UDK: 677.027.522:658.567

ROTATSION BOSMA SHABLONLARIDAN TAKRORIY FOYDALANISH SAMARADORLIGINI BAHOLASHNING MATEMATIK MODELI

Inomov Umidjon Tohirjon o‘g‘li
Namangan davlat texnika universiteti
i.umidjon2609@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada rotatsion bosma shablonlarining hayotiy sikli va ulardan takroriy foydalanish samaradorligini baholash masalasi ko‘rib chiqiladi. Nikel shablonning solishtirma xarajatini regeneratsiyalar soniga bog‘lovchi matematik model taklif etilgan. Hisob-kitob natijalariga ko‘ra birinchi regeneratsiya bitta foydalanishga to‘g‘ri keladigan xarajatni 44 foizga kamaytiradi, beshinchisi esa atigi 9,9 foizga; ya’ni marginal foyda tez pasayadi va regeneratsiyalar sonini cheksiz oshirish iqtisodiy jihatdan asossizdir. Modelga nuqson yo‘qotishlari kiritilgach, funksiya aniq minimumga ega bo‘ladi va optimal regeneratsiyalar soni uchun analitik yechim olingan: $N^* = \sqrt{[2(1 - c_r)/(w \cdot \beta)]} - 1$. Baza parametrlarda $N^* = 5{,}25$ ni tashkil etadi. Sezgirlik tahlili N^* ning 2,4–8,4 oralig‘ida o‘zgarishini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: rotatsion bosma, nikel shablon, regeneratsiya, hayotiy sikl, lazerli tozalash, solishtirma xarajat, marginal foyda, omon qolish ehtimoli, nuqson yo‘qotishi, optimallashtirish, resurs tejash.

Аннотация. В статье рассматривается жизненный цикл ротационных печатных шаблонов и оценка эффективности их повторного использования. Предложена математическая модель, связывающая удельные затраты с числом регенераций. Расчёты показали, что первая регенерация снижает затраты на 44 %, а пятая — лишь на 9,9 %. После включения потерь от брака функция имеет явный минимум; получено аналитическое решение для оптимального числа регенераций N^*.

Abstract. The article examines the life cycle of rotary printing screens and the assessment of the efficiency of their reuse. A mathematical model relating the specific cost of a nickel screen to the number of reclaiming cycles is proposed. The calculations show that the first reclaiming reduces the cost per use by 44 %, whereas the fifth reduces it by only 9.9 %; the marginal benefit therefore declines rapidly. Once the cost of defective output is incorporated, the function acquires a distinct minimum and an analytical solution for the optimal number of reclaiming cycles is obtained: $N^* = \sqrt{[2(1 - c_r)/(w\beta)]} - 1$.

Kirish

Rotatsion bosma texnologiyasida ish organi vazifasini nikel qotishmasidan tayyorlangan silindrsimon to‘rli shablon bajaradi. Naqshning har bir rangi uchun alohida shablon talab etilgani sababli, ko‘p rangli buyurtmada bir vaqtning o‘zida to‘rt-sakkizta shablon ishlatiladi. Nikel shablon nisbatan qimmat mahsulot bo‘lgani uchun korxona uni bir marta ishlatib tashlab yubormaydi: buyurtma yakunlangach shablon lazerli tozalash (regeneratsiya) orqali qaytadan foydalanishga tayyorlanadi.

Amaliyotda esa hal etilmagan savol saqlanib qolmoqda: bitta shablonni necha marta regeneratsiya qilish iqtisodiy jihatdan maqbul? Bir tomondan, har bir qayta ishlatish yangi shablon sotib olish zaruratini bekor qiladi. Ikkinchi tomondan, har bir lazerli tozalash sikli nikel to‘rga termik ta’sir ko‘rsatadi, to‘r devorlarini noziklashtiradi va shablonning geometrik aniqligini pasaytiradi. Ma’lum bosqichdan keyin bunday shablon bilan bosilgan gazlamada nuqson ehtimoli oshadi va tejalgan mablag‘ nuqson hisobiga yo‘qoladi.

