ARGO — научный журнал

ARGO SCIENTIFIC JOURNAL

№ 5

Том 2026 · 2026

e-ISSN: в процессе регистрации · Ташкент · Открытый доступ · CC BY 4.0

Выходные данные

ARGO — научный журнал
ARGO Scientific Journal

Электронный научный журнал открытого доступа. Выходит 6 раз в год.
Том 2026, № 5 (сентябрь–октябрь 2026).

e-ISSN: в процессе регистрации
Издатель: robutpit.com, Ташкент
Сайт: https://www.robutpit.com/journal/
Email редакции: gtnz1071980@gmail.com

Все статьи прошли двойное слепое рецензирование и распространяются по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

В выпуске статей: 5.

Редакционная коллегия

Dustova Firuza Xamroyevna, PhD texnicheskix nauk; Tashkentskiy institut tekstilnoy i lyogkoy promishlennosti

Narmatov Elmurod Avazovich, texnika fanlari falsafa doktori, (PhD); Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti

Rosulov Ruzimurad Xasanovich — Член редколегии, доктор технических наук; Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

Tuguzbayeva Robiya Berdimuratovna, Texnika fanlari falsafa doktori (PhD); Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti

Абдугаффаров Хусниддин Журабекович — Член редк, доктор технических наук доцент; Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

Содержание / Contents

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

Назаров Жахонгир, Росулов Рузимурод Хасанович
TO‘RLI YUZADA TESHIKLAR GEOMETRIYASINING PAXTA XOMASHYOSINI MAYDA IFLOSLIKLARDAN TOZALASHGA TA’SIRINI BAHOLASH **4**

Росулов Рузимурод Хасанович, Назаров Жахонгир
PAXTA XOMASHYOSI QATLAMINING TO‘RLI SIRTNI QISMAN BERKITISHI VA TOZALASH SAMARADORLIGINI BAHOLASH **9**

Бутовский Петр Михайлович
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ БАРАБАНА НА КИНЕТИКУ СУШКИ ХЛОПКА-СЫРЦА
INFLUENCE OF DRYING AGENT TEMPERATURE AND DRUM ROTATION SPEED ON THE DRYING KINETICS OF RAW COTTON **13**

Абдугаффаров Хусниддин Журабекович
INFLUENCE OF COTTON SEED POLLUTION ON LINT QUALITY **19**

Тугузбаева Робия Бердимуратовна, Хакимов Шеркул Шергозиевич
РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МОЙКИ ШЕРСТИ НА ОСНОВЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МАЛОГАБАРИТНОЙ УСТАНОВКИ
RESOURCE-SAVING WOOL SCOURING TECHNOLOGY BASED ON AN IMPROVED SMALL-SCALE MACHINE **27**

CC BY 4.0

УДК 677.021

TO‘RLI YUZADA TESHIKLAR GEOMETRIYASINING PAXTA XOMASHYOSINI MAYDA IFLOSLIKLARDAN TOZALASHGA TA’SIRINI BAHOLASH

Назаров Жахонгир, Росулов Рузимурод Хасанович

Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti

Назаров Жахонгир: elmurodnarmatov183@gmail.com

Росулов Рузимурод Хасанович: elmurodnarmatov183@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada paxta xomashyosini qoziqli baraban va to‘rli ishchi sirt yordamida tozalashda teshiklarning geometrik yo‘nalishi alohida tadqiqot obyekti sifatida qaraladi. Asosiy e’tibor teshik uzunligi, eni, qadam oralig‘i va ularning baraban o‘qiga nisbatan og‘ish burchagi o‘zgarishining ifloslik zarrachalarini to‘r orqali o‘tkazish imkoniyatiga ta’sirini aniqlashga qaratilgan. Manba materiallaridagi geometrik model qayta talqin qilinib, samarali kenglik va o‘q bo‘ylab samarali o‘lchamning bir-biriga bog‘liq o‘zgarishi ko‘rsatildi. Hisoblashlar teshik yo‘nalishini o‘zgartirish orqali mexanik ta’sirni keskin kuchaytirmasdan tozalash zonasining geometrik imkoniyatlarini oshirish mumkinligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: paxta xomashyosi, qoziqli baraban, to‘rli yuza, teshik geometriyasi, og‘ish burchagi, samarali kenglik, mayda ifloslik, matematik model.

Аннотация. В данной статье в качестве отдельного объекта исследования рассматривается геометрическое направление отверстий при очистке хлопкового сырья с помощью колкового барабана и сетчатой рабочей поверхности. Основное внимание уделено определению влияния изменения длины, ширины, шага отверстий и угла их наклона по отношению к оси барабана на способность пропускания сорных частиц через сетку. Геометрическая модель в исходных материалах переосмыслена, и показана взаимосвязанная зависимость эффективной ширины и эффективного размера вдоль оси. Расчеты показывают, что путем изменения направления отверстий можно увеличить геометрические возможности зоны очистки без резкого усиления механического воздействия.

Ключевые слова: хлопковое сырье, колковый барабан, сетчатая поверхность, геометрия отверстий, угол наклона, эффективная ширина, мелкий сор, математическая модель

Abstract. In this article, the geometric orientation of holes in cleaning raw cotton using a peg drum and a mesh working surface is considered as a separate research object. The main focus is on determining the effect of changes in hole length, width, pitch, and their deviation angle relative to the drum axis on the ability to pass trash particles through the mesh. The geometric model from the source materials is reinterpreted, and the interdependent variation of the effective width and the effective size along the axis is demonstrated. Calculations show that by changing the orientation of the holes, it is possible to enhance the geometric capacity of the cleaning zone without sharply increasing the mechanical impact.

Keywords: raw cotton, peg drum, mesh surface, hole geometry, deviation angle, effective width, fine trash, mathematical model

CC BY 4.0

Для цитирования: Назаров Ж., Росулов Р. Х. TO‘RLI YUZADA TESHIKLAR GEOMETRIYASINING PAXTA XOMASHYOSINI MAYDA IFLOSLIKLARDAN TOZALASHGA TA’SIRINI BAHOLASH // ARGO — научный журнал. — 2026. — Т. 2026, № 5. — С. 4–8. — URL: https://www.robutpit.com/journal/article/4-torli-yuzada-teshiklar-geometriyasining-paxta-xomashyosini-mayda-iflosliklardan/.

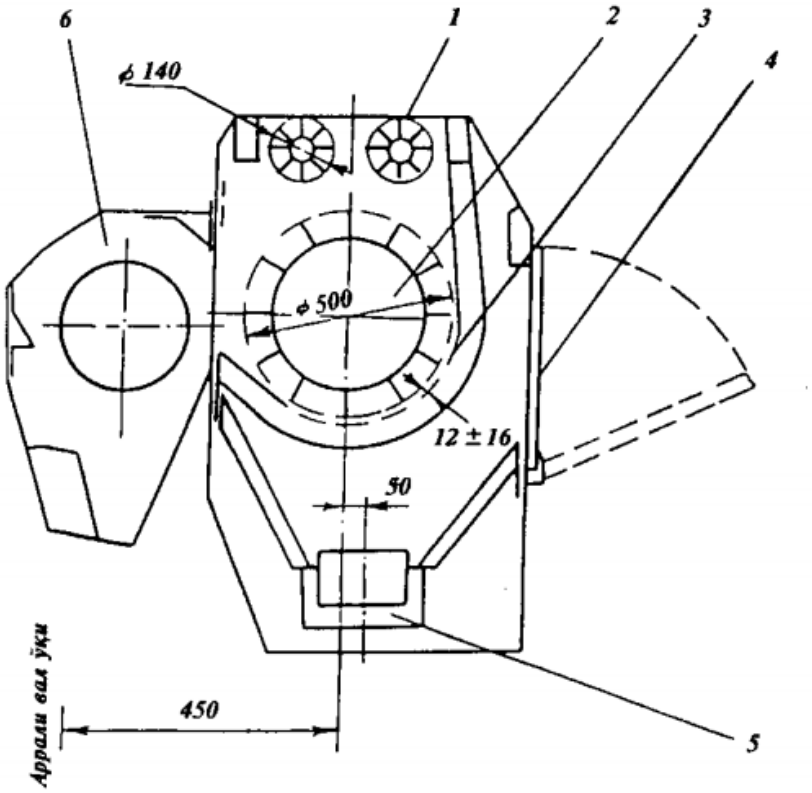
For citation: Nazarov, J., & Rosulov, R. x. (2026). TO‘RLI YUZADA TESHIKLAR GEOMETRIYASINING PAXTA XOMASHYOSINI MAYDA IFLOSLIKLARDAN TOZALASHGA TA’SIRINI BAHOLASH. ARGO Scientific Journal, 2026(5), 4–8. https://www.robutpit.com/journal/article/4-torli-yuzada-teshiklar-geometriyasining-paxta-xomashyosini-mayda-iflosliklardan/

Поступила: 29.09.2026 · Одобрена: 29.09.2026

© Авторы, 2026. Статья распространяется по лицензии CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Kirish. Paxta xomashyosini dastlabki qayta ishlashda mayda mineral va organik aralashmalarni ajratish texnologik liniyaning keyingi bosqichlariga tushadigan yuklamani kamaytiradi. Ta’minlagich va tozalagichlarda qoziqli baraban xomashyo qatlamini ushlab, uni to‘rli sirt bo‘ylab harakatlantiradi. Bunda ajralishi kerak bo‘lgan zarrachalarning to‘r teshiklari bilan uchrashish sharti faqat zarracha o‘lchamiga emas, balki teshikning fazoviy joylashuviga ham bog‘liq.

Manba maqolada to‘rli yuza teshiklarining baraban o‘qiga nisbatan og‘ish burchagi kam o‘rganilgan parametr sifatida ko‘rsatilgan. Mazkur ishda aynan shu parametrga yangicha nuqtai nazardan yondashilib, teshikning uzun tomoni xomashyo harakat trayektoriyasiga qanchalik moslashishi uning samarali geometrik o‘lchamini belgilashi asos qilib olinadi. Arrali jinning PD ta’minlagichi quydagi 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Arrali jinning PD ta’minlagichi.
1-ta’minlash valiklari; 2 – qoziqli baraban; 3-to’rli yuza; 4-orqa qopqoq; 5-ifloslanish shneki; 5-tarnov.

Tadqiqotning geometrik modeli. Ko‘rib chiqilayotgan qurilmada baraban qobig‘i diametri 300 mm, qoziqlar balandligi 50 mm, qoziq diametri 12 mm va qoziq uchlari radiusi 200 mm deb qabul qilingan. To‘r bilan qoziq uchi orasidagi rostlanadigan tirqish 3–15 mm oralig‘ida berilgan. To‘r teshigining boshlang‘ich geometrik o‘lchamlari 50×6 mm, aylana yo‘nalishidagi qadam esa 12–20 mm sifatida keltirilgan. Og‘ish burchagi 0–45° diapazonda tahlil qilingan.

$R_t = Rq + \delta = 200 + \delta$, mm

bu yerda R_t — to‘rli sirt radiusi, Rq — qoziq uchigacha bo‘lgan radius, δ — qoziq bilan to‘r orasidagi tirqish.

Baraban aylanish chastotasi n bilan uning burchak tezligi orasidagi bog‘lanish quyidagicha yoziladi:

$\omega = \pi n/30$; $vq = \omega Rq$

To‘r sirtiga yaqinlashayotgan zarracha uchun aylana yo‘nalishidagi tezlik asosiy tashkil etuvchi hisoblanadi. Shu sababli teshikning xomashyo harakat yo‘nalishidagi proyeksiyasi tozalash jarayonining geometrik samaradorligini tavsiflovchi muhim ko‘rsatkich sifatida olinadi.

Teshik og‘ishining samarali o‘lchamga ta’siri.

Teshik 50×6 mm bo‘lib, uning uzun o‘qi baraban o‘qiga nisbatan θ burchakka burilganda xomashyo harakatiga mos keladigan proyeksiya quyidagicha ifodalanadi:

$$W_eff(\theta) = Lsin\theta + bcos\theta$$

L = 50 mm va b = 6 mm bo‘lganda θ = 0° uchun $W_e$ff = 6 mm. Burchak oshirilishi bilan teshikning uzun tomoni harakat yo‘nalishida ko‘proq ko‘rinadi va samarali kenglik ortadi. Hisoblash jadvalidagi qiymatlar quyidagi tendensiyani beradi:

θ, °	**$W_e$ff, mm**	**$W_e$ff/b**	**$H_e$ff, mm**
0	6.0	1.0	50.0
10	14.6	2.43	49.2
15	18.7	3.12	48.6
20	22.8	3.79	47.1
30	30.2	5.03	43.3
45	39.6	6.6	39.6

Jadvaldan ko‘rinadiki, 10–30° oralig‘ida samarali kenglik juda tez ortadi, shu bilan birga teshikning o‘q bo‘ylab proyeksiyasi keskin yo‘qolib ketmaydi. Demak, teshikni ma’lum miqdorda qiyalatish konstruksiyaning barcha funksional xususiyatlarini birdaniga yomonlashtirmasdan geometrik uchrashuv imkoniyatini yaxshilashi mumkin.

$$H_eff(\theta) = Lcos\theta + bsin\theta$$

Zarrachalarning o‘tish imkoniyatini baholash.

Teshikning aylana yo‘nalishidagi qadamini tx deb belgilab, zarracha trayektoriyasining teshik proyeksiyasini kesib o‘tish ehtimolini soddalashtirilgan holda quyidagicha baholash mumkin:

$$P_vstr(\theta) = W_eff(\theta)/tx$$

CC BY 4.0

Biroq faqat geometrik kesishish yetarli emas. Zarracha teshikning tor tomoniga sig‘ishi lozim. Manba ma’lumotlarida mayda iflosliklar uchun xarakterli median o‘lcham taxminan 3,5 mm, logarifmik taqsimot parametri esa σln ≈ 0,55 deb berilgan. 6 mm teshik eni uchun geometrik jihatdan o‘tishga qodir zarrachalar ulushi taxminan 77% deb baholangan.

Shu asosda amaliy tozalash ko‘rsatkichi uchta omilni birgalikda hisobga olishi kerak: teshik bilan uchrashish, zarracha o‘lchamining mosligi va paxta qatlamining teshikni yopib qo‘yish darajasi.

Muhandislik nuqtai nazaridan muhokama.

Teshik yo‘nalishini o‘zgartirishning muhim afzalligi shundaki, tozalashni faqat baraban tezligini oshirish orqali jadallashtirish talab qilinmaydi. Tezlikning ortishi markazdan qochma kuchni ham kuchaytirib, paxta komponentlariga mexanik yuklamani oshirishi mumkin. Geometrik parametrni o‘zgartirish esa jarayonning kontakt shartlarini boshqarishning nisbatan yumshoq usulidir.

