOSA

G‘o‘za poyasining mexanik-biofizik xususiyatlarini tahlil qilish natijasida quyidagi xulosalarga kelindi: birinchidan, poya ko‘ndalang anizotropiyaga ega kompozit material bo‘lib, aksial mustahkamligi radial mustahkamlikdan o‘nlab marta yuqori, shu sababli ishchi organning asosiy tortish kuchi aksial yo‘nalishda qo‘llanilishi lozim; ikkinchidan, ksilema poyaning asosiy yuk ko‘taruvchi elementi bo‘lib, uning siqilishdan shikastlanishi poya sinishining bevosita sababi hisoblanadi, shu bois qisuvchi bosim kuchi siqilgandan keyingi qoldiq cho‘zilish mustahkamligidan (≈994,60 N) past darajada ushlab turilishi shart; uchinchidan, moslashuvchan materiallardan foydalanish poyaning egilish deformatsiyasini kamaytirib, sinish darajasini sezilarli pasaytiradi. Ushbu xulosalar g‘o‘za poyasini yulish mashinalarining qisuvchi ishchi organlarini loyihalashda faqat mexanik-dinamik parametrlarni emas, balki poyaning biomexanik xususiyatlarini ham hisobga olishning zarurligini ko‘rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Zhao, W.; Xie, J.; Wang, Z.; Gao, Q.; Chen, M. Investigation of mechanical properties of cotton stalk based on multi-component analyses. International Agrophysics, 2022, 36, 257–267.

2. Cai, J.L.; Zhang, J.X.; Guo, G.; Gao, Z.B.; Wang, X.X. Improved design and test of flexible cotton stalks puller. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2023, 16(3), 78–84.

3. Wang, Z.; Zhao, W.; Fu, J.; Xie, H.; Zhang, Y.; Chen, M. V-Shaped Toothed Roller Cotton Stalk Puller: Numerical Modeling and Field-Test Validation. Agriculture, 2023, 13, 1157.

4. Zhang, J.; Li, J.; Wang, H.; Ge, J.; Zhang, Z.; Sun, H. Design and Experiment of the Clamping Mechanism for a Horizontal Shaft Counter-Rolling Cotton Stalk Pulling Machine. Agriculture, 2025, 15, 2137.