Korxonalarda bu savolga javob odatda tajribaviy tarzda, ustalarning mulohazasi asosida beriladi. Miqdoriy asos yo‘qligi ikki xil xatoga olib keladi: shablonni erta hisobdan chiqarish (resursning to‘liq ishlatilmasligi) yoki uni haddan tashqari uzoq ishlatish (nuqson yo‘qotishlarining ortishi). Maqolaning maqsadi — shablonlardan takroriy foydalanish samaradorligini baholovchi matematik modelni ishlab chiqish va uning asosida oqilona chegarani asoslashdir.

Model va hisoblash usuli

Shablonning bir marta ishlatilishiga to‘g‘ri keladigan solishtirma xarajat quyidagicha ifodalanadi:

$$K(N) = (C_n + N \cdot C_r) / (N + 1) , \quad (1)$$

bu yerda K(N) — bitta foydalanishga to‘g‘ri keladigan xarajat; C_n — yangi shablon narxi; C_r — bitta regeneratsiya sikli xarajati (lazer energiyasi, lak, ishchi vaqti, yuvish); N — regeneratsiyalar soni. Maxraj N + 1 ni tashkil etadi, chunki shablon N marta tiklanganda jami N + 1 marta ishlatiladi.

Tahlilni umumlashtirish uchun barcha qiymatlar yangi shablon narxiga nisbatan ifodalandi: $C_n = 1,0$; $c_r = C_r / C_n$. Bunda (1) formula quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$K(N) = (1 + N \cdot c_r) / (N + 1) . \quad (2)$$

Real sharoitda shablon har bir regeneratsiyadan keyin yaroqsiz holga kelishi mumkin. Buni hisobga olish uchun har bir sikldan keyin shablonning yaroqli qolish ehtimoli s kiritiladi. U holda kutilayotgan foydalanishlar soni geometrik qator yig‘indisi bilan aniqlanadi:

$$E[n] = \Sigma s^k , \quad k = 0, 1, \ldots, N . \quad (3)$$

Yuqoridagi (2) model faqat kamayuvchi tavsifga ega, ya’ni u minimum nuqtaga ega emas va rasmiy jihatdan $N \to \infty$ bo‘lganda eng maqbul yechim beradi. Bu real jarayonga zid: har bir regeneratsiya siklidan keyin to‘r devorlari noziklashadi, geometrik aniqlik pasayadi va bosma jarayonida nuqson ehtimoli ortadi. Shu sababli model nuqson yo‘qotishlari bilan to‘ldirildi. k-sikldan keyingi nuqson darajasi chiziqli ortadi deb qabul qilinadi: $d_k = d_0 + \beta k$, bu yerda d_0 — yangi shablondagi boshlang‘ich nuqson darajasi, β — uning har bir siklda ortish tezligi. Bitta nuqson partiyasining nisbiy zarari w bilan belgilanadi. U holda:

$$K(N) = (1 + N \cdot c_r)/(N + 1) + w \cdot (d_0 + \beta N/2) . \quad (4)$$

(4) ifodaning birinchi hadi N ortishi bilan kamayadi, ikkinchisi esa chiziqli ortadi. Demak funksiya aniq minimumga ega. dK/dN = 0 shartidan optimal regeneratsiyalar soni uchun analitik yechim olinadi:

$$N^* = \sqrt{[\, 2(1 - c_r) / (w \cdot \beta) \,]} - 1 . \quad (5)$$

(5) formula muhim uslubiy ahamiyatga ega: u optimal chegarani tajriba yo‘li bilan emas, uchta o‘lchanadigan parametr — regeneratsiya narxi, nuqsonli partiya zarari va nuqson darajasining o‘sish tezligi orqali aniqlash imkonini beradi.

Hisoblashlar Python muhitida bajarildi. Model quyidagi soddalashtirishlarga asoslanadi: regeneratsiya xarajati barcha sikllarda o‘zgarmas deb qabul qilingan; shablonning saqlash va transport xarajatlari hisobga olinmagan; nuqson yo‘qotishlari alohida emas, s ehtimoli orqali bilvosita hisobga olingan. Shu sababli natijalar aniq narx emas, balki qarorlarni qiyoslash uchun mo‘ljallangan nisbiy baholardir.