- 10–30° diapazonida W_eff sezilarli ortadi va H_eff hali ham yetarlicha katta qiymatda saqlanadi.
- Teshik qadamini tanlashda teshikning samarali kengligi bilan birga to‘rning umumiy ochiq yuzasi ham hisobga olinishi kerak.
- To‘r bilan qoziq orasidagi δ tirqish teshik geometriyasi bilan birgalikda optimallashtirilishi maqsadga muvofiq.
- Teshik shakli va og‘ish burchagini tajriba bilan tekshirish orqali nazariy modelning amaliy aniqligi oshirilishi mumkin.

Xulosa. Tadqiqot natijalari to‘rli sirt teshiklarining yo‘nalishi paxta xomashyosini mayda iflosliklardan ajratish jarayonining muhim konstruktiv omili ekanini ko‘rsatadi. 50×6 mm teshik uchun burchakning 0° dan oshirilishi teshikning xomashyo harakat yo‘nalishidagi samarali kengligini sezilarli ravishda oshiradi. 10–30° atrofidagi burchaklar teshikning geometrik imkoniyatlari bilan uning o‘q bo‘ylab proyeksiyasi o‘rtasida muvozanat hosil qiluvchi ishchi zona sifatida qaralishi mumkin. Yakuniy konstruktiv qiymatni belgilash uchun paxta qatlamining zichligi, baraban tezligi, teshik qadam oralig‘i va haqiqiy ifloslik taqsimoti bo‘yicha tajriba natijalari bilan tekshirish talab etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Zikriyoev E.Z. (tahrir ostida). Birlamchi paxta xomashyosini qayta ishlash. O‘quv qo‘llanma. Toshkent: Mehnat, 1999. 400 b.

2. Omonov F.B. Paxtani dastlabki ishlash bo‘yicha ma’lumotnoma. Toshkent: Mehnat, 2004. 404 b.

3. Rosulov R.X., Rayimqulov J.K., Kuliyev T.M. Impact of Pegs Inclined to the Cleaning Drum’s Axis on Raw Cotton. Russian Engineering Research. 2025. Vol.45, No.8. P.1088–1092. DOI: 10.3103/S1068798X25701850.

4. Korabelnikov R.V. SSSR mualliflik guvohnomasi №821540.

CC BY 4.0

5. Rosulov R.X., Korabelnikov R.V., Lugachev A.E. Paxta xomashyosi tozalagich moduli uchun ayrim fizik-mexanik xususiyatlarni tadqiq etish. Texnologiya tekstilnoy promyshlennosti. 2004. №1. B.16–19.

6. Rosulov R.X., Norboboev A. Paxta xomashyosini tozalashda tolalar tutamining qattiqligini eksperimental aniqlash. Manba materiallari.

CC BY 4.0

УДК 677.021

PAXTA XOMASHYOSI QATLAMINING TO‘RLI SIRTNI QISMAN BERKITISHI VA TOZALASH SAMARADORLIGINI BAHOLASH

Росулов Рузимурод Хасанович, Назаров Жахонгир

Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti

Росулов Рузимурод Хасанович: elmurodnarmatov183@gmail.com

Назаров Жахонгир: elmurodnarmatov183@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada qoziqli baraban ostidagi to‘rli sirtning ishchi holati paxta qatlamining teshiklarni qisman yopib qo‘yishi nuqtai nazaridan tahlil qilinadi. Tozalash jarayonida teshik o‘lchami yetarli bo‘lishining o‘zi samarali ajratishni kafolatlamaydi: paxta tolalari va bo‘lakchalari teshik ustida joylashib, ochiq maydonni kamaytiradi. Shu sababli to‘rning bo‘sh qolish ehtimoli, bloklanish koeffitsienti, teshik og‘ish burchagi va qatlam konsentratsiyasi o‘rtasidagi bog‘lanish asosida muhandislik bahosi taklif etiladi. Manba materiallaridagi model boshqa talqinda bayon qilinib, konstruktiv parametrlarni boshqarish uchun amaliy tavsiyalar ishlab chiqildi.

Kalit so‘zlar: paxta qatlamining zichligi, to‘rli sirt, bloklanish, teshik, qoziqli baraban, tozalash samaradorligi, teshik og‘ishi, ochiq maydon.

Аннотация. В данной статье рабочее состояние сетчатой поверхности под колковым барабаном анализируется с точки зрения частичного перекрытия отверстий хлопковым слоем. В процессе очистки достаточного размера отверстий самих по себе недостаточно для гарантии эффективного разделения: волокна и кусочки хлопка располагаются над отверстием, уменьшая свободную площадь. В связи с этим, на основе связи между вероятностью свободного состояния сетки, коэффициентом блокировки, углом наклона отверстий и концентрацией слоя, предлагается инженерная оценка. Модель из исходных материалов изложена в иной интерпретации, и разработаны практические рекомендации по управлению конструктивными параметрами.

Ключевые слова: плотность хлопкового слоя, сетчатая поверхность, блокировка, отверстие, колковый барабан, эффективность очистки, наклон отверстия, свободная площадь

Abstract. In this article, the working condition of the mesh surface under the peg drum is analyzed from the perspective of partial blockage of the holes by the cotton layer. During the cleaning process, a sufficient hole size alone does not guarantee effective separation: cotton fibers and fragments are positioned over the hole, reducing the open area. Therefore, based on the relationship between the probability of the mesh remaining free, the blocking coefficient, the hole deviation angle, and the layer concentration, an engineering evaluation is proposed. The model from the source materials is interpreted differently, and practical recommendations for controlling structural parameters have been developed.

Keywords: density of the cotton layer, mesh surface, blockage, hole, peg drum, cleaning efficiency, hole deviation, open area

Для цитирования: Росулов Р. Х., Назаров Ж. PAXTA XOMASHYOSI QATLAMINING TO‘RLI SIRTNI QISMAN BERKITISHI VA TOZALASH SAMARADORLIGINI BAHOLASH // ARGO — научный журнал. — 2026. — Т. 2026, № 5. —

CC BY 4.0

C. 9–12. — URL: https://www.robutpit.com/journal/article/5-paxta-xomashyosi-qatlamining-torli-sirtni-qisman-berkitishi-va-tozalash-samarado/.

For citation: Rosulov, R. X., & Nazarov, J. (2026). PAXTA XOMASHYOSI QATLAMINING TO‘RLI SIRTNI QISMAN BERKITISHI VA TOZALASH SAMARADORLIGINI BAHOLASH. ARGO Scientific Journal, 2026(5), 9–12. https://www.robutpit.com/journal/article/5-paxta-xomashyosi-qatlamining-torli-sirtni-qisman-berkitishi-va-tozalash-samarado/

Поступила: 29.09.2026 · Одобрена: 29.09.2026

© Авторы, 2026. Статья распространяется по лицензии CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Muammoning qo‘yilishi. Paxtani mayda iflosliklardan ajratishda to‘rli sirtning asosiy vazifasi — ifloslik zarrachalarining pastki zonaga chiqishi uchun yetarli darajada ochiq kanal hosil qilishdir. Amalda esa paxta qatlamining bir qismi teshiklar ustida ushlanib qoladi. Natijada geometrik jihatdan mos keladigan ifloslik zarrachasi ham teshikning real ochiq qismiga duch kelmasligi mumkin.

Shuning uchun tozalash qurilmasini faqat teshik eni yoki teshiklar soni orqali baholash yetarli emas. To‘rning ishchi holatini baholashda teshiklarning bloklanish ehtimoli va uning burchak bilan o‘zgarishini ham hisobga olish zarur.

Qurilmaning ish prinsipi va ta’sir etuvchi omillar

Ko‘rib chiqilgan ta’minlagichda paxta ta’minlash valiklari orqali qoziqli barabanga uzatiladi. Baraban qoziqlari xomashyoni to‘rli sirt bo‘ylab siljitadi; mayda aralashmalar esa teshiklardan o‘tib, iflosliklarni chiqarish kanaliga tushadi. Manba konstruksiyasida baraban diametri 300 mm, qoziq balandligi 50 mm, qoziq diametri 12 mm va to‘r-qoziq tirqishi 3–15 mm oralig‘ida berilgan.

Jarayonga ta’sir qiluvchi parametrlarni shartli ravishda uch guruhga ajratish mumkin: konstruktiv parametrlar (teshik L va b o‘lchamlari, qadam tx, tirqish δ), kinematik parametrlar (aylanish chastotasi n va qoziq uchining tezligi vq) hamda xomashyo holatini ifodalovchi parametrlar (qatlam zichligi, zarracha o‘lchami va tolalarning yoyilish xususiyati).

Bloklanish modelining mazmuni

Teshikning paxta bilan berkitilishi Cqat konsentratsiya koeffitsienti orqali ifodalanishi mumkin. Manba materiallarida uning taxminiy qiymati 0,20–0,35 diapazonda, paxta bo‘lakchalarining yoyilib ketish koeffitsienti esa 0,25–0,35 atrofida berilgan. Teshikning og‘ish burchagi θ ortishi bilan paxta bo‘lakchalarining teshikni ko‘ndalang kesib o‘tib yopish ehtimoli kamayadi.

$$Pblok(\theta) = Cqat \cdot [1 - |sin\theta| \cdot (1 - kyoy)]$$

Bu yerda Pblok — berilgan vaqt oralig‘ida teshikning paxta bilan yopilish ehtimoli; Cqat — qatlam konsentratsiyasi bilan bog‘liq koeffitsient; kyoy — paxta bo‘lakchalarining yoyilish koeffitsienti. Modelning muhim jihati shundaki, θ = 0° da teshikning uzun o‘qi xomashyo harakatiga ko‘ndalang holatga yaqin bo‘ladi va paxta bo‘lakchalari teshikni katta maydonda qoplashi mumkin.

To‘rning real ochiq holatini aniqlash

Teshikning bo‘sh qolish ehtimoli bloklanish ehtimolining to‘ldiruvchisi sifatida olinadi:

$$Pbo‘sh(\theta) = 1 - Pblok(\theta)$$

Mazkur ko‘rsatkichni geometrik o‘tish ehtimoli bilan birlashtirish orqali real tozalash imkoniyatini baholash mumkin. Masalan, teshikning samarali kengligi $W_e$ff oshayotgan bo‘lsa-yu, paxta qatlamining bloklanishi ham yuqori bo‘lsa, to‘rning konstruktiv afzalligi amalda to‘liq namoyon bo‘lmaydi.

$$Preal \approx Po‘tish \cdot Pbo‘sh$$

Bu ifoda muhandislik uchun soddalashtirilgan baho bo‘lib, unda Po‘tish zarracha o‘lchami va teshik geometriyasiga, Pbo‘sh esa teshikning paxta bilan qoplanishiga bog‘liq. Shunday yondashuv to‘rni loyihalashda faqat ochiq yuzani emas, uning ishlash vaqtida saqlanib qoladigan real ochiqligini ham hisobga olish imkonini beradi.

Teshik og‘ishining bloklanishga ta’siri

Teshikning uzunligi L = 50 mm va eni b = 6 mm bo‘lganda uning xomashyo harakatiga mos proyeksiyasi:

$$W_eff = 50\ sin\theta + 6\ cos\theta$$

Teshik 0° holatda b = 6 mm ga teng bo‘lgan kichik proyeksiya bilan boshlanadi. θ = 10° da W_eff taxminan 14,6 mm, 15° da 18,7 mm, 20° da 22,8 mm va 30° da 30,2 mm ga yetadi. Bu o‘zgarish zarracha trayektoriyasining teshik bilan kesishish imkoniyatini oshiradi. Shu bilan birga, teshikning paxta tolalari tomonidan qoplanish xarakteri ham o‘zgaradi.

Bloklanish modeli bo‘yicha θ oshganda |sinθ| hadining ulushi ortadi va Pblok kamayish tendensiyasini oladi. Natijada geometrik o'tish va teshikning bo‘sh qolishi bir yo‘nalishda o‘zgarishi mumkin. Bu holat to‘rli sirt geometriyasini optimallashtirish uchun muhim asosdir.

Konstruktiv parametrlarni tanlash bo‘yicha tavsiyalar

- Teshik og‘ish burchagini tanlashda faqat maksimal $W_e$ff emas, balki $H_e$ff va to‘rning mexanik mustahkamligi ham tekshirilishi kerak.
- Paxta qatlamining zichligi ortgan sari Cqat koeffitsientining ta’siri kuchayadi; shuning uchun bir xil teshik geometriyasi turli namuna va yuklanishlarda turlicha natija berishi mumkin.
- Teshik qadamini kichraytirish ochiq yuzani oshirishi mumkin, biroq to‘rning mustahkamligi va ishlab chiqarish texnologiyasi bilan bog‘liq cheklovlar hisobga olinadi.
- Qoziq-to‘r tirqishi δ ni rostlash orqali xomashyoning to‘rga bosilishi va teshiklarning berkilish darajasini boshqarish imkoniyati mavjud.
- Nazariy modelni tekshirish uchun real paxta namunalarida iflosliklarning o‘lcham taqsimoti, to‘rning ochiq yuzasi va chiqindidagi ifloslik ulushi birgalikda o‘lchanishi lozim.

Kutilayotgan texnologik natija

To‘rli sirtning konstruktiv parametrlarini uyg‘unlashtirishdan maqsad paxtaga ortiqcha zarba bermagan holda mayda iflosliklarni chiqarish uchun barqaror ochiq kanal hosil qilishdir. Teshik yo‘nalishini o‘zgartirish, tirqishni moslashtirish va qadamni maqbullashtirish orqali bir xil aylanish tezligida tozalash jarayonining samaradorligini oshirish imkoniyati paydo bo‘ladi.

CC BY 4.0

Bunda asosiy mezon sifatida faqat chiqindining miqdori emas, balki tola va chigitning shikastlanish ehtimoli ham nazorat qilinishi kerak.

Shuningdek, to‘rning bloklanishi vaqt davomida o‘zgaruvchi jarayon bo‘lgani sababli kelgusidagi tajribalarda tezlik, xomashyo namligi va qatlam qalinligini alohida omillar sifatida tekshirish maqsadga muvofiq. Bu natijalar asosida tozalagichning ish rejimlarini avtomatik boshqarish uchun soddalashtirilgan matematik mezonlar ishlab chiqish mumkin.

