UDK: 631.3.072.1

TRIXOGRAMMA TARQATADGAN QURILMASI ISHCHI KAMERASIDA G‘UMBAKLAR HARAKATINING NAZARIY TAHLILI VA MATEMATIK MODELLASHTIRILISHI

Rajabov A.X., *t.f.n., dotsent,*
“Qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalashtirish va avtomatlashtirish” kafedrasi,
E-mail: ali_rajabov8855@mail.ru
Toshkent davlat agrar universiteti

Annotatsiya. *Ushbu maqolada trixogramma tarqatadigan qurilmaning ishchi kamerasida g‘umbaklarning havo oqimi ta’siridagi harakati nazariy jihatdan tahlil qilingan va matematik modellashtirilgan. Tadqiqot jarayonida g‘umbaklarga ta’sir etuvchi asosiy aerodinamik kuchlar - og‘irlik, havo oqimi bosimi, adgeziya, ishqalanish hamda ko‘taruvchi kuchlar hisobga olingan. Harakat tenglamalari tuzilib, ularni echish uchun vaqtni diskretlash usuli qo‘llanilgan. Olingan matematik model asosida g‘umbaklarning uchish trayektoriyasi, tezligi va tarqalish masofasi aniqlangan. Hisoblash va modellashtirish natijalari ishchi kameradagi optimal havo tezligini belgilash hamda g‘umbaklarning mexanik shikastlanishini kamaytirishga xizmat qiladi.*

Аннотатsiя. *В статье проведён теоретический анализ и математическое моделирование движения куколок трихограммы в рабочей камере распределительного устройства под воздействием воздушного потока. В процессе исследования учтены основные аэродинамические силы, действующие на куколки, включая силу тяжести, давление воздушного потока, силы адгезии, трения и подъёмную силу. Составлены дифференциальные уравнения движения и применён метод дискретизатsiи времени для их численного решения. На основе разработанной модели определены траектория полёта, скорость и дальность распределения куколок. Полученные результаты позволяют обосновать оптимальные режимы работы устройства и повысить эффективность биологической защиты растений.*

Abstract. *This article presents a theoretical analysis and mathematical modeling of the motion of Trichogramma pupae inside the working chamber of a distribution device under the influence of airflow. The study considers the main aerodynamic forces acting on the pupae, including gravity, airflow pressure, adhesion, friction, and lift forces. The equations of motion are derived, and a time discretization method is applied for numerical solution. Based on the developed mathematical model, the flight trajectory, velocity, and dispersion distance of the pupae are determined. The obtained results provide a scientific basis for selecting optimal airflow parameters and improving the efficiency of Trichogramma distribution in biological pest control systems.*

Kalit so‘zlar: *trixogramma, g‘umbak, aerodinamika, ishchi kamera, matematik model, havo oqimi, ejektor, trayektoriya.*

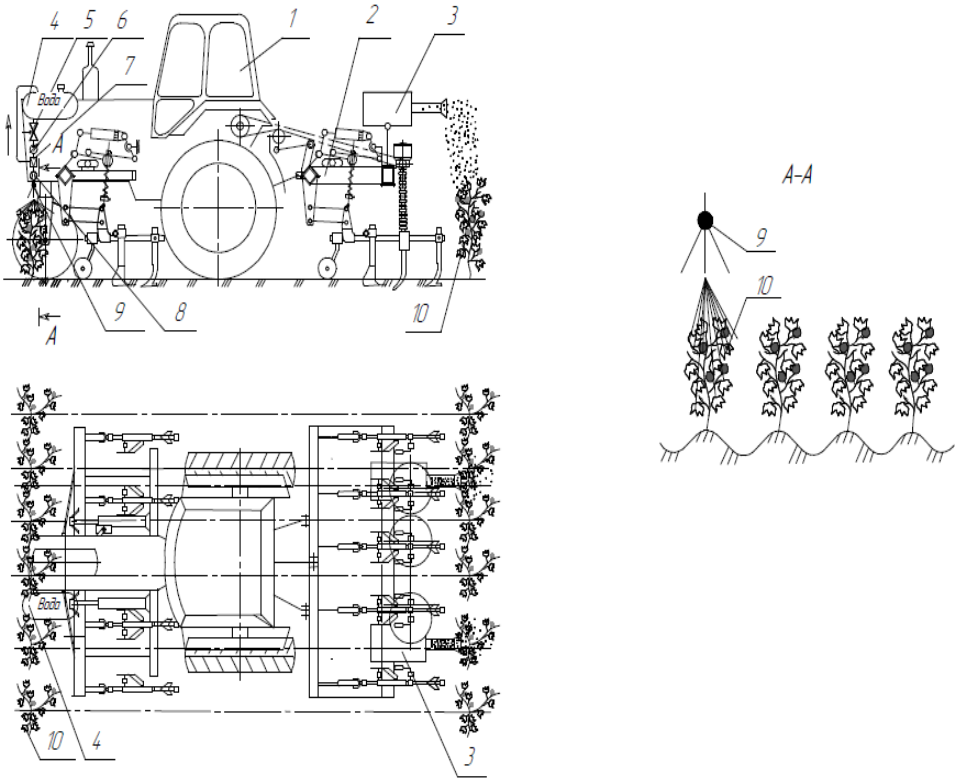
Ключевые слова: *трихограмма, куколка, аэродинамика, рабочая камера, математическое моделирование, воздушный поток, эжектор.*