Natijalar va ularning tahlili

1. Solishtirma xarajatning regeneratsiyalar soniga bog‘liqligi. (2) formula bo‘yicha hisob uchta xarajat darajasida bajarildi: $c_r = 0,08$; 0,12 va 0,15 (1-jadval).

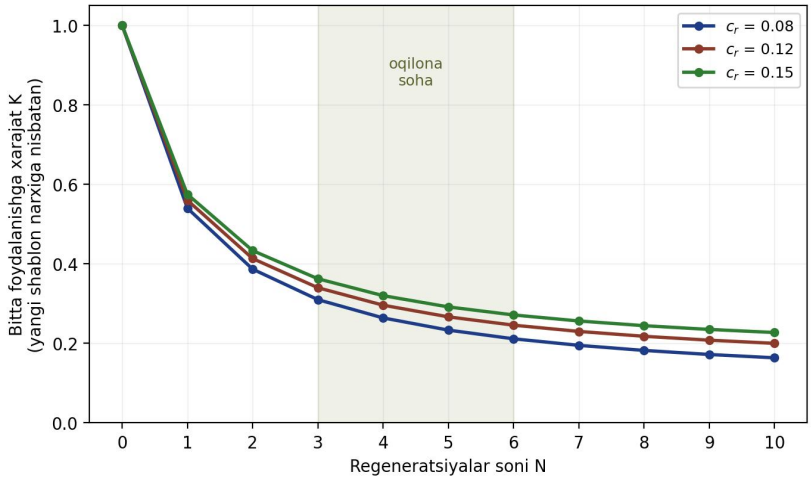
1-jadval

Bitta foydalanishga to‘g‘ri keladigan solishtirma xarajat K(N)

Regeneratsiyalar soni N	$c_r = 0,08$	$c_r = 0,12$	$c_r = 0,15$
0 (faqat yangi shablon)	1,000	1,000	1,000
1	0,540	0,560	0,575
2	0,387	0,413	0,433
3	0,310	0,340	0,362
4	0,264	0,296	0,320
5	0,233	0,267	0,292
6	0,211	0,246	0,271
8	0,182	0,218	0,244

Regeneratsiyalar soni N	$c_r = 0,08$	$c_r = 0,12$	$c_r = 0,15$
10	0,164	0,200	0,227

Manba: (2) formula bo‘yicha muallif hisobi (yangi shablon narxi 1,0 deb olingan).



1-rasm. Solishtirma xarajatning regeneratsiyalar soniga bog‘liqligi (muallif hisobi)

2. Marginal foyda tahlili. Egri chiziqning shakli asosiy xulosani beradi: xarajat kamayishi bir tekis emas, keskin susayuvchi tavsifga ega (2-jadval).

2-jadval

Har bir keyingi regeneratsiyaning marginal foydasi ($c_r = 0,12$)

O‘tish	K oldingi	K keyingi	Kamayish, %
N = 0 → 1	1,000	0,560	44,00
N = 1 → 2	0,560	0,413	26,19
N = 2 → 3	0,413	0,340	17,74
N = 3 → 4	0,340	0,296	12,94
N = 4 → 5	0,296	0,267	9,91
N = 5 → 6	0,267	0,246	7,86
N = 7 → 8	0,230	0,218	5,31
N = 9 → 10	0,208	0,200	3,85

Manba: (2) formula bo‘yicha muallif hisobi.

Birinchi regeneratsiya solishtirma xarajatni 44 foizga kamaytiradi — bu eng katta samara. Uchinchisidan keyin kamayish 12,9 foizga, beshinchisidan keyin 7,9 foizga tushadi, o‘ninchisida esa atigi 3,9 foizni tashkil etadi. Ya’ni oltinchi sikldan keyin regeneratsiyani davom ettirishning iqtisodiy foydasi statistik xatolik darajasiga yaqinlashadi, texnik xatar esa — to‘rning noziklashuvi va geometrik aniqlikning pasayishi — aksincha ortib boradi.