Xulosa. Paxta xomashyosini to‘rli sirt yordamida tozalashda teshikning nominal o‘lchami bilan uning ish jarayonidagi real ochiqligi o‘rtasida farq mavjud. Paxta qatlamining teshiklarni qisman berkitishi zarrachalarning to‘r orqali o‘tish imkoniyatini pasaytiradi. Teshik og‘ish burchagini oshirish esa manba modelida ikki xil mexanizmni — samarali kenglikning ortishi va bloklanish ehtimolining kamayishini — bir vaqtda yaxshilash imkonini beradi. Shu sababli kelgusidagi konstruktiv izlanishlarda to‘rli sirtni baholash uchun geometrik o‘tish ko‘rsatkichi bilan bloklanish koeffitsientini birlashtiruvchi mezondan foydalanish taklif etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Zikriyoev E.Z. (tahrir ostida). Birlamchi paxta xomashyosini qayta ishlash. O‘quv qo‘llanma. Toshkent: Mehnat, 1999. 400 b.

2. Omonov F.B. Paxtani dastlabki ishlash bo‘yicha ma’lumotnoma. Toshkent: Mehnat, 2004. 404 b.

3. Rosulov R.X., Rayimqulov J.K., Kuliyev T.M. Impact of Pegs Inclined to the Cleaning Drum’s Axis on Raw Cotton. Russian Engineering Research. 2025. Vol.45, No.8. P.1088–1092. DOI: 10.3103/S1068798X25701850.

4. Korabelnikov R.V. SSSR mualliflik guvohnomasi №821540.

5. Rosulov R.X., Korabelnikov R.V., Lugachev A.E. Paxta xomashyosi tozalagich moduli uchun ayrim fizik-mexanik xususiyatlarni tadqiq etish. Texnologiya tekstilnoy promyshlennosti. 2004. №1. B.16–19.

6. Rosulov R.X., Norboboev A. Paxta xomashyosini tozalashda tolalar tutamining qattiqligini eksperimental aniqlash. Manba materiallari.

CC BY 4.0

УДК 677.21.021.15

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ БАРАБАНА НА КИНЕТИКУ СУШКИ ХЛОПКА-СЫРЦА

Бутовский Петр Михайлович

Ташкентский институт текстильной и лёгкой промышленности

Бутовский Петр Михайлович: gtnz1071980@gmail.com

Аннотация. Сушка хлопка-сырца в барабанных сушилках остаётся одной из наиболее энергоёмких операций первичной обработки хлопка, а качество её проведения непосредственно влияет на прочность волокна, засорённость и выход продукции. Цель работы — установить количественную зависимость конечной влажности хлопка-сырца от температуры сушильного агента и частоты вращения барабана и подобрать кинетическую модель, пригодную для использования в системе автоматического управления сушилкой. Эксперименты выполнены на лабораторной барабанной установке по полному факторному плану 2^2 с трёхкратным повторением опытов. Начальная влажность хлопка-сырца составляла 14,0 ± 0,3 %, температура сушильного агента изменялась от 110 до 150 °С, частота вращения барабана — от 8 до 12 мин$^{-1}$. Кинетические кривые аппроксимированы моделями Льюиса, Хендерсона — Пабиса и Пейджа; наилучшее согласие с опытными данными обеспечила модель Пейджа (коэффициент детерминации 0,989–0,994, среднеквадратичная ошибка не более 0,018). Получено уравнение регрессии, показывающее, что повышение температуры сушильного агента на 40 °С снижает конечную влажность в среднем на 1,7 процентного пункта, а увеличение частоты вращения барабана повышает её на 0,8 процентного пункта за счёт сокращения времени пребывания материала в барабане. Эффект взаимодействия факторов статистически незначим. Полученные зависимости позволяют рассчитывать уставки регулятора температуры по фактической влажности поступающего хлопка и тем самым уменьшить перегрев волокна и расход топлива.

Ключевые слова: хлопок-сырец, барабанная сушилка, кинетика сушки, модель Пейджа, влагоотношение, планирование эксперимента, автоматическое управление

INFLUENCE OF DRYING AGENT TEMPERATURE AND DRUM ROTATION SPEED ON THE DRYING KINETICS OF RAW COTTON

Abstract. Drying of raw cotton in drum dryers remains one of the most energy-intensive operations of primary cotton processing, and its quality directly affects fibre strength, trash content and product yield. The aim of this work is to establish a quantitative relationship between the final moisture content of raw cotton, the drying agent temperature and the drum rotation speed, and to select a kinetic model suitable for use in an automatic dryer control system. The experiments were carried out on a laboratory drum dryer according to a full factorial 2^2 design with three replicates. The initial moisture content of raw cotton was 14.0 ± 0.3 %, the drying agent temperature varied from 110 to 150 °C and the drum speed from 8 to 12 rpm. The drying curves were fitted with the Lewis, Henderson–Pabis and Page models; the Page model gave the best agreement with the experimental data (coefficient of determination 0.989–0.994, root mean square error not exceeding 0.018). A regression equation was obtained showing that increasing the drying agent temperature by 40 °C reduces the final moisture content by 1.7 percentage points on average, while increasing the drum speed raises it by 0.8 percentage points because the residence time of the material in the drum becomes shorter. The interaction effect of the factors is statistically insignificant. The

CC BY 4.0

obtained relationships make it possible to calculate the set points of the temperature controller from the actual moisture content of incoming cotton and thus to reduce fibre overheating and fuel consumption.

Keywords: raw cotton, drum dryer, drying kinetics, Page model, moisture ratio, design of experiments, automatic control

Для цитирования: Бутовский П. М. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ БАРАБАНА НА КИНЕТИКУ СУШКИ ХЛОПКА-СЫРЦА // ARGO — научный журнал. — 2026. — Т. 2026, № 5. — С. 13–18. — URL: https://www.robutpit.com/journal/article/1-vliianie-temperatury-sushilnogo-agenta-i-chastoty-vrashcheniia-barabana-na-kinet/.

For citation: Бутовский, П. М. (2026). INFLUENCE OF DRYING AGENT TEMPERATURE AND DRUM ROTATION SPEED ON THE DRYING KINETICS OF RAW COTTON. ARGO Scientific Journal, 2026(5), 13–18. https://www.robutpit.com/journal/article/1-vliianie-temperatury-sushilnogo-agenta-i-chastoty-vrashcheniia-barabana-na-kinet/

Поступила: 26.09.2026 · Одобрена: 04.10.2026

© Авторы, 2026. Статья распространяется по лицензии CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Введение

Хлопок-сырец, поступающий на хлопкоочистительные предприятия, характеризуется значительным разбросом влажности: в зависимости от сорта, сроков и способа уборки она колеблется от 8 до 20 % и более. Для нормальной работы очистительного и джинного оборудования влажность необходимо довести до 7–9 %, поэтому практически весь машинный сбор проходит через барабанные сушилки. Классическая теория сушки коллоидных капиллярно-пористых тел, изложенная в работах А. В. Лыкова [1] и А. С. Гинзбурга [2], описывает процесс как совокупность периода постоянной скорости и периода падающей скорости, причём для хлопка-сырца практически весь процесс протекает во втором периоде.

В мировой практике для инженерных расчётов применяют полуэмпирические тонкослойные модели. Модель Льюиса [3] рассматривает сушку как экспоненциальный процесс с одной константой, модель Хендерсона — Пабиса [4] вводит дополнительный коэффициент формы, а модель Пейджа [5] — показатель степени при времени, что позволяет учесть отклонение реальной кривой от экспоненты. Сравнительные обзоры [6, 7] показывают, что для волокнистых и зернистых материалов модель Пейджа, как правило, даёт наименьшую ошибку аппроксимации. Вопросы конструирования барабанных сушилок и расчёта времени пребывания материала рассмотрены в монографиях [8, 9].

Вместе с тем для хлопка-сырца в условиях барабанной сушилки с регулируемой частотой вращения данные о параметрах кинетических моделей в открытой литературе ограничены, а существующие системы управления, построенные на ПИД-регуляторах [10, 11], стабилизируют температуру сушильного агента без учёта фактической влажности материала. Это приводит либо к пересушиванию волокна при низкой входной влажности, либо к недосушиванию при высокой.

Цель работы — установить зависимость конечной влажности хлопка-сырца от температуры сушильного агента и частоты вращения барабана и подобрать кинетическую модель для последующего использования в адаптивной системе управления. Для достижения цели решались следующие задачи: получение кинетических кривых сушки при трёх уровнях температуры; сравнение моделей Льюиса, Хендерсона — Пабиса и Пейджа;

построение регрессионной модели конечной влажности по результатам факторного эксперимента.

Материалы и методы

Объектом исследования служил хлопок-сырец средневолокнистого сорта машинного сбора второго промышленного сорта. Перед опытами материал увлажняли до начальной влажности 14,0 ± 0,3 % и выдерживали в герметичной таре 24 ч для равномерного распределения влаги. Влажность определяли термовесовым методом при 105 °C до постоянной массы с точностью взвешивания 0,01 г.

Сушку проводили на лабораторной барабанной установке с внутренним диаметром барабана 0,6 м и длиной 1,8 м, оснащённой лопастной насадкой. Температура сушильного агента задавалась электрическим калорифером и поддерживалась регулятором с точностью ±2 °C; частота вращения барабана изменялась частотным преобразователем. Скорость сушильного агента во всех опытах составляла 1,5 м/с.

Кинетику сушки описывали безразмерным влагоотношением

$$MR = \frac{W - W_p}{W_0 - W_p} \quad (1)$$

где W — текущая влажность, %; W_0 — начальная влажность, %; Wp — равновесная влажность при данных условиях, %. Для аппроксимации опытных данных использовали модель Пейджа

$$MR = \exp(-k \cdot \tau^n) \quad (2)$$

где k — константа скорости сушки, мин$^{-n}$; n — эмпирический показатель; τ — время сушки, мин. Параметры моделей находили нелинейным методом наименьших квадратов; качество аппроксимации оценивали по коэффициенту детерминации R^2 и среднеквадратичной ошибке RMSE.

Влияние факторов на конечную влажность исследовали по полному факторному плану 2^2 [12]. Факторы и их уровни: x_1 — температура сушильного агента (110 и 150 °C), x_2 — частота вращения барабана (8 и 12 мин$^{-1}$). Каждый опыт повторяли трижды в рандомизированном порядке. Модель искали в виде

$$W_к = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 \quad (3)$$

где Wк — конечная влажность хлопка-сырца на выходе из барабана, %; x_1, x_2 — факторы в кодированном виде. Значимость коэффициентов проверяли по критерию Стьюдента, адекватность модели — по критерию Фишера при уровне значимости 0,05.

Результаты и обсуждение

Кинетические кривые сушки хлопка-сырца при частоте вращения барабана 10 мин$^{-1}$ приведены на рис. 1. Во всём исследованном диапазоне процесс протекает в периоде падающей скорости, что согласуется с представлениями [1, с. 312]. Повышение температуры сушильного агента со 110 до 150 °C сокращает время достижения влагоотношения 0,5 примерно с 28 до 13 мин.

Результаты аппроксимации кривых тремя моделями показали, что модель Льюиса систематически завышает влагоотношение в начале процесса и занижает его в конце (R^2 = 0,962–0,975). Модель Хендерсона — Пабиса даёт лучшие результаты (R^2 = 0,971–0,983), од-

CC BY 4.0

нако наименьшую ошибку обеспечивает модель Пейджа, параметры которой приведены в табл. 1.

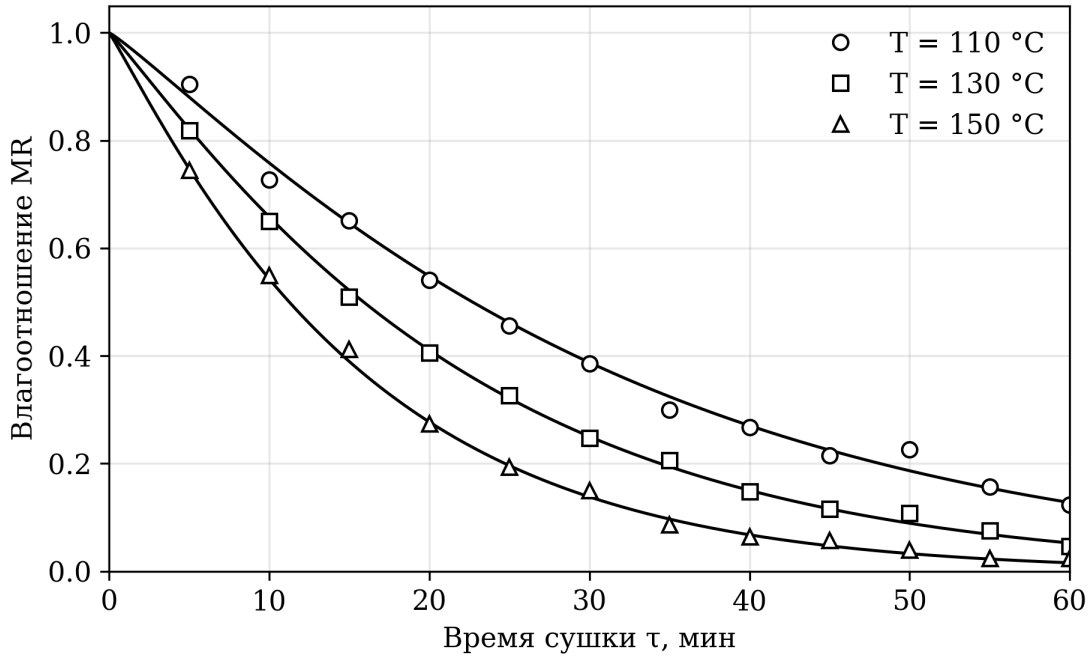


Рис. 1. Кинетические кривые сушки хлопка-сырца при разной температуре сушильного агента (точки — эксперимент, линии — модель Пейджа)

Таблица 1 — Параметры модели Пейджа для сушки хлопка-сырца

Температура, °C	**k, мин$^{-n}$**	**n**	**R^2**	**RMSE**
110	0,021	1,12	0,991	0,014
130	0,034	1,09	0,994	0,011
150	0,052	1,07	0,989	0,018

Константа скорости сушки k возрастает с температурой почти в 2,5 раза, тогда как показатель n меняется слабо и близок к единице. Зависимость k от абсолютной температуры удовлетворительно описывается уравнением аррениусовского типа, что позволяет интерполировать параметры модели внутри исследованного диапазона. Значения n > 1 указывают на некоторое ускорение сушки в начальный период, связанное с прогревом материала и удалением поверхностной влаги.

Матрица планирования и средние значения конечной влажности по трём повторностям представлены в табл. 2.