Keywords: *Trichogramma, pupae, aerodynamics, working chamber, mathematical modeling, airflow, ejector.*

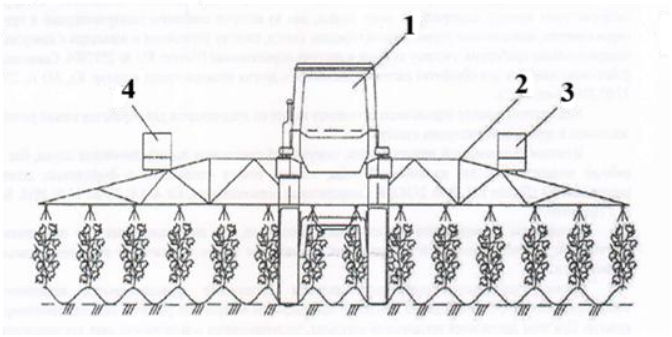
Kirish. Qishloq xo‘jaligi ekinlarini zararkunandalardan himoyalashda entomofag hasharotlardan foydalanish muhim o‘rin egallaydi. Xususan, trixogramma g‘umbaklari g‘o‘za va boshqa qishloq xo‘jaligi ekinlarida uchraydigan zararkunandalarning tuxumlarini parazitlash orqali ularning ko‘payishini cheklaydi. Shu sababli trixogrammani dala sharoitida o‘z vaqtida, bir tekis va me’yor asosida tarqatish biologik himoya samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi.

Amaliyotda trixogrammani qo‘lda tarqatish usullari ko‘p mehnat talab qilishi, tarqatishning notekisligi va biologik materialning mexanik shikastlanishi bilan tavsiflanadi.

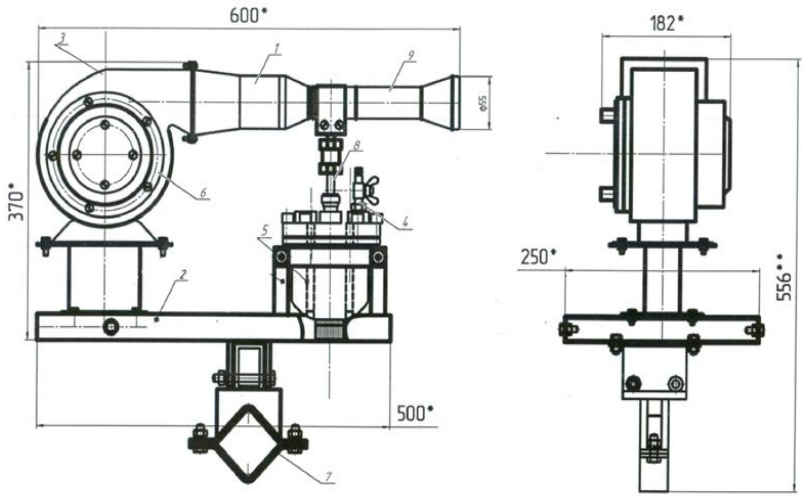
Shu munosabat bilan trixogramma g‘umbaklarini mexanizatsiyalashgan usulda tarqatish uchun maxsus texnika vositasi ishlab chiqildi va uning konstruktiv parametrlari ilmiy asoslandi (1-rasm). Ayniqsa, havo oqimi yordamida ishlovchi ejektorli tarqatish qurilmasida g‘umbaklarning harakati, ularning aerodinamik barqarorligi va mexanik saqlanishi chuqur tadqiq qilindi [1-5].