3. Yaroqli qolish ehtimolining ta’siri. (3) formula bo‘yicha hisob shuni ko‘rsatdi (3-jadval).

3-jadval

Kutilayotgan foydalanishlar soni E[n] (rejalashtirilgan N = 10)

Yaroqli qolish ehtimoli s	Kutilayotgan foydalanishlar E[n]	Rejadan chetlanish
0,99	10,47	amalda rejaga mos
0,95	8,62	−21,6 %

Yaroqli qolish ehtimoli s	Kutilayotgan foydalanishlar E[n]	Rejadan chetlanish
0,90	6,86	−37,6 %
0,85	5,55	−49,5 %

Manba: (3) formula bo‘yicha muallif hisobi (N = 10 rejalashtirilgan holat uchun).

Jadval muhim amaliy xulosaga olib keladi: agar regeneratsiya jarayoni sifatsiz bajarilsa va shablonning yaroqli qolish ehtimoli 0,85 gacha tushsa, 11 marta foydalanish rejalashtirilgan bo‘lsa ham amalda o‘rtacha 5,55 marta ishlatiladi — ya’ni rejadan qariyb ikki barobar kam. Demak regeneratsiya rejimining aniqligi shablon resursini uzaytirishning bevosita omilidir. Bu esa lazerli tozalashda quvvat va o‘tish tezligini har bir shablon turi uchun alohida tanlash zaruratini iqtisodiy jihatdan asoslaydi.

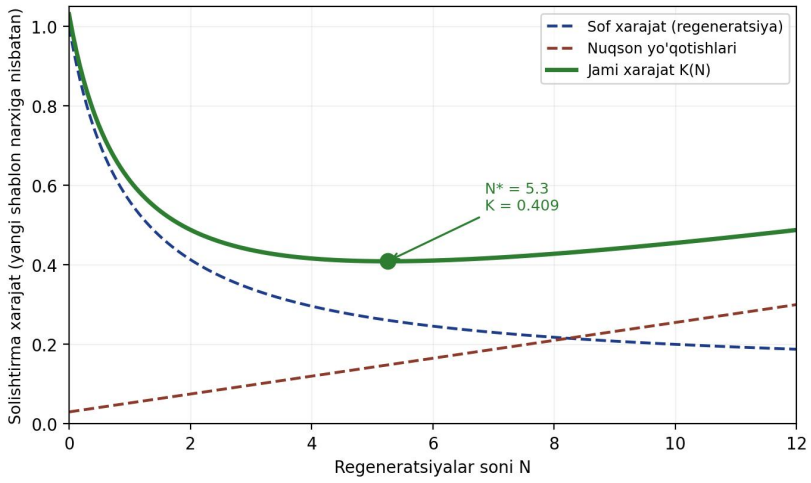
4. Nuqson yo‘qotishlari hisobga olingan model. (4) formula bo‘yicha hisob quyidagi baza parametrlarda bajarildi: $c_r = 0,12$; $d_0 = 0,02$; $\beta = 0,03$; $w = 1,5$ (4-jadval).

4-jadval

Sof xarajat va nuqson yo‘qotishlari yig‘indisi K(N)

N	Sof xarajat	Nuqson yo‘qotishlari	Jami K(N)
0	1,0000	0,0300	1,0300
1	0,5600	0,0525	0,6125
2	0,4133	0,0750	0,4883
3	0,3400	0,0975	0,4375
4	0,2960	0,1200	0,4160
5	0,2667	0,1425	0,4092 ← minimum
6	0,2457	0,1650	0,4107
8	0,2178	0,2100	0,4278
10	0,2000	0,2550	0,4550
12	0,1877	0,3000	0,4877

Manba: (4) formula bo‘yicha muallif hisobi ($c_r = 0,12$; $d_0 = 0,02$; $\beta = 0,03$; $w = 1,5$).