Таблица 2 — Матрица планирования эксперимента и конечная влажность хлопка-сырца

№ опыта	**x_1**	**x_2**	**T, °C**	**N, мин$^{-1}$**	**Wк, %**
1	−1	−1	110	8	9,4
2	+1	−1	150	8	7,6
3	−1	+1	110	12	10,1

CC BY 4.0

№ опыта	x_1	x_2	T, °C	N, мин$^{-1}$	Wк, %
4	+1	+1	150	12	8,5

После обработки результатов получено уравнение регрессии в кодированных переменных:

$$W_к = 8,90 - 0,85x_1 + 0,40x_2 \quad (4)$$

Коэффициент b_{12} = 0,05 оказался незначимым (расчётное значение критерия Стьюдента меньше табличного), и соответствующее слагаемое исключено из модели. Проверка по критерию Фишера подтвердила адекватность уравнения (4). Из уравнения следует, что температура сушильного агента влияет на конечную влажность примерно вдвое сильнее, чем частота вращения барабана. Положительный знак коэффициента при x_2 объясняется сокращением времени пребывания хлопка в барабане при увеличении частоты вращения, что согласуется с известными зависимостями для барабанных аппаратов [8, с. 164; 9].

Практическое значение уравнения (4) состоит в том, что при известной входной влажности хлопка-сырца оно позволяет подобрать сочетание температуры и частоты вращения, обеспечивающее заданную конечную влажность при минимальной температуре сушильного агента. Так, для получения Wк = 8,5 % при N = 10 мин$^{-1}$ достаточно температуры около 138 °C вместо обычно применяемых 150–160 °C, что снижает риск термического повреждения волокна и расход топлива. Использование модели Пейджа совместно с уравнением (4) в контуре управления позволяет перейти от стабилизации температуры к регулированию по влажности материала [10, 11].

Ограничением работы является лабораторный масштаб установки и один сорт хлопка-сырца; перенос результатов на промышленные сушилки требует уточнения коэффициентов по данным производственных испытаний.

Выводы

1. Сушка хлопка-сырца в барабанной сушилке в исследованном диапазоне режимов протекает в периоде падающей скорости; наилучшее описание кинетики обеспечивает модель Пейджа (R^2 = 0,989–0,994, RMSE ≤ 0,018).

2. Константа скорости сушки возрастает с 0,021 до 0,052 мин$^{-n}$ при повышении температуры сушильного агента со 110 до 150 °C; показатель n изменяется в пределах 1,07–1,12.

3. Получено адекватное уравнение регрессии (4), согласно которому температура сушильного агента влияет на конечную влажность примерно вдвое сильнее, чем частота вращения барабана; взаимодействие факторов незначимо.

4. Полученные зависимости могут служить основой алгоритма адаптивного управления барабанной сушилкой по фактической влажности поступающего хлопка-сырца.

Список литературы

1. Лыков А. В. Теория сушки. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Энергия, 1968. — 472 с.

2. Гинзбург А. С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. — Москва : Пищевая промышленность, 1973. — 528 с.

CC BY 4.0

3. Lewis W. K. The rate of drying of solid materials // Industrial & Engineering Chemistry. — 1921. — Vol. 13, No. 5. — P. 427–432.

4. Henderson S. M., Pabis S. Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient // Journal of Agricultural Engineering Research. — 1961. — Vol. 6. — P. 169–174.

5. Page G. E. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers : M.S. thesis. — West Lafayette : Purdue University, 1949.

6. Kudra T., Mujumdar A. S. Advanced Drying Technologies. — 2nd ed. — Boca Raton : CRC Press, 2009. — 438 p.

7. Handbook of Industrial Drying / ed. by A. S. Mujumdar. — 4th ed. — Boca Raton : CRC Press, 2014. — 1348 p.

8. Keey R. B. Drying of Loose and Particulate Materials. — New York : Hemisphere Publishing, 1992. — 504 p.

9. Strumiłło C., Kudra T. Drying: Principles, Applications and Design. — New York : Gordon and Breach, 1986. — 448 p.

10. Åström K. J., Hägglund T. PID Controllers: Theory, Design, and Tuning. — 2nd ed. — Research Triangle Park : ISA, 1995. — 343 p.

11. Ogata K. Modern Control Engineering. — 5th ed. — Upper Saddle River : Prentice Hall, 2010. — 894 p.

12. Montgomery D. C. Design and Analysis of Experiments. — 8th ed. — Hoboken : Wiley, 2012. — 730 p.

CC BY 4.0

УДК 677,021

INFLUENCE OF COTTON SEED POLLUTION ON LINT QUALITY

Абдугаффаров Хусниддин Журабекович

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

Абдугаффаров Хусниддин Журабекович: xusniddinas662@gmail.com

Abstract. The article presents research materials on the combination in the cotton ginning industry of technological processes for transporting cotton seeds and cleaning them from weeds using screw conveyors.

Keywords: technological process

Для цитирования: Абдугаффаров Х. Ж. INFLUENCE OF COTTON SEED POLLUTION ON LINT QUALITY // ARGO — научный журнал. — 2026. — Т. 2026, № 5. — С. 19–26. — URL: https://www.robutpit.com/journal/article/2-influence-of-cotton-seed-pollution-on-lint-quality/.

For citation: Abdugaffarov, X. J. (2026). INFLUENCE OF COTTON SEED POLLUTION ON LINT QUALITY. ARGO Scientific Journal, 2026(5), 19–26. https://www.robutpit.com/journal/article/2-influence-of-cotton-seed-pollution-on-lint-quality/

Поступила: 28.09.2026 · Одобрена: 06.10.2026

© Авторы, 2026. Статья распространяется по лицензии CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

EFFECT OF COTTON SEED TRASH CONTENT ON LINT QUALITY AND SEED OIL CONTENT: A PRODUCTION STUDY AT A COTTON GINNERY

F. Xursandova, student; Kh. Abdugaffarov, PhD

Tashkent Institute of Textile and Light Industry

Abstract. The article presents the results of a production study of the effect of the trash content of ginned cotton seeds on the trash content of the lint obtained at delinting and on the oil content of the seeds. The study was carried out at the "Mustakillik" cotton ginnery (Tashkent region) during processing of seed cotton of the selection variety C-6524 of three industrial grades (I, II and III). As the seed trash content increased from 2.4 to 9.9 %, the lint trash content increased from 5.0 to 9.3 % and the seed oil content decreased from 21.70 to 18.30 %. The dependence of seed oil content on seed trash content is close to linear (slope −0.45 % per 1 % of trash, R^2 = 0.98), while the dependence of lint trash content is non-linear: between 2.4 and 6.4 % of seed trash the lint trash content changed by only 0.3 percentage points, whereas between 6.4 and 9.9 % it rose by 4.0 points. At 9.9 % seed trash the lint did not meet the requirements of O'z DSt 645:2010 even for the "Weedy" class. The results substantiate the need for additional cleaning of seeds between the gin and the linter.

Keywords: cotton seeds, trash content, delinting, linter lint, oil content, cotton ginning, seed cleaning.

Аннотация. В статье приведены результаты производственного исследования влияния засорённости семян хлопчатника после джинирования на засорённость линта, получаемого при линтеровании, и на масличность семян. Исследование проведено на хлопкозаводе «Мустакиллик» (Ташкентская область) при переработке хлопка-сырца селекционного сорта С-6524 трёх промышленных сортов (I, II и III). При росте засорённости семян с 2,4 до 9,9 % засорённость линта возросла с 5,0 до 9,3 %, а масличность семян снизилась с 21,70 до 18,30 %. Зависимость масличности от засорённости семян близка к линейной (−0,45 % на 1 % сорных примесей, R^2 = 0,98), зависимость засорённости линта — нелинейная: в диапазоне 2,4–6,4 % она изменилась лишь на 0,3 процентного пункта, а в диапазоне 6,4–9,9 % — на 4,0 пункта. Обоснована необходимость дополнительной очистки семян на участке «джин — линтер».

Ключевые слова: семена хлопчатника, засорённость, линтерование, линт, масличность, джинирование, очистка семян.

Аннотация. Мақолада жинлашдан кейинги пахта чигитининг ифлослиги линтерлашда олинадиган линтнинг ифлослигига ва чигитнинг мойлилигига таъсирини ишлаб чиқариш шароитида ўрганиш натижалари келтирилган. Тадқиқот «Мустақиллик» пахта тозалаш корхонасида (Тошкент вилояти) С-6524 селекцион навли пахта хом ашёсининг I, II ва III саноат навларини қайта ишлашда ўтказилган. Чигит ифлослиги 2,4 % дан 9,9 % гача ортганда линт ифлослиги 5,0 % дан 9,3 % гача ошган, чигит мойлилиги эса 21,70 % дан 18,30 % гача камайган. Жин ва линтер оралиғида чигитни қўшимча тозалаш зарурлиги асосланган.

Калит сўзлар: пахта чигити, ифлослик, линтерлаш, линт, мойлилик, жинлаш, чигитни тозалаш.

1. Introduction

In the technological process of primary cotton processing, an important place is occupied by the efficiency of cleaning. A large body of work has been devoted to cleaning seed cotton and lint, and equipment has been developed whose performance in principle meets the quality requirements of the cotton ginning industry [8, 9, 18]. Studies of commercial gins show that every cleaning stage involves a trade-off between trash removal and fiber damage [10–12], and the trash content of cotton strongly affects the quality of downstream textile products [13]. Recent work in Uzbekistan has been aimed at improving seed cotton cleaners [15] and at combining transportation with cleaning in screw conveyors [14].

Much less attention has been paid to cleaning ginned seeds before delinting. Seeds leaving the saw gin carry leaf particles, bract and hull fragments, immature seeds and mineral impurities, which pass to the linters together with the seeds. These impurities are partly transferred into the linter lint and worsen its grade, and in the oil and fat industry they lower oil yield and quality, so that oil mills are forced to clean the seeds additionally [16]. The quality index of cottonseed in international practice is likewise reduced in proportion to its foreign matter content [17].

Ginneries are equipped with pneumatic and mechanical seed cleaners. A pneumatic seed cleaner separates trash from seeds by the difference in their terminal velocity in a suction air flow created by a centrifugal fan; a mechanical cleaner separates trash through interaction of the seeds with a rotating spiked drum and a mesh surface with "herringbone" cell arrangement

CC BY 4.0

while the seeds move axially [8, 18]. In practice these cleaners are often operated inefficiently or bypassed altogether.

The normative requirements are strict. According to O'z DSt 645:2010 [3], for type A and B lint of the 1st grade the mass fraction of trash and whole seeds must not exceed 4.5 % for the "Higher" class, 6.0 % for the "Average" class and 8.5 % for the "Weedy" class. According to O'z DSt 596:2014 [4], the mass fraction of mineral and organic impurities in technical cotton seeds, determined by the method of O'z DSt 599:2008 [5], must not exceed 0.5 %. When the regulated technological process is violated, these requirements are frequently not met at the ginneries of the Republic.

Our earlier work [1] studied the transportation of cotton seeds by a screw conveyor, and preliminary production observations were reported in [2]. The screw conveyor, which carries seeds from the saw gins to the linter battery at practically every ginnery [19], is a promising place to add seed cleaning without extra floor space or extra machines. Before designing such a device, however, it is necessary to quantify how strongly seed trash content affects lint quality and oil content under real production conditions.

The aim of this work is to establish quantitative relationships between the trash content of ginned seeds, the trash content of linter lint and seed oil content under production conditions, and on this basis to define requirements for additional seed cleaning before delinting.

2. Materials and methods

Object and period. The study was carried out at the "Mustakillik" cotton ginnery (Tashkent region) from October to December 2019 (three months) during processing of seed cotton of the selection variety C-6524 of industrial grades I, II and III (hereinafter variants I, II and III). Seed cotton moisture was 8.5 ± 0.6 %. The process line included saw gins 4DP-130 and linters 5LP; machine settings were kept as regulated and were not changed during the study.

Sampling. Seed samples were taken after the saw gin before entry into the screw conveyor (point A); lint samples were taken at the outlet of the linters of the first cut (point B). Samples were taken every 2 h during the shift; point samples were combined into pooled samples of 2 kg (seeds) and 200 g (lint). For each variant n = 5 pooled samples were taken; each analysis was performed in 3 replicates.

Methods of analysis. Seed trash content (mass fraction of mineral and organic impurities) was determined according to O'z DSt 599:2008 [5]; lint trash content — by the method of O'z DSt 645:2010 [3]; seed oil content — by solvent extraction in a Soxhlet apparatus according to GOST 10857 [6]; seed moisture — according to GOST 10856 [7]. Oil content is expressed on the as-received sample mass without preliminary cleaning. Equipment: analytical balance VLR-200 (±0.001 g), drying oven SNOL-3.5 (±2 °C), Soxhlet extractor.

Statistical processing. Results are given as mean ± standard deviation (SD) with the number of observations n. The relationships "lint trash content = f(seed trash content)" and "oil content = f(seed trash content)" were approximated by least-squares linear and quadratic regression over all individual measurements (N = 15); the coefficient of determination R^2, the significance of the slope (t-test, p-value) and its 95 % confidence interval were calculated at $\alpha = 0.05$ (Python 3, SciPy).

CC BY 4.0

3. Results

The mean values of the measured indicators are given in Table 1, and the individual measurements in Table 2.

Table 1. Trash content of seeds and lint and seed oil content by variant (mean ± SD, n = 5)

No.	Selection variety	Industrial grade of seed cotton	Seed trash content, %	Lint trash content, %	Seed oil content, %
1	C-6524	I	2.40 ± 0.20	5.00 ± 0.24	21.70 ± 0.24
2	C-6524	II	6.40 ± 0.29	5.30 ± 0.24	20.30 ± 0.29
3	C-6524	III	9.90 ± 0.34	9.30 ± 0.38	18.30 ± 0.36

Table 2. Individual measurements

Variant	Sample No.	Seed trash content, %	Lint trash content, %	Seed oil content, %
I	1	2.20	5.20	21.95
I	2	2.50	4.90	21.55
I	3	2.70	5.30	21.35
I	4	2.30	4.70	21.80
I	5	2.30	4.90	21.85
II	1	6.70	5.10	20.10
II	2	6.00	5.60	20.70
II	3	6.60	5.40	20.20
II	4	6.50	5.00	20.00
II	5	6.20	5.40	20.50
III	1	9.60	8.90	18.60
III	2	10.30	9.60	17.90
III	3	10.10	9.80	18.10
III	4	9.50	9.10	18.75
III	5	10.00	9.10	18.15

Regression analysis of all individual measurements (N = 15, Fig. 1, 2) gives the following equations:

lint trash content, linear: $y = 3.04 + 0.560x$; $R^2 = 0.76$; $p < 0.001$; 95 % CI of the slope (0.37; 0.75);

lint trash content, quadratic: $y = 6.87 - 1.114x + 0.1367x^2$; $R^2 = 0.98$;

seed oil content: $y = 22.94 - 0.455x$; $R^2 = 0.97$; $p < 0.001$; 95 % CI of the slope (-0.50; -0.41),

where x is the seed trash content, %. Both slopes are statistically significant at $\alpha = 0.05$. For lint trash content the quadratic model describes the data much better than the linear one ($R^2 = 0.98$ versus 0.76), which indicates a non-linear relationship.