a)



b)



c)

1-energetik vosita (traktor); 2-paxtachilik kultivatori; 3-trixogramma tarqatuvchi qurilma; 4-bak (suv uchun); 5-ventil; 6-ish unumi sozlanuvchi nasos; 7-reduksion klapan; 8-suv sarfi o‘lchov vositasi (rasxodomer); 9-forsunka; 10-paxta tupi. b) 1-tractor; 2-rama; 3-4-trixogramma tarqatadigan qurilma. c) 1 – havo diffuzori; 2 – taglik; 3 –ventilator korpusi; 4 – me’yorlagich (havo kiritish naychasi bo‘g‘zi); 5 – idish; 6 – ventilator; 7 – kronshteyn; 8 – so‘rish patrubkasi; 9 – trixogramma aralashmasini chiqarish bo‘g‘zi

1-rasm. a) Kultivator va b) shtangali purkagichga inegratsiya qilingan trixogramma tarqatish usuli hamda c) qurilmasi sxemasi

Trixogramma tarqatadigan qurilmaning samaradorligi ko‘p jihatdan uning ishchi kamerasida hosil bo‘ladigan aerodinamik jarayonlarga bog‘liq. Havo oqimi ta’sirida g‘umbaklarga bir vaqtning o‘zida og‘irlik kuchi, oqim bosimi kuchi, yopishish (adgeziya) kuchlari, ishqalanish hamda ko‘taruvchi kuchlar ta’sir etadi. Ushbu kuchlarning o‘zaro muvozanati g‘umbaklarning sirtdan ajralishi, oqimga qo‘shilishi va keyingi parvoz trayektoriyasini belgilab beradi. Agar havo tezligi etarli bo‘lmasa, adgeziya kuchlari ustun kelib, g‘umbaklar ajralmaydi, aksincha, haddan tashqari yuqori tezlikda esa biologik materialning shikastlanish xavfi ortadi.

Shu sababli trixogramma g‘umbaklarining qurilma kamerasidagi harakatini matematik modellashtirish, aerodinamik kuchlarni tahlil qilish va optimal ish rejimlarini aniqlash ilmiy va amaliy jihatdan muhim. Bu yondashuv qurilmaning asosiy konstruktiv va texnologik parametrlarini tanlash hamda biomahsulotni shikastlamastlik imkonini beradi.

Mazkur maqolada trixogramma tarqatadigan qurilmaning ishchi kamerasida g‘umbaklarning harakati nazariy jihatdan o‘rganilib, ularga ta’sir etuvchi aerodinamik kuchlar matematik model asosida tahlil qilinadi. Tadqiqotning asosiy maqsadi - havo oqimi tezligi, g‘umbaklarning ajralish sharoiti va parvoz trayektoriyasi o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlash hamda trixogrammani bir tekis va samarali tarqatish uchun optimal ish rejimlarini asoslab berishdan iborat.

Metodlar. Ushbu tadqiqotda trixogramma g‘umbaklarini tarqatish qurilmasining ishchi kamerasida sodir bo‘ladigan aerodinamik jarayonlarni o‘rganish uchun nazariy, hisoblash va sonli modellashtirish usullari qo‘llanildi. Tadqiqot metodikasi g‘umbaklarning havo oqimidagi harakatini tavsiflovchi fizik-mexanik qonunlar, aerodinamika tenglamalari hamda matematik modellar asosida ishlab chiqildi.

Qurilma kamerasida trixogramma g‘umbagining harakati: Yassi gorizontal havo oqimida tezlanish qismida nuqta sifatida qaralgan trixogramma g‘umbaklarining harakat tenglamasi quyidagi differensial ko‘rinishga ega:

$$m\frac{d^2l}{dt^2} = m\frac{d\vartheta_r}{dt} = \vec{F}_{t.t} \quad (1)$$

bunda $\frac{d^2l}{dt^2} = \frac{d\vartheta_r}{dt}$ — g‘umbak harakatining tezlanishi, m/s².

1-tenglamani koordinatalar sistemasi o‘qlariga proeksiyalab, harakatning boshlang‘ich nuqtasi koordinatalar boshi sifatida qabul qilinadi. Ordinata o‘qi vertikal yuqoriga, abssissa o‘qi esa havo oqimi yo‘nalishiga mos yo‘naltiriladi. Natijada quyidagi tenglamalar hosil bo‘ladi:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = F_{t.t,x} \quad (2)$$

$$m\frac{d^2y}{dt^2} = F_{t.t,y} \quad (3)$$

bunda: $\frac{d^2x}{dt^2}$, $\frac{d^2y}{dt^2}$ - tezlanishning X va Y o‘qlariga proeksiyalari; $F_{t.t,x}$, $F_{t.t,y}$- kuchning tegishli proeksiyalari; x, y— g‘umbak koordinatalari.