2-rasm. Sof xarajat, nuqson yo‘qotishlari va jami xarajatning regeneratsiyalar soniga bog‘liqligi; optimum nuqtasi (muallif hisobi)

Diskret hisob minimumni N = 5 da (K = 0,4092), (5) formula bo‘yicha analitik yechim esa N* = 5,25 ni beradi — ikki natija bir-biriga mos keladi. 2-rasmda ko‘rinadiki, N = 8 atrofida sof xarajat va nuqson yo‘qotishlari egri chiziqlari kesishadi: shu nuqtadan keyin nuqson yo‘qotishlari regeneratsiyadan olinadigan tejamdan oshib ketadi.

5. Sezgirlik tahlili. Optimal qiymat nuqson darajasining o‘sish tezligi β va nuqsonli partiya zarari w ga qanchalik bog‘liqligi 5-jadvalda keltirilgan.

5-jadval

N* qiymatining β va w parametrlariga sezgirligi (c_r = 0,12)

β \ w	w = 1,0	w = 1,5	w = 2,0	w = 3,0
0,02	8,38	6,66	5,63	4,42
0,03	6,66	5,25	4,42	3,42
0,04	5,63	4,42	3,69	2,83
0,05	4,93	3,84	3,20	2,43

Manba: (5) formula bo‘yicha muallif hisobi.

Jadval ko‘rsatadiki, N* qiymati 2,43 dan 8,38 gacha oraliqda o‘zgaradi. Eng katta ta’sirni β parametri — nuqson darajasining o‘sish tezligi ko‘rsatadi: uning 0,02 dan 0,05 gacha ortishi optimal sonni qariyb ikki barobar kamaytiradi. Amaliy jihatdan bu shuni anglatadiki, regeneratsiya rejimi qanchalik ehtiyotkor bajarilsa (β kichik bo‘lsa), shablonni shuncha ko‘p marta ishlatish mumkin. Qimmat va murakkab naqshlarda esa (w katta) chegara aksincha pasayadi — chunki bitta nuqsonli partiyaning zarari yuqori.

Muhokama

Model natijalari korxona amaliyotida qo‘llanilishi mumkin bo‘lgan uchta qarorni asoslaydi. Birinchisi — regeneratsiyalar sonining optimal chegarasi. Faqat kamayuvchi (2) model buni aniqlay olmaydi; nuqson yo‘qotishlari kiritilgan (4) model esa aniq minimum beradi. Baza parametrlarda optimum N* = 5,25 ni tashkil etib, unga mos solishtirma xarajat yangi shablon narxining 40,9 foiziga teng. Muhimi, minimum atrofidagi egri chiziq yassi: N = 4–7 oralig‘ida jami xarajat 0,4092 dan 0,4175 gacha, ya’ni atigi 2 foizga farq qiladi. Demak korxona uchun qat’iy bitta son emas, N = 4–7 oralig‘i amaliy tavsiya sifatida qabul qilinishi mumkin.

Ikkinchi qaror — regeneratsiya narxining o‘zi. Hisobdan ko‘rinadiki, c_r ning 0,08 dan 0,15 gacha o‘zgarishi N = 5 bo‘lganda solishtirma xarajatni 0,233 dan 0,292 gacha, ya’ni 25 foizga oshiradi. Demak regeneratsiya jarayonining o‘zini arzonlashtirish (lazer rejimini optimallashtirish, lak sarfini kamaytirish, suvni qayta ishlatish) — sikllar sonini oshirishdan ko‘ra samaraliroq yo‘nalish.

Uchinchi qaror — hisobga olish tizimi. Model amalda ishlashi uchun har bir shablonning necha marta regeneratsiya qilingani aniq qayd etilishi shart. Korxonalarda bu ma’lumot ko‘pincha yuritilmaydi yoki shablon sirtiga qo‘lda yozilgan belgilar bilan cheklanadi. Shtrix-kod yoki RFID asosidagi identifikatsiya joriy etilsa, s ehtimolini haqiqiy statistika asosida baholash va modelni korxona sharoitiga moslashtirish imkoni tug‘iladi.