CC BY 4.0

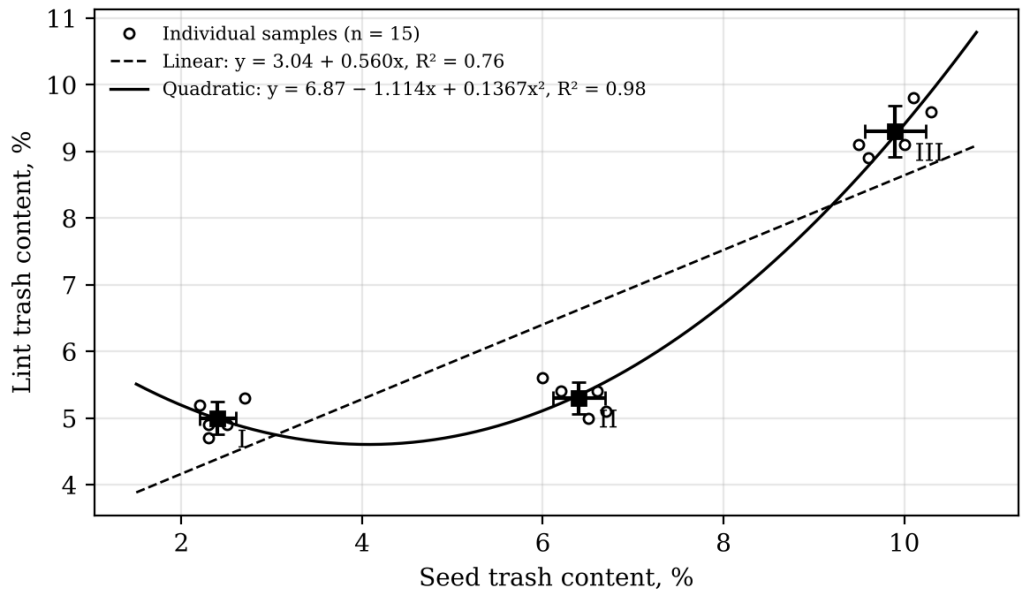


Fig. 1. Lint trash content versus seed trash content (circles — individual samples, squares — variant means ± SD)

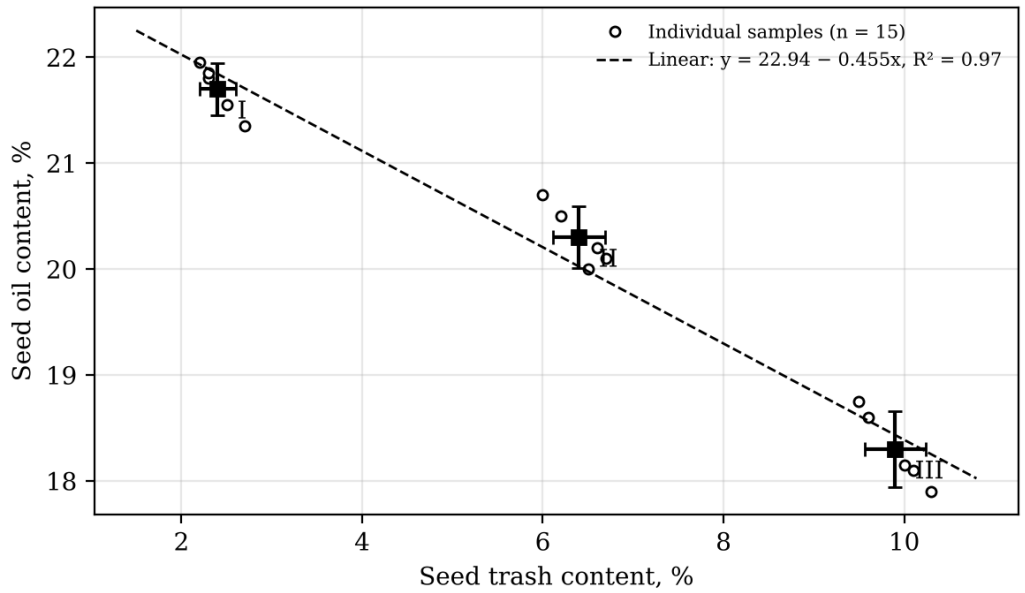


Fig. 2. Seed oil content versus seed trash content (circles — individual samples, squares — variant means ± SD)

The lint obtained in variants I and II (5.0 and 5.3 % trash) corresponds to the "Average" class of O'z DSt 645:2010 (≤ 6.0 %), whereas the lint of variant III (9.3 %) exceeds the limit of 8.5 % for the "Weedy" class and is non-conforming. In all variants the seed trash content (2.4–9.9 %) exceeds the limit of 0.5 % set by O'z DSt 596:2014 by a factor of 5–20.

4. Discussion

Lint trash content. The data do not confirm a directly proportional relationship between seed and lint trash content. The increase in lint trash content per 1 % of seed trash was 0.075 percentage points between variants I and II and 1.14 points between variants II and III, i.e. about 15 times higher. Accordingly, the quadratic model (R^2 = 0.98) describes the data considerably better than the linear one (R^2 = 0.76). A likely explanation is a threshold effect: at moderate

CC BY 4.0

seed trash content most of the impurities are separated in the linter itself (seed comb, trash grid) and pass to waste, while above approximately 6–7 % its separating capacity is exceeded and the impurities pass into the lint. The composition of trash in low-grade seed cotton (finer leaf particles, broken seeds, hull fragments) may also be more prone to entering the lint.

Oil content. Part of the decrease in oil content is a dilution effect: impurities contain practically no oil. Since oil content was determined on the as-received sample, the oil content of clean seed in variant I is 21.70/(1 − 0.024) ≈ 22.2 %, and dilution alone at 9.9 % trash would give 22.2 × (1 − 0.099) ≈ 20.0 %. The observed value of 18.3 % is 1.7 points lower; thus dilution explains about half of the total decrease of 3.4 points, and the rest is attributable to lower oil content of the seeds themselves in low-grade seed cotton (lower maturity, higher share of immature and damaged seeds).

Uncontrolled factors. Since the study was a production one, the industrial grade of seed cotton changed simultaneously with seed trash content; therefore the effect of trash cannot be fully separated from the effect of grade (maturity, damaged seeds, residual fiber on seeds). Seed cotton moisture, saw gin settings (rib clearance, roll density) and linter settings (saw cylinder speed, chamber loading) were not varied deliberately and may have contributed to the scatter. To separate these factors, a controlled experiment is required in which seeds of one grade are artificially brought to different trash levels, or seeds are cleaned to different levels before delinting.

Practical implications. The results show that keeping seed trash content before the linter below approximately 6 % prevents a sharp increase in lint trash content. The screw conveyor between the gins and the linters is considered as the device for such additional cleaning: replacing part of the solid trough with a perforated or mesh surface makes it possible to separate impurities during transportation [1, 14]. The next stage of research is to determine the influence of the screw rotation frequency, pitch and diameter, fill factor and mesh parameters on cleaning efficiency and seed damage.

5. Conclusions

1. Under production conditions at the "Mustakillik" ginnery, the trash content of seeds after the saw gin was 2.4–9.9 %, which is 5–20 times higher than the limit of 0.5 % set by O'z DSt 596:2014.

2. As seed trash content increased from 2.4 to 9.9 %, lint trash content increased from 5.0 to 9.3 %; the relationship is non-linear: 0.075 percentage points per 1 % of seed trash in the range 2.4–6.4 % and 1.14 points per 1 % in the range 6.4–9.9 %. At 9.9 % seed trash the lint does not meet O'z DSt 645:2010 even for the "Weedy" class.

3. Seed oil content decreased from 21.70 to 18.30 %, i.e. by about 0.45 percentage points per 1 % of seed trash ($R^2 = 0.97$, $p < 0.001$); about half of this decrease is explained by dilution with oil-free impurities.

4. To keep linter lint within the "Average" class, the trash content of seeds entering the linters should be kept below approximately 6 %, which requires additional seed cleaning; the screw conveyor between the gins and the linters is proposed as the object of further research.

CC BY 4.0

References

1. Abdugaffarov Kh.J. Experimental studies of the screw conveyor to transport the cotton seeds // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (IJARSET). 2019. Vol. 6, Issue 6. P. 125.

2. Abdugaffarov Kh.J., Murodov O.J., Safoev A.A. Improving the quality of lint by strengthening the cleaning of cotton seeds from waste // MIP: Engineering-2020 — Modernization, Innovations, Progress. 2020. P. 1845.

3. O'z DSt 645:2010. Cotton lint. Specifications. Tashkent: Uzstandard, 2010.

4. O'z DSt 596:2014. Technical cotton seeds. Specifications. Tashkent: Uzbek Agency for Standardization, Metrology and Certification, 2014.

5. O'z DSt 599:2008. Industrial cotton seeds. Method for determining the mass fraction of mineral and organic impurities. Tashkent: Uzstandard, 2008.

6. GOST 10857-64. Oil seeds. Methods for determination of oil content. Moscow: Standartinform.

7. GOST 10856-96. Oil seeds. Method for determination of moisture content. Moscow: Standartinform.

8. Anthony W.S., Mayfield W.D. (eds.). Cotton Ginners Handbook. Agricultural Handbook No. 503. Washington, DC: USDA, 1994.

9. Wakelyn P.J., Chaudhry M.R. (eds.). Cotton: Technology for the 21st Century. Washington, DC: International Cotton Advisory Committee, 2010.

10. Whitelock D.P., Armijo C.B., Boykin J.C., Buser M.D., Holt G.A., Barnes E.M., Valco T.D., Findley D.S., Watson M.D. Beltwide cotton quality before and after lint cleaning // Journal of Cotton Science. 2011. Vol. 15. P. 282–291.

11. Armijo C.B., Whitelock D.P., Hughs S.E. Assessing a pneumatic fractionator as a lint cleaning device // Journal of Cotton Science. 2015. Vol. 19. P. 307–318.

12. van der Sluijs M.H.J. The effect of various processing stages during ginning on fiber quality // Journal of Cotton Science. 2020. Vol. 24, No. 1. P. 44–59. DOI: 10.56454/CPAZ3825.

13. Gadallh A.E.M., Abd-Elrhman Y.Sh., El-Sayed E.R. Effect of cotton fiber fineness, maturity and trash content on nep formation in raw cotton and spun yarns // Journal of Textiles, Coloration and Polymer Science. 2023. Vol. 20, No. 2. P. 313–332. DOI: 10.21608/JTCPS.2023.237630.1238.

14. Yuldashev K., Djuraev A., Teshaboev O. Development of construction of a screw conveyer that transports and cleans cotton, justification of screw parameters // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 471. Art. 04011. DOI: 10.1051/e3sconf/202447104011.

15. Tuychiev T., Turdiyev H., Ruzmetov R., Gapparova M., Sharipov K. Research on an improved and set spiked cylinder 6A-12M1 // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 139. Art. 03002. DOI: 10.1051/bioconf/202413903002.

16. O'Brien R.D., Jones L.A., King C.C., Wakelyn P.J., Wan P.J. Cottonseed oil // Bailey's Industrial Oil and Fat Products. 6th ed. / ed. F. Shahidi. Vol. 2. Hoboken: Wiley, 2005.

17. Code of Federal Regulations. Title 7, § 61.103. Determination of quality index (cottonseed). Washington, DC: U.S. Government Publishing Office.

CC BY 4.0

18. Miroshnichenko G.I. Fundamentals of designing machines for primary cotton processing. Moscow: Mashinostroenie, 1972. (in Russian)

19. Spivakovsky A.O., Dyachkov V.K. Conveying machines. 3rd ed. Moscow: Mashinostroenie, 1983. (in Russian)

CC BY 4.0

УДК 677.051.164.6:67.05.

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МОЙКИ ШЕРСТИ НА ОСНОВЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МАЛОГАБАРИТНОЙ УСТАНОВКИ

Тугузбаева Робия Бердимуратовна, Хакимов Шеркул Шергозиевич

Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti

Тугузбаева Робия Бердимуратовна: ORCID 0009-0001-8480-9696, r60455698@gmail.com

Хакимов Шеркул Шергозиевич: ORCID 0000-0002-1933-1948, lionandlion9@mail.ru

Аннотация. Рассмотрена задача ресурсосбережения при первичной обработке шерсти на малых предприятиях, расположенных вблизи мест заготовки сырья. Представлена усовершенствованная малогабаритная шерстомоечная машина с отжимным устройством, в котором шерсть отжимается рифлёным валом на участке огибающей его перфорированной сетки (пат. UZ FAP 02351). На основе закона Дарси показано, что при сжатии слоя, задаваемом зазором между валом и сеткой, объём отжимаемого раствора и импульс давления возрастают пропорционально длине зоны отжима, тогда как в паре отжимных валов при заданной силе прижатия импульс от ширины контакта не зависит. Полный факторный эксперимент 2^3 (8 опытов в трёх повторностях) показал, что остаточная влажность шерсти уменьшается с увеличением диаметра вала и возрастает с увеличением зазора и диаметра отверстий сетки; полученная регрессионная модель адекватна по критерию Фишера. Производственные испытания на грубой и полугрубой шерсти показали снижение влажности после отжима с 65–70 до 55–60 % (на 10 процентных пунктов, или примерно на 15 % относительно), удельного расхода воды — с 9,9 до 4,1 л/кг (в 2,4 раза), удельной электроёмкости — с 17,3 до 9,9 Вт·ч/кг (на 43 %), расхода моющего средства — на 42 % при эффективности очистки 92–95 %. Выход мытой шерсти снизился на 4 процентных пункта, причины чего обсуждаются. Установка рекомендована для малых и средних предприятий первичной обработки шерсти.

Ключевые слова: первичная обработка шерсти, шерстомоечная машина, отжимное устройство, перфорированная сетка, закон Дарси, факторный эксперимент, удельный расход воды, энергоэффективность.