Shar shaklidagi g‘umbak uchun quyidagilar qabul qilinadi:

$$m_{g'um} = \frac{1}{6}\rho_{g'um}\pi d_{g'um}^3, V_{g'um} = \frac{1}{6}\pi d_{g'um}^3 \quad (4)$$

Yuqoridaggi ifodalarni hisobga olgan holda quyidagi tenglamani keltirib chiqamiz:

$$a_x(t) = \left(\frac{18\mu}{\rho_{g'um}d_{g'um}^2} + \frac{3\rho_h C_x|\vec{\vartheta}(t)|}{4\rho_{g'um}d_{g'um}}\right)\vartheta_x(t) \quad (5)$$

$$a_y(t) = \left(\frac{\rho_h}{\rho_{g'um}} - 1\right)g - \left(\frac{18\mu}{\rho_{g'um}d_{g'um}^2} + \frac{3\rho_h C_x|\vec{\vartheta}(t)|}{4\rho_{g'um}d_{g'um}}\right)\vartheta_y(t) \quad (6)$$

bunda $\rho_{g'um}$— trixogramma g‘umbagining zichligi, kg/m³.

Tezlik vektorining absolyut qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$\vartheta(t) = \sqrt{\vartheta_x^2(t) + \vartheta_y^2(t)} \quad (7)$$

Shu asosda (5)-(6) tenglamalar quyidagi ko‘rinishda yoziladi:

$$a_x(t) = \left(\frac{18\mu}{\rho_{g'um}d_{g'um}^2} + \frac{3\rho_h C_x\sqrt{\vartheta_x^2(t)+\vartheta_y^2(t)}}{4\rho_{g'um}d_{g'um}}\right)\vartheta_x(t) \quad (8)$$

$$a_y(t) = \left(\frac{\rho_h}{\rho_{g'um}} - 1\right)g - \left(\frac{18\mu}{\rho_{g'um}d_{g'um}^2} + \frac{3\rho_h C_x\sqrt{\vartheta_x^2(t)+\vartheta_y^2(t)}}{4\rho_{g'um}d_{g'um}}\right)\vartheta_y(t) \quad (9)$$

(8)–(9) tenglamalarni echish uchun vaqtni diskretlash usuli qo‘llanildi. Vaqt intervali $\Delta t = 0{,}1$s deb qabul qilinib, tezlik va koordinatalar quyidagi ifodalar orqali aniqlandi:

$$\vartheta_x(t_{i+1}) = \vartheta_x(t_i) + a_x(t_i)\Delta t \quad (10)$$

$$\vartheta_y(t_{i+1}) = \vartheta_y(t_i) + a_y(t_i)\Delta t \quad (11)$$

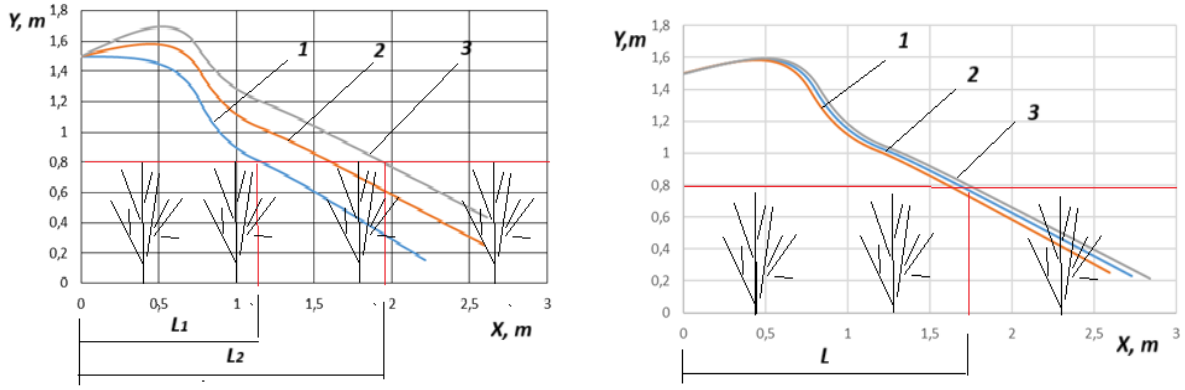
$$x(t_{i+1}) = x(t_i) + \vartheta_x(t_i)\Delta t \quad (12)$$

$$y(t_{i+1}) = y(t_i) + \vartheta_y(t_i)\Delta t \quad (13)$$

Boshlang‘ich shartlar quyidagicha qabul qilindi:

$$\vartheta_x(0) = \mid \bar{u} \mid \cos\gamma, \vartheta_y(0) = \mid \bar{u} \mid \sin\gamma \quad (14)$$