Modelning cheklovlari ham e’tirof etilishi lozim. Birinchidan, regeneratsiya xarajati barcha sikllarda o‘zgarmas deb qabul qilingan, holbuki keyingi sikllarda tozalash murakkablashib, c_r ortishi mumkin — bu N* ni yanada pasaytiradi. Ikkinchidan, nuqson darajasining o‘sishi chiziqli deb olingan; agar o‘sish eksponensial bo‘lsa, optimum yanada chapga siljiydi. Uchinchidan, model bitta shablonni ko‘rib chiqadi, ko‘p rangli buyurtmada esa komplektdagi eng zaif shablon butun to‘plamning resursini belgilaydi. Bu uch yo‘nalish keyingi tadqiqotlar mavzusi bo‘la oladi.

Xulosa

O‘tkazilgan tadqiqot asosida quyidagi xulosalar shakllantirildi:

1. Rotatsion bosma shablonining solishtirma xarajati $K(N) = (1 + N \cdot c_r)/(N + 1)$ modeli bilan ifodalanadi va regeneratsiyalar soniga giperbolik bog‘liqlikda kamayadi.

2. Marginal foyda tez susayadi: birinchi regeneratsiya xarajatni 44 %ga, beshinchisi 9,9 %ga, o‘ninchisi esa atigi 3,9 %ga kamaytiradi.

3. Nuqson yo‘qotishlari hisobga olinganda funksiya aniq minimumga ega bo‘ladi va optimal qiymat $N^* = \sqrt{[2(1 - c_r)/(w \cdot \beta)]} - 1$ analitik formulasi bilan aniqlanadi; baza parametrlarda N* = 5,25, unga mos xarajat 0,409.

4. Minimum atrofidagi egri chiziq yassi: N = 4–7 oralig‘ida jami xarajat atigi 2 %ga farq qiladi — demak amaliy tavsiya sifatida qat’iy son emas, shu oraliq qabul qilinadi.

5. Sezgirlik tahliliga ko‘ra N* 2,43 dan 8,38 gacha o‘zgaradi; unga eng kuchli ta’sir ko‘rsatuvchi parametr — nuqson darajasining o‘sish tezligi β.

6. Shablonning yaroqli qolish ehtimoli 0,85 ga tushganda kutilayotgan foydalanishlar soni rejadagidan qariyb ikki barobar kam bo‘ladi — bu regeneratsiya rejimini aniq belgilash zarurligini iqtisodiy asoslaydi.

7. Regeneratsiya jarayonining o‘zini arzonlashtirish sikllar sonini oshirishdan ko‘ra samaraliroq yo‘nalish hisoblanadi.

Modelni amaliyotga joriy etish uchun korxonada shablonlarning regeneratsiya tarixini qayd etuvchi elektron hisob tizimini yo‘lga qo‘yish va c_r hamda s parametrlarini haqiqiy ma’lumotlar asosida aniqlash talab etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. Miles L.W.C. Textile Printing. 2nd ed. — Bradford: Society of Dyers and Colourists, 2003. — 320 p.
2. Ujiie H. (ed.) Digital Printing of Textiles. — Cambridge: Woodhead Publishing, 2006. — 360 p.
3. SPGPrints. Rotary Screen Printing and Laser Engraving Systems: Technical Documentation. — spgprints.com.
4. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов. — М.: РИО МГТУ, 2001.
5. Blanchard B.S., Fabrycky W.J. Systems Engineering and Analysis. 5th ed. — Boston: Prentice Hall, 2011. — 800 p.
6. Ross S.M. Introduction to Probability Models. 11th ed. — Amsterdam: Academic Press, 2014. — 784 p.
7. Inomov U.T. To‘qimachilik korxonasi shablon tayyorlash bo‘limi dastgohlarini takomillashtirish yo‘llari (Namangan viloyati korxonasi misolida) // (nashr ma’lumotlari kiritiladi).
8. _____ (korxonaning texnologik reglamenti va ishlab chiqarish hisobotlari)