RESOURCE-SAVING WOOL SCOURING TECHNOLOGY BASED ON AN IMPROVED SMALL-SCALE MACHINE

Abstract. The paper addresses resource saving in the primary processing of wool at small enterprises located close to the places of wool collection. An improved small-scale wool scouring machine is presented in which wool is squeezed by a ribbed roller along the arc of a perforated screen wrapping it (patent UZ FAP 02351). Based on Darcy's law, it is shown that when the compression of the wool layer is set by the gap between the roller and the screen, the pressure impulse and the volume of expelled liquor increase in proportion to the length of the squeezing zone, whereas in a pair of squeeze rollers with a given pressing force the impulse does not depend on the contact width. A full factorial 2^3 experiment (8 runs in three replicates) showed that the residual moisture decreases with increasing roller diameter and increases with the gap and the screen hole diameter; the regression model is adequate by Fisher's criterion. Industrial trials on coarse and semi-coarse wool showed a reduction of moisture after squeezing from 65–70 to 55–60 % (by 10 percentage points, or about 15 % relative), of specific water consumption from 9.9 to 4.1 L/kg (2.4 times), of specific electricity consumption from 17.3 to 9.9 Wh/kg (by 43 %) and of detergent consumption by 42 %, with a cleaning efficiency of 92–95 %. The yield of scoured wool decreased by 4

CC BY 4.0

percentage points; its causes are discussed. The machine is recommended for small and medium-sized enterprises engaged in the primary processing of wool.

Keywords: wool scouring, scouring machine, squeezing device, perforated screen, Darcy's law, factorial experiment, specific water consumption, energy efficiency

Для цитирования: Тугузбаева Р. Б., Хакимов Ш. Ш. РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МОЙКИ ШЕРСТИ НА ОСНОВЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МАЛОГАБАРИТНОЙ УСТАНОВКИ // ARGO — научный журнал. — 2026. — Т. 2026, № 5. — С. 27–40. — URL: https://www.robutpit.com/journal/article/7-resursosberegaiushchaia-tekhnologiia-moiki-shersti-na-osnove-usovershenstvovanno/.

For citation: Tuguzbayeva, R. B., & Xakimov, S. S. (2026). RESOURCE-SAVING WOOL SCOURING TECHNOLOGY BASED ON AN IMPROVED SMALL-SCALE MACHINE. ARGO Scientific Journal, 2026(5), 27–40. https://www.robutpit.com/journal/article/7-resursosberegaiushchaia-tekhnologiia-moiki-shersti-na-osnove-usovershenstvovanno/

Поступила: 13.10.2026 · Одобрена: 19.10.2026

© Авторы, 2026. Статья распространяется по лицензии CC BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Введение. Шерстяное волокно остаётся одним из основных натуральных сырьевых материалов текстильной промышленности, а первичная обработка шерсти — одним из наиболее водо- и энергоёмких её переделов [1]. Традиционная эмульсионная мойка требует 8–10 л воды на 1 кг немытой шерсти [5], тогда как уровень наилучших доступных технологий (НДТ) составляет 2–4 л/кг для средних и крупных предприятий и 6 л/кг — для малых [6]; в качестве мер НДТ выделены противоточная мойка с промежуточным механическим отжимом и рециркуляция промывных вод [7]. Физические методы интенсификации мойки — ультразвук [2], импульсные разряды [3], высокоэнергетическая обработка [4] — требуют дополнительного оборудования.

Узким местом шерстомоечных машин остаётся отжим шерсти между секциями барки: в паре отжимных валов отжим происходит лишь в зоне наименьшего зазора, при неравномерном слое верхний вал приподнимается, и влажность шерсти после валов составляет 60–80 % [8], а вместе с раствором в следующую секцию переносится растворённая грязь.

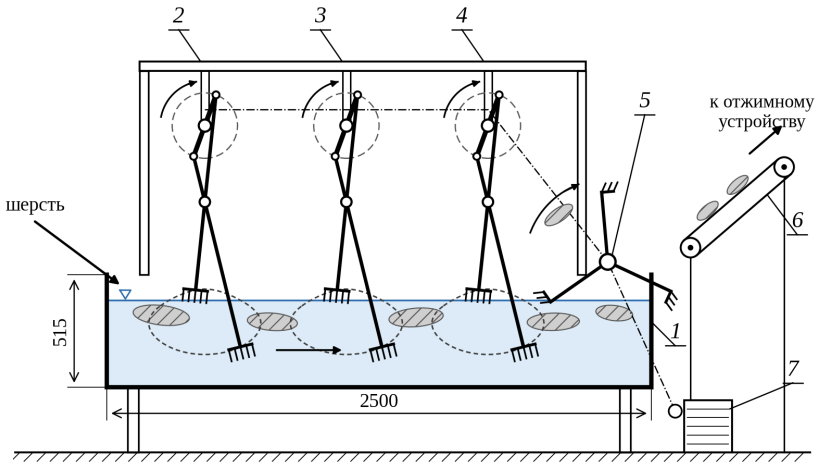
В Республике Узбекистан реализуются меры по развитию шерстяной отрасли и модернизации предприятий первичной переработки шерсти [10]. Вместе с тем из ежегодно заготавливаемых около 40 тыс. т шерсти перерабатывается лишь около 6 тыс. т, т. е. примерно 15 % [11]. Поскольку овцы в основном выпасаются в пустынных и горных районах, мойку шерсти целесообразно организовать вблизи мест заготовки с использованием малогабаритных водосберегающих установок [12, 13].

В работах [12–14] описаны конструкция малогабаритной шерстомоечной машины и отжимного устройства, в патенте [9] — его формула. **Научная новизна** настоящей статьи состоит в следующем: 1) дано обоснование преимущества протяжённой зоны отжима на основе закона Дарси с разграничением режимов «заданная сила прижатия» (пара валов) и «заданный зазор» (вал с огибающей сеткой); 2) приведены результаты полного факторного эксперимента 2^3 по влиянию диаметра вала, диаметра отверстий сетки и зазора на остаточную влажность шерсти и адекватная регрессионная модель, ранее представленные только в диссертации [18]; 3) выполнена оценка удельных показателей расхода воды, электроэнергии, моющего средства и теплоты на сушку в сопоставлении с уровня-

ми НДТ [6, 7], а также вместимости барок, приведённой к единой базе. Описание конструкции (раздел 2) дано в объёме, необходимом для воспроизведения эксперимента; формула изобретения [9] и описания [12–14] в статье не повторяются.

Цель статьи — теоретическое обоснование и экспериментальная оценка ресурсосберегающей технологии мойки шерсти на малогабаритной машине, оснащённой отжимным устройством [9].

2. Конструкция установки. Машина (рис. 1) состоит из пяти последовательно расположенных моечных барок длиной 2500 мм, рабочей шириной 600 мм и высотой 515 мм. Рабочий объём раствора в такой барке не может превышать её геометрического объёма 2,5 × 0,6 × 0,515 ≈ 0,77 м³, тогда как рабочая ёмкость барки существующей машины МП-5Ш составляет 8 м³. Следовательно, при сравнении на единой основе — по рабочему объёму раствора — объём барки уменьшен не менее чем в 10 раз (8 : 0,77 ≈ 10,4). Суммарный рабочий объём раствора V в пяти барках составляет не более 3,9 м³ против 40 м³ у МП-5Ш. С учётом меньшей производительности машины удельная вместимость V/G (объём раствора, приходящийся на 1 кг/ч производительности) составляет не более 8,6–9,7 л·ч/кг против 50–57 л·ч/кг у МП-5Ш (табл. 3), т. е. уменьшена примерно в 5,8–5,9 раза (по средним значениям 9,1 и 53 л·ч/кг). Это позволяет организовать мойку шерсти с использованием водосберегающих мини-технологий по регионам. Основные конструктивные и режимные параметры машины и отжимного устройства приведены в табл. 1.



1 – моющая барка; 2, 3, 4 – прогонные грабли; 5 – выгружатель-тройчатка; 6 – подающий транспортёр; 7 – электродвигатель; штриховые линии – траектории концов колков

Рис. 1. Схема усовершенствованной малогабаритной шерстомоечной машины (размеры в мм)

Прогонные грабли (рис. 2) перемещают шерсть по барке и перемешивают моющий раствор; они изготовлены из стали 45. Каждый грабельный механизм состоит из коленчатого вала с двумя держателями вил на подшипниках; колена смещены на 180°, поэтому грабли поочерёдно погружаются в раствор, продвигают шерсть и возвращаются в исходное положение. Длина грабель — 250 мм, число прямых колков — 5.

Выгружатель-тройчатка (рис. 3) передаёт шерсть на отжимное устройство. Он состоит из трёх гребёнок длиной 310 мм с семью слегка изогнутыми колками, свободно установленных на двух концевых подшипниках качения; серповидные рычаги при движении перекатываются по валику и фиксируют положение гребёнок, необходимое для извлечения шерсти из раствора.

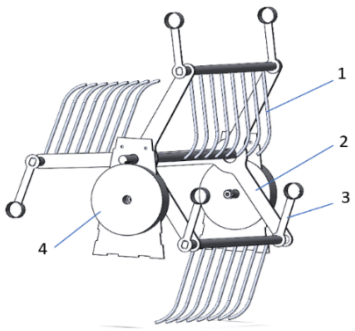
CC BY 4.0





Рис. 2. Прогонные грабли





1 – колки грабель; 2 – тройчатка; 3 – рычаг; 4 – колесо

Рис. 3. Выгружатель-тройчатка

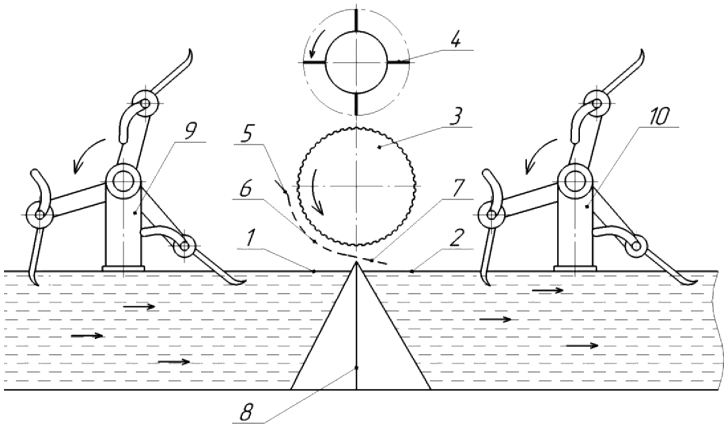
Отжимное устройство выполнено по патенту UZ FAP 02351 [9] (рис. 4). Над линией стыка секций 1 и 2 барки установлен рифлёный отжимной вал 3, под которым закреплена перфорированная сетка 5; её часть 6 огибает вал над секцией 1, а часть 7 расположена над секцией 2. Шерсть через планчатый барабан 4 направляется между валом и сеткой; загрязнённый раствор отжимается через сетку обратно в секцию 1, а отжатая шерсть по части 7 поступает в секцию 2 с более чистым раствором. Отжим происходит не по линии контакта двух валов, а на всём участке сетки, огибающем вал, что соответствует принципу противоточной мойки с промежуточным отжимом [7].

Таблица 1. Конструктивные и режимные параметры машины и отжимного устройства [18]

Параметр	**Значение**
Производительность, кг/ч	400–450
Число барок	5
Длина × рабочая ширина барки, мм	2500 × 600
Частота вращения коленчатых валов грабель и выгружателя, мин$^{-1}$	10–15
Диаметр рифлёного отжимного вала *D*, мм	250

CC BY 4.0

Параметр	**Значение**
Рабочая ширина вала B, мм	600
Частота вращения вала n, мин$^{-1}$	15
Окружная скорость вала $v = \pi Dn/60$, м/с	0,20
Диаметр планчатого барабана, мм / частота вращения, мин$^{-1}$	260 / 30–35
Диаметр отверстий сетки d, мм	2
Зазор между валом и сеткой h, мм	3
Угол охвата вала сеткой α (по схеме, рис. 4), град	≈ 90
Длина зоны отжима $L = R\alpha$, м	≈ 0,20
Время пребывания слоя в зоне отжима $t_2 = L/v$, с	≈ 1,0
Усилие прижатия вала к сетке (зазор h фиксирован)	не задаётся
Мощность привода отжимного устройства, кВт	1,1
Потребляемая мощность машины, кВт	4,2



1, 2 – секции барки; 3 – рифлёный вал; 4 – планчатый барабан; 5 – сетка (6, 7 – её части); 8 – линия стыка; 9, 10 – подающий и отводящий механизмы

Рис. 4. Схема отжимного устройства [9]

3. Теоретическое обоснование отжима. Чтобы отделить моющий раствор от шерсти, скорость его движения относительно волокон должна быть больше нуля и направлена к перфорированной сетке; она определяется давлением в зоне контакта вала с сеткой, а также свойствами слоя шерсти и жидкости [15]. Эффективность отжима оценивают по влажности шерсти после отжима, отнесённой к массе сухой шерсти:

$$W_{\text{отж}} = \frac{G_{\text{вл}} - G_{\text{сух}}}{G_{\text{сух}}} \cdot 100\ \%, \qquad (1)$$

где $G_{\text{вл}}$ — масса пробы шерсти после отжима, г; $G_{\text{сух}}$ — масса той же пробы, высушенной до постоянной массы, г.

Движение раствора относительно деформируемого волокнистого слоя описывается законом Дарси [16]:

$$\varepsilon\,(v_{\text{ж}} - v_{\text{ш}}) = -\frac{k}{\mu}\,\frac{\partial p}{\partial x}, \qquad (2)$$

CC BY 4.0

где ε — пористость слоя; $v_{ж}$, $v_{ш}$ — скорости раствора и волокна, м/с; k — проницаемость слоя, м²; μ — динамическая вязкость раствора, Па·с; p — давление, Па. Для слоя толщиной h, сжатого между валом и сеткой, удельный поток раствора через слой в направлении сетки приближённо равен

$$q = \frac{k}{\mu}\,\frac{\Delta p}{h}, \qquad (3)$$

где q — объёмный поток раствора через единицу площади, м³/(м²·с); Δp — перепад давления в слое, создаваемый его сжатием, Па. Объём раствора, отжимаемый с единицы площади слоя за время пребывания в зоне отжима t, составляет

$$V = q\,t = \frac{k\,\Delta p}{\mu\,h}\,t. \qquad (4)$$

Мерой интенсивности отжима служит импульс давления $I = \int_0^t p\,dt$ [17]. Принципиально различаются два режима нагружения слоя (рис. 5).