Olingan natijalar asosida trixogramma g‘umbaklarining uchish traektoriyalari va parvoz masofasi hisoblandi. ϑ_0 = 9 m/s da α = 0°, 15° va 30° burchaklar uchun traektoriyalar 2-rasmda keltirilgan.



a). 1- ϑ_0 = 9 m/s; 2- ϑ_0 = 10 m/s; 3- ϑ_0 =11 m/s, b). 1- ϑ_0 = 9 m/s, α=0°; 2- ϑ_0 = 9 m/s, α=15°; 3- ϑ_0 = 9 m/s, α=30°.

2-rasm. Trixogramma g‘umbarlarining uchish masofasini uning boshlang‘ich uchish tezligigi bog‘liqligi grafiklari

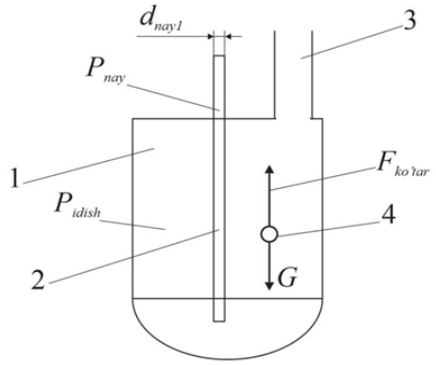
Tahlillar shuni ko‘rsatdiki: α = 0° da parvoz masofasi $L \approx$ 2,2 m; α = 15° da $L \approx$ 2,6 m; α = 30° da $L \approx$ 2,61 m. Bu holat burchak oshishi bilan vertikal harakat ulushi ortib, parvoz vaqtining uzayishi bilan izohlanadi.

Parvoz vaqti burchakka bog‘liq ravishda ortib boradi. α = 0° burchakda g‘umbak t =0,49 s atrofida erga etadi, α =15° burchakda bu vaqt t=0,84 s, α =30° burchakda esa taxminan t =1,17 s gacha ortgan. Yerga tushishdagi koordinatalar (x, y) o‘zgarishi ham burchak ta’sirini yaqqol ko‘rsatadi. α =0° burchakda g‘umbakning vertikal pasayishi tez bo‘lgani uchun y qiymati tezda kamayadi, gorizontal yo‘l esa qisqaroq (3.19 b-rasm). α =15° va α =30° burchaklarda vertikal pasayish sekinlashgani uchun g‘umbak uzoqroq uchadi.

Grafiklardan ko‘rinib turibdiki, traektoriyalar bir nuqtadan boshlanib, burchak ortishi bilan yuqoriga ko‘tarilib, keyin erga pastlab tushadi. α =0° chizig‘i eng qisqa va past, α =15° chizig‘i o‘rtacha, α =30° chizig‘i eng uzoq va baland traektoriyani ifodalaydi.

Amaliyot nuqtai nazaridan, agar g‘umbak $h_{or.b}$=1,5 m balandlikdagi qurilmadan otilsa va g‘o‘zaning barg balandligi taxminan $h_{g'uza}$ =0,8 m bo‘lsa, α =15° burchakda u erga etmasdan oldin barg yuzasiga tushadi. Bu burchak g‘umbaklarni tuproq emas, o‘simlik bargiga tushirish uchun mos burchak hisoblanadi.