Пара отжимных валов (заданная сила). Давление создаётся силой прижатия F верхнего вала и распределяется по площадке контакта шириной b, поэтому среднее давление $\bar{p}_1 = F/(Bb)$, время отжима $t_1 = b/v$, а импульс

$$I_1 = \bar{p}_1\,t_1 = \frac{F}{B\,v} \qquad (5)$$

не зависит от ширины площадки: увеличение b при той же силе снижает давление ровно настолько, насколько увеличивает время. Кроме того, при неравномерном слое верхний вал приподнимается, а отжатый раствор частично вновь впитывается слоем на выходе из зазора [17].

Вал с огибающей сеткой (заданный зазор). Сетка закреплена неподвижно, и слой на всей дуге охвата сжат до толщины, близкой к зазору h. Давление в слое определяется степенью его сжатия, т. е. зазором, а не внешней силой, и в первом приближении сохраняется на всей длине зоны $L = R\alpha$ (R — радиус вала, α — угол охвата, рад). Тогда $t_2 = R\alpha/v$ и

$$I_2 = \bar{p}_2\,\frac{R\alpha}{v}, \qquad \frac{I_2}{I_1} = \frac{R\alpha}{b} \quad \text{при} \quad \bar{p}_2 = \bar{p}_1. \qquad (6)$$

Следовательно, при одинаковом уровне давления (одинаковой степени сжатия слоя), а не при одинаковой силе, протяжённая зона даёт импульс и, согласно (4), объём отжатого раствора в $R\alpha/b$ раз больше. Отжатый раствор при этом отводится через сетку по всей длине зоны и не возвращается в слой.

Из (3)–(6) следуют проверяемые выводы: остаточная влажность должна уменьшаться с увеличением радиуса вала (длины зоны L при тех же угле охвата и окружной скорости вала) и увеличиваться с ростом зазора h (меньше Δp и длиннее путь фильтрации). Для параметров табл. 1 (R = 0,125 м, v = 0,20 м/с, $\alpha \approx \pi/2$) длина зоны отжима $L = R\alpha \approx$ 0,20 м, а время пребывания в ней слоя $t_2 = L/v \approx$ 1,0 с. В паре валов зазор переменен: на расстоянии x от линии центров он равен $\delta + x^2/R_{в}$, где δ — минимальный зазор, $R_{в}$ — радиус валов. Если считать зоной отжима участок, на котором зазор превышает минимальный не более чем на Δh = 1 мм, то её ширина $b = 2\sqrt{R_{в}\,\Delta h}$ для валов существующих машин диаметром 400–420 мм [18] составляет 28–29 мм, и при той же скорости слоя $t_1 = b/v \approx$ 0,14–0,15 с. Таким образом, в предлагаемом устройстве слой находится под максимальным сжатием примерно в 7 раз дольше ($L/b \approx$ 7).

Абсолютное значение V по (4) зависит от проницаемости k сжатого слоя, которая определяется степенью его сжатия и диаметром волокон и в настоящей работе не измеря-

CC BY 4.0

лась. Однако при сравнении режимов при одинаковой степени сжатия слоя величины k, μ и h одинаковы, поэтому отношение объёмов отжимаемого раствора $V_2/V_1 = t_2/t_1 = R\alpha/b \approx 7$ от них не зависит. Вместе с тем объём отжимаемого раствора ограничен равновесным влагосодержанием сжатого слоя [17], поэтому остаточная влажность снижается не пропорционально L/b: модель (3)–(6) предсказывает направление влияния параметров и относительное преимущество протяжённой зоны, но не абсолютное значение $W_{отж}$. Для количественного прогноза необходимо экспериментальное определение зависимости $k(\varepsilon)$ для слоя шерсти, что является задачей дальнейших исследований. Экспериментальная проверка установленных зависимостей приведена в разделе 5.1.

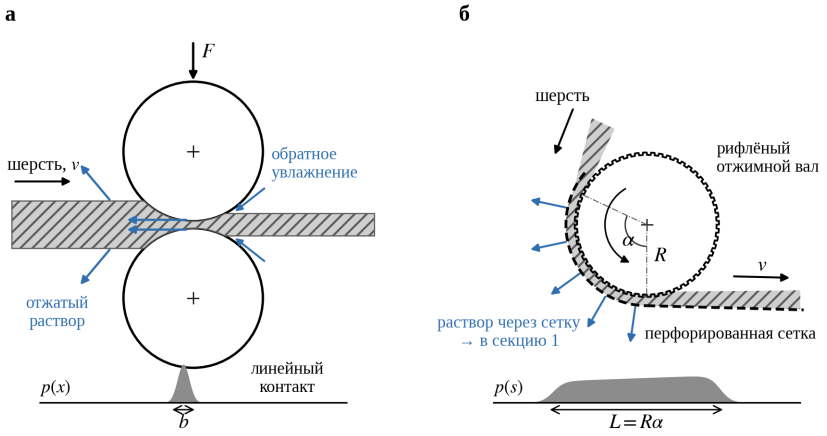


Рис. 5. Схемы отжима: а — парой валов; б — рифлёным валом с сеткой

Рифлёная поверхность вала препятствует скольжению шерсти по сетке под давлением и наматыванию шерсти на вал, обеспечивая её равномерное продвижение в зоне отжима.

4. Методика исследований. *Объект и условия испытаний.* Экспериментальная машина установлена и испытана в производственных условиях ООО «Hisori jun» (Олтинсайский район Сурхандарьинской области). В качестве существующего процесса рассматривалась линия МП-5Ш (пять барок по 8 м³, отжим парой валов), применяемая на предприятиях первичной обработки шерсти региона — ООО «Hisori jun» и ЧП «Oqbo‘tayeva Zulxumor» [18]. Испытания проведены в 2022 г.; пробы мытой шерсти проанализированы в ноябре 2022 г. В дальнейшем машина с отжимным устройством внедрена также в ЧП «Oqbo‘tayeva Zulxumor» (справка Комитета по развитию шелководства и шерстяной отрасли от 09.04.2024 № 1-1/287).

Сырьё и режим мойки. Испытания проводили на грубой и полугрубой шерсти весенней и осенней стрижки овец каракульской породы, заготовленной в Сурхандарьинской области (рис. 6). Состав немытой шерсти по данным [18]: жиропот — 11–12 %, влага — 10 %, растительные примеси — 3 %, минеральные примеси — 4–14,5 %, навозные загрязнения — 2–2,5 %, чистое волокно — 58–70 %. Мойку вели в пяти барках с противоточным движением раствора: чистую воду подавали в последнюю барку. Первая барка служила для предварительного замачивания шерсти и удаления минеральных загрязнений; в её раствор добавляли 1,0–1,3 г/л Na_2CO_3. Основное обезжиривание проводили во второй барке при концентрации неионогенного моющего средства Ultravon GP (Ciba) 1,5–2,0 г/л, в третьей — при 0,8–1,0 г/л; четвёртая и пятая барки служили для полоскания. Продол-

CC BY 4.0

жительность обработки шерсти составляла по 3 мин в каждой из первых трёх барок и по 1,5–2 мин в барках полоскания. Температуру раствора по ходу процесса ступенчато снижали с 60 до 35–40 °С [18]. Для существующего процесса (МП-5Ш) применялись то же моющее средство и тот же температурный режим.



Рис. 6. Образцы грубой и полугрубой шерсти: а — до мойки; б — после мойки

Определение влажности. Влажность шерсти после отжима определяли по ГОСТ 18080-95: в каждом опыте отбирали три лабораторные пробы массой по 100 г, взвешивали на весах с погрешностью ±0,05 %, высушивали в сушильном шкафу при (105 ± 2) °С до постоянной массы (первое взвешивание через 2,5–3,0 ч, последующие — через каждые 20 мин) и рассчитывали $W_{\text{отж}}$ по формуле (1).

Показатели качества мойки. Остаточное содержание жира в мытой шерсти определяли экстракцией в аппарате Сокслета (3 ч, водяная баня 75 ± 5 °С) по ГОСТ 21008-93, содержание растительных примесей — по ГОСТ 20270-84, минеральных примесей — по ГОСТ 29239-91 с кондиционированием проб по ГОСТ ISO 139-2014; анализы выполнены в испытательном центре «O‘zbek-turk test markazi» (протокол № TL-632/1,2 от 08.11.2022). Эффективность очистки рассчитывали по остаточному содержанию загрязнений: $E_{\text{оч}} = (Z_0 - Z_1)/Z_0 \cdot 100$ %, где Z_0 и Z_1 — массовая доля загрязнений в шерсти до и после мойки, %.

Факторный эксперимент. Влияние параметров отжимного устройства на остаточную влажность исследовали методом полного факторного эксперимента 2^3 [18]. Факторы и уровни варьирования: x_1 — диаметр отверстий сетки d = 1; 2; 3 мм; x_2 — диаметр вала D = 200; 250; 300 мм; x_3 — зазор h = 2; 3; 4 мм (нижний, основной и верхний уровни). Каждый из N = 8 опытов выполняли в m = 3 повторностях (всего 24 опыта); машину запускали, и через 30 с включали подачу шерсти. Однородность дисперсий проверяли по критерию Кохрена, значимость коэффициентов регрессии — по критерию Стьюдента, адекватность модели — по критерию Фишера при уровне значимости 0,05 [19].

Удельные показатели. Удельный расход воды $w = W_{\text{см}}/(G\ t_{\text{см}})$, л/кг, и удельную электроёмкость $e = N_{\text{п}}/G$, Вт·ч/кг, рассчитывали по расходу воды за смену $W_{\text{см}}$, производительности G, потребляемой мощности $N_{\text{п}}$ и продолжительности смены $t_{\text{см}}$ = 8 ч; средние значения — по средней производительности, диапазоны — по граничным значениям табл. 3. Удельную вместимость V/G, л·ч/кг, рассчитывали как отношение суммарного рабочего объёма раствора в барках V к производительности.

CC BY 4.0

Статистическая обработка сравнительных испытаний. Влажность $W_{\text{отж}}$ для каждого процесса определяли в четырёх опытах ($n = 4$), в каждом — по трём лабораторным пробам; результаты представлены диапазоном (минимум–максимум) и средним значением. Значимость различия средних $W_{\text{отж}}$ проверяли по t-критерию Стьюдента при уровне значимости 0,05, оценивая среднее квадратическое отклонение (СКО) консервативно по размаху диапазона: $s = R/d_2$, где R — размах, $d_2 = 2,059$ — коэффициент для выборки объёмом $n = 4$, а также по непараметрическому критерию Манна–Уитни. Показатели w и e являются расчётными: их диапазоны определяются диапазоном производительности G при фиксированных за смену расходе воды и потребляемой мощности, а не случайной погрешностью, поэтому для них различие оценивалось по неперекрытию диапазонов.

Сопоставимость и ограничения. Сравниваемые машины имеют разную производительность, поэтому они сопоставлялись по удельным показателям. Для существующего процесса использованы данные производственного учёта линии МП-5Ш на тех же предприятиях, согласующиеся с литературными данными [8]; сырьё было одного вида и сезона стрижки, но не одной партии. Это обстоятельство рассматривается как ограничение исследования.

5. Результаты и обсуждение.

5.1. Влияние параметров отжимного устройства. Матрица планирования и результаты эксперимента приведены в табл. 2.

Таблица 2. Матрица планирования 2^3 и остаточная влажность шерсти после отжима, % [18]

№	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	$\bar{y}$	s^2
1	–	–	–	57,0	57,5	58,3	57,60	0,43
2	+	–	–	58,3	58,5	58,7	58,50	0,04
3	–	+	–	54,5	55,2	55,4	55,03	0,22
4	+	+	–	57,2	56,2	57,4	56,93	0,41
5	–	–	+	58,5	57,2	56,8	57,50	0,79
6	+	–	+	59,8	59,5	59,0	59,43	0,16
7	–	+	+	55,1	56,3	56,2	55,87	0,44
8	+	+	+	57,1	58,8	57,0	57,63	1,02

Расчётное значение критерия Кохрена G = 0,290 меньше табличного $G_{0,05;\ 8;\ 2}$ = 0,52, т. е. дисперсии однородны; дисперсия воспроизводимости $s^2_{\{y\}}$ = 0,44, среднее квадратическое отклонение воспроизводимости s = 0,66 %. Среднее квадратическое отклонение коэффициентов регрессии $s_{\{b\}}$ = 0,14; при табличном значении $t_{0,05;\ 16}$ = 2,12 значимы коэффициенты $|b| \geq 0,29$. Коэффициенты парных и тройного взаимодействий ($|b|$ = 0,09–0,15) незначимы. После исключения незначимых коэффициентов получено уравнение регрессии в кодированных переменных

$$\hat{y} = 57,3 + 0,81\ x_1 - 0,95\ x_2 + 0,30\ x_3. \qquad (7)$$

CC BY 4.0

Дисперсия адекватности $s^2_{\text{ад}}$ = 0,31 при числе степеней свободы $f = N - l = 4$ (l — число значимых коэффициентов); расчётное значение критерия Фишера $F_{\text{р}} = s^2_{\text{ад}}/s^2_{\{y\}}$ = 0,31/0,44 = 0,71 меньше табличного $F_{\text{т}}$ = 3,0 (при 4 и 16 степенях свободы), следовательно, модель (7) адекватна. В центре плана, т. е. при d = 2 мм, D = 250 мм и h = 3 мм, модель даёт $\hat{y}$ = 57,3 %, что практически совпадает со средним значением 57,5 %, полученным в производственных испытаниях при тех же параметрах (разд. 5.2).

Знаки коэффициентов согласуются с выводами раздела 3. Увеличение диаметра вала с 200 до 300 мм (при том же угле охвата длина зоны L возрастает в 1,5 раза) снижает остаточную влажность на 1,9 п.п.; увеличение зазора с 2 до 4 мм повышает её на 0,6 п.п. Рост влажности с увеличением диаметра отверстий сетки (на 1,6 п.п. при переходе от 1 до 3 мм) объясняется тем, что при крупных отверстиях уменьшается опорная поверхность сетки, слой вдавливается в отверстия и сжимается неравномерно. Это объяснение является качественным: влияние диаметра отверстий моделью (3)–(6) не описывается и установлено экспериментально. Вместе с тем при h = 2 мм и D = 300 мм наблюдались заклинивание и повреждение волокна, а при D = 200 мм — наматывание шерсти на вал [18]. Поэтому в качестве рациональных приняты D = 250 мм, h = 3 мм и d = 2 мм (табл. 1).

5.2. Сравнительные производственные испытания. Результаты приведены в табл. 3 и на рис. 7; значения указаны в виде диапазонов (минимум–максимум) по данным испытаний.

Таблица 3. Результаты сравнительных испытаний процессов мойки шерсти

Показатель	**Существующий процесс (МП-5Ш)**	**Предлагаемый процесс**
Влажность шерсти после отжима $W_{\text{отж}}$ (на сухую массу), %	65–70 (67,5)	55–60 (57,5)
Расход воды в барках за смену $W_{\text{см}}$, м³	59,6	14
Удельный расход воды w, л/кг	9,3–10,6 (9,9)	3,9–4,4 (4,1)
Доля оборотной воды, %	70	80
Расход моющего средства, кг на 100 кг немытой шерсти	6	3,5
Производительность машины G, кг/ч	700–800	400–450
Суммарный рабочий объём раствора в барках V, м³	40	≤ 3,9
Удельная вместимость V/G, л·ч/кг	50–57 (53)	≤ 8,6–9,7 (9,1)
Потребляемая мощность $N_{\text{п}}$, кВт	13	4,2
Удельная электроёмкость e, Вт·ч/кг	16,3–18,6 (17,3)	9,3–10,5 (9,9)
Выход мытой шерсти, %	64–66	60–62

Примечание: в скобках — средние значения (для $W_{\text{отж}}$ — по $n = 4$ опытам); для w, e и V/G — значения при средней производительности.

Влажность шерсти после отжима снизилась в среднем с 67,5 до 57,5 %, т. е. на 10 процентных пунктов, или на 14,8 % относительно исходного значения. Диапазоны значений для двух процессов не перекрываются: все четыре значения для предлагаемого процесса

CC BY 4.0

меньше всех четырёх значений для существующего. При консервативной оценке СКО по размаху диапазона (R = 5 п.п., $n = 4$) расчётное значение t = 5,8 превышает табличное $t_{0,\,05;\,6}$ = 2,45; критерий Манна–Уитни также подтверждает различие (U = 0, p = 0,029). Разность средних в 15 раз превышает и среднее квадратическое отклонение воспроизводимости опыта (0,66 %, разд. 5.1). Полученные значения согласуются с результатами испытаний устройства [14] и с моделью (7), которая при рациональных параметрах даёт 57,3 % (разд. 5.1). Поскольку модель (7) получена на той же машине, такое совпадение характеризует внутреннюю согласованность данных и не является независимой проверкой модели.

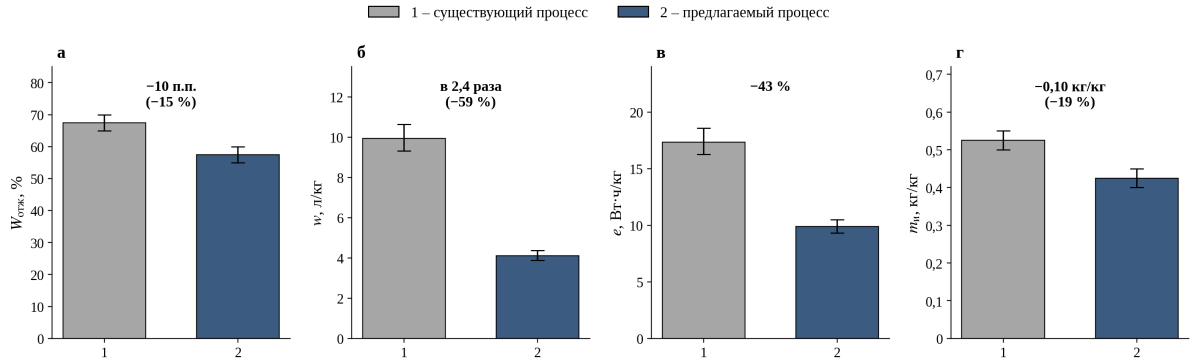


Рис. 7. Сравнение процессов мойки: а — $\mathbf{W}_{отж}$; б — $\mathbf{w}$; в — $\mathbf{e}$; г — $\mathbf{m}_и$ при $\mathbf{W}_к$ = 15 %. Высота столбца — середина диапазона, «усы» — диапазон значений (минимум–максимум) по табл. 3

Удельный расход воды уменьшился в 2,4 раза — с 9,9 до 4,1 л/кг, что близко к уровню НДТ для средних и крупных предприятий (2–4 л/кг) и ниже уровня 6 л/кг для малых предприятий [6]. Следует оговорить, что такое сопоставление корректно лишь при одинаковой базе учёта: в [6, 7] нормируется потребление свежей воды, тогда как в настоящей работе Wсм — объём воды, израсходованной в барках за смену (доля оборотной воды для обоих процессов приведена в табл. 3). Это обусловлено уменьшением рабочего объёма барок (суммарно с 40 до не более 3,9 м³, удельной вместимости — примерно в 5,9 раза) и увеличением доли оборотной воды с 70 до 80 %. Удельная электроёмкость снизилась с 17,3 до 9,9 Вт·ч/кг (на 43 %), расход моющего средства — с 6 до 3,5 кг на 100 кг немытой шерсти (на 42 %). Диапазоны расчётных значений w и e для двух процессов не перекрываются.

Масса влаги, испаряемой при сушке на 1 кг сухой шерсти, $m_и = (W_{отж} - W_к)/100$, кг/кг, где $W_к$ — конечная влажность после сушки, %, уменьшается на 0,10 кг/кг, т. е. на 17–20 % при $W_к$ = 10–17 % (рис. 7, г). При удельной теплоте парообразования воды r = 2,26–2,36 МДж/кг (в интервале температур 100–60 °C [20]) теоретическая экономия теплоты составляет $\Delta Q = 0,10\ r$ = 0,23–0,24 МДж на 1 кг сухой шерсти; фактическая экономия теплоты в $1/\eta$ раз больше, где η — КПД сушильной машины.

Показатели качества мытой шерсти определены в испытательном центре «O‘zbek-turk test markazi» (протокол № TL-632/1,2 от 08.11.2022). Эффективность очистки шерсти на усовершенствованной машине, рассчитанная по остаточному содержанию загрязнений (разд. 4), составила 94,5 % для шерсти весенней и 92–95 % — осенней стрижки [18].

Выход мытой шерсти снизился в среднем на 4 процентных пункта (с 64–66 до 60–62 %). Возможными причинами являются потери коротких волокон через отверстия сетки и на

CC BY 4.0

колках грабель, более полное удаление жира и загрязнений, а также различие партий сырья. Прямого подтверждения второй причины в работе нет: эффективность очистки для существующего процесса (МП-5Ш) не измерялась. Разделить вклад этих факторов позволит определение выхода чистого волокна по методам IWTO (ГОСТ 30190-2000), которое предусмотрено на следующем этапе работы. Для оценки влияния на экономический эффект отметим, что снижение выхода на 4 п.п. соответствует уменьшению массы мытой шерсти на 0,04 кг на 1 кг перерабатываемого сырья (около 6 % продукции), тогда как на том же 1 кг сырья экономится 5,8 л воды, 7,4 Вт·ч электроэнергии и 25 г моющего средства, а в расчёте на 1 кг сухой шерсти — теплота испарения 0,10 кг влаги. Экономический эффект положителен, если стоимость сэкономленных ресурсов превышает стоимость фактически потерянного волокна; поскольку часть снижения выхода может быть обусловлена более полной очисткой, а не потерей волокна, окончательная оценка эффекта возможна только после определения выхода чистого волокна. Меньшая производительность установки соответствует её назначению для малых и средних предприятий.

6. Заключение.

1. Применение рифлёного вала с огибающей его перфорированной сеткой переводит отжим из режима «заданной силы» в режим «заданного зазора», при котором при одинаковой степени сжатия слоя импульс давления и объём отжимаемого раствора возрастают пропорционально длине зоны отжима $L = R\alpha$.
2. Полный факторный эксперимент 2^3 подтвердил, что остаточная влажность снижается с увеличением диаметра вала и возрастает с увеличением зазора и диаметра отверстий сетки; рациональные параметры: D = 250 мм, h = 3 мм, d = 2 мм; при этих параметрах модель (7) даёт 57,3 %, что совпадает со средним значением, полученным в производственных условиях (57,5 %).
3. При уменьшении рабочего объёма барок не менее чем в 10 раз в производственных условиях влажность шерсти после отжима снизилась с 65–70 до 55–60 % (на 10 п.п., различие статистически значимо), удельный расход воды — в 2,4 раза (до 4,1 л/кг), удельная электроёмкость — на 43 %, расход моющего средства — на 42 %, масса испаряемой при сушке влаги — на 17–20 % при эффективности очистки 92–95 %.
4. Выход мытой шерсти снизился на 4 п.п.; его причины и влияние на экономический эффект подлежат уточнению с определением выхода чистого волокна по методам IWTO (ГОСТ 30190-2000).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Вклад авторов. Все авторы участвовали в подготовке рукописи и одобрили её окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Исследуемое отжимное устройство защищено патентом UZ FAP 02351 [9].

Список литературы

1. Simpson W.S., Crawshaw G.H. (eds.) Wool: Science and Technology. — Cambridge: Woodhead Publishing, 2002. — XIV, 368 p. — ISBN 978-1-85573-574-3.

CC BY 4.0

2. Bahtiyari M.I., Duran K. A study on the usability of ultrasound in scouring of raw wool // Journal of Cleaner Production. — 2013. — Vol. 41. — P. 283–290. — DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.09.009.
3. Zhang Y., Pang G., Zhao Y., Wang X., Bu F., Zhao X. Pulsed electrohydraulic discharge for wool fiber cleaning // Journal of Cleaner Production. — 2016. — Vol. 112. — P. 1033–1039. — DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.08.023.
4. Kunik A., Semeshko O., Asaulyuk T., Saribyekova Y., Myasnykov S. Development of a two-step technology of scouring wool by the method of high-energy discrete treatment // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. — 2016. — Vol. 4, No. 10(82). — P. 36–43. — DOI: 10.15587/1729-4061.2016.76380.
5. Shi C., Wang Q., Li D., Zeng B., Liu Q., Cui Y., Wang J., Wang X. Inorganic composite coagulant for wool scouring wastewater treatment: Performance, kinetics and coagulation mechanism // Separation and Purification Technology. — 2023. — Vol. 313. — Art. 123482. — DOI: 10.1016/j.seppur.2023.123482.
6. European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry. — Seville: European IPPC Bureau, July 2003. — 626 p.
7. Commission Implementing Decision (EU) 2022/2508 of 9 December 2022 establishing the best available techniques (BAT) conclusions for the textiles industry // Official Journal of the European Union. — 2022. — L 325. — P. 112–161.
8. Горбунова Л.С., Рогачев Н.В., Васильева Л.Г., Колдаев В.М. Первичная обработка шерсти: учебник для средних специальных учебных заведений лёгкой промышленности. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 352 с.
9. Пат. UZ FAP 02351. Устройство для отжима шерсти в шерстомойной барке / Тугузбаева Р.Б., Хакимов Ш.Ш., Исмойилов Ф.Б., Махаммадиев З.О., Жураев Ж.Б. — Заявл. 28.03.2022; опубл. 30.11.2023, Бюл. № 11.
10. Постановление Президента Республики Узбекистан от 08.07.2021 г. № ПП-5178 «О дополнительных мерах по эффективному использованию действующих пастбищ и поддержке переработки шелка и шерсти в республике».
11. Рассмотрены приоритетные задачи по развитию кожевенно-обувной промышленности [Электронный ресурс] // Официальный веб-сайт Президента Республики Узбекистан. — 2026. — 5 мая. — URL: https://president.uz/ru/lists/view/9177 (дата обращения: 14.10.2026).
12. Хакимов Ш.Ш., Тугузбаева Р.Б. Водосберегающая малогабаритная машина для мойки шерсти // Universum: технические науки. — 2021. — № 6-2 (87). — С. 83–85. — DOI: 10.32743/UniTech.2021.87.6.11976.
13. Хакимов Ш.Ш., Тугузбаева Р.Б. Проблемы переработки шерсти // Молодежь и XXI век – 2021: материалы XI Междунар. молодежной науч. конф. — Курск: ЮЗГУ, 2021. — С. 400–403.
14. Хакимов Ш.Ш., Тугузбаева Р.Б., Исмойилов Ф.Б. Устройство для отжима шерсти в моечной барке // Universum: технические науки. — 2022. — № 12-4 (105). — С. 19–21. — DOI: 10.32743/UniTech.2022.105.12.14771.
15. Тугузбаева Р.Б., Хакимов Ш.Ш., Ахмедова З. Анализ теоретических основ процесса промывки шерсти // Молодежь и XXI век – 2022: материалы Междунар. молодежной науч. конф. — Курск, 2022. — С. 402–405.

CC BY 4.0

16. Bear J. Dynamics of Fluids in Porous Media. — New York: Dover, 1988. — XVII, 764 p. — ISBN 978-0-486-65675-5.
17. McDonald J.D., Kerekes R.J. Pragmatic mathematical models of wet pressing in papermaking // BioResources. — 2017. — Vol. 12, No. 4. — P. 9520–9537. — DOI: 10.15376/biores.12.4.McDonald.
18. Тугузбаева Р.Б. Совершенствование рабочих органов шерстомоечной машины: дис. … д-ра философии (PhD) по техн. наукам: 05.02.03. — Ташкент: ТИТЛП, 2024.
19. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1976. — 280 с.
20. Wagner W., Pruß A. The IAPWS formulation 1995 for the thermodynamic properties of ordinary water substance for general and scientific use // Journal of Physical and Chemical Reference Data. — 2002. — Vol. 31, No. 2. — P. 387–535. — DOI: 10.1063/1.1461829.

CC BY 4.0

Сведения об авторах / Authors

Абдугаффаров Хусниддин Журабекович — Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, xusniddinas662@gmail.com — с. 19

Бутовский Петр Михайлович — Ташкентский институт текстильной и лёгкой промышленности, gtnz1071980@gmail.com — с. 13

Назаров Жахонгир — Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti, elmurodnarmatov183@gmail.com — с. 4

Назаров Жахонгир — Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti, elmurodnarmatov183@gmail.com — с. 9

Росулов Рузимурод Хасанович — Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti, elmurodnarmatov183@gmail.com — с. 4

Росулов Рузимурод Хасанович — Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti, elmurodnarmatov183@gmail.com — с. 9

Тугузбаева Робия Бердимуратовна — Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti, ORCID 0009-0001-8480-9696, r60455698@gmail.com — с. 27

Хакимов Шеркул Шергозиевич — Toshkent to'qimachilik va yengil sanoat instituti, ORCID 0000-0002-1933-1948, lionandlion9@mail.ru — с. 27

CC BY 4.0