Idish ichidagi g‘umbakni sirtdan ko‘tarilish tadqiqoti. Idish ichidagi trixogramma g‘umbaklarini mexanik ta’sirsiz chiqarishning eng samarali usullaridan biri - idishda manfiy bosim hosil qilishdir. Past bosim natijasida g‘umbak sirtdan ajraladi va havo oqimiga ko‘tariladi. G‘umbakning ko‘tarilishi uchun unga ta’sir qiluvchi aerodinamik ko‘tarish kuchi (F_k) og‘irlik kuchidan (F_g) katta bo‘lishi kerak (3-rasm):



1 - g‘umbak idishi; 2 - havo kirish naychasi; 3 - so‘rish naychasi; 4 - g‘umbak

3-rasm. Idishdagi g‘umbakni sirtdan ko‘tarilishini hisoblash sxemasi

$$F_{ko'tar} \geq \mathrm{F_g} \tag{15}$$

So‘rish zonasidagi havo oqimi hisobiga yuzaga keladigan aerodinamik ko‘tarish kuchi F_k quyidagicha ifodalanadi:

$$F_{ko'tar} = C_L \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_h \cdot {\vartheta_k}^2 \cdot S_{g'umbak} \tag{16}$$

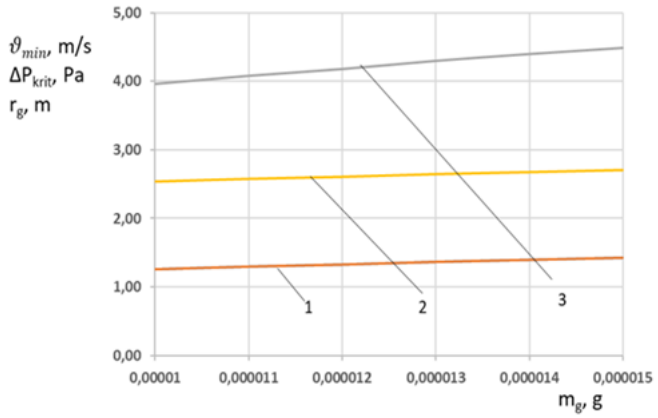
bunda, C_L – g‘umbakning shakliga bog‘liq bo‘lgan aerodinamik koeffitsient; ρ_h – havoning zichligi, kg/m^3; ϑ_k – g‘umbakni so‘rish oqimiga tortuvchi mahalliy tezlik, m/s; $S_{g'umbak} = \pi r_{g'um}^2$ – g‘umbakning proeksiya yuzasi, m^2.

Ushbu shartdan kelib chiqib, g‘umbakning sirtdan ko‘tarilishi uchun zarur bo‘lgan minimal tezlik ϑ_{min} ifodasi chiqarildi:

$$\vartheta_{min} = \sqrt{\frac{2F_g}{C_L\, \rho_h \cdot S_{g'umbak}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot m_{g'umbak} \cdot \mathrm{g}}{C_L \cdot \rho_h \cdot S_{g'umbak}}}. \tag{17}$$

Bu tezlik, so‘rish naychasi kirishida havo oqimi erishishi kerak bo‘lgan kritik tezlik hisoblanadi. Ushbu tezlikka mos bo‘lgan kritik bosim ΔP_{krit}ni hisoblash uchun quyidagi ifoda keltirib chiqarildi:

$$\Delta P_{krit} = \frac{4 \cdot \rho_{g'um} \cdot r_{g'um} \cdot g}{3 \cdot C_L}. \tag{18}$$



1. $\vartheta_{min} = f(m_g)$; 2. $\Delta P_{krit} = f(m_g)$; 3. $r_{g'um} = f(m_g)$. ρ_h *=1,225 kg/m3;* C_L*=0,54;* $\rho_{g'um}$*=1200 kg/m3*

3-rasm. G‘umbaklarning sirtdan ko‘tarilish parametrlarini uning massasiga bog‘liqlik grafiklari

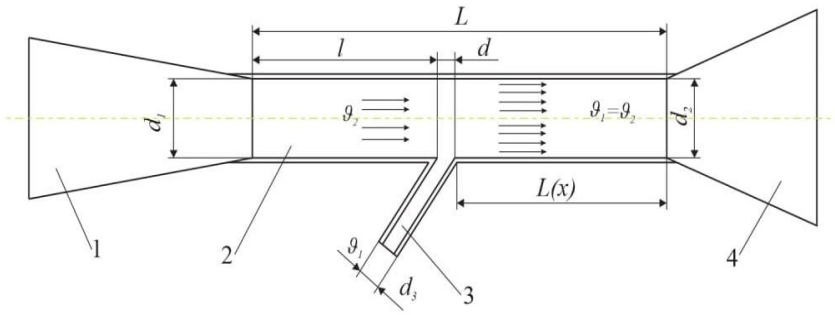
3-rasmdagi grafikdan quyidagilarni ta'kidlash mumkin:

- g'umbak massasi ortishi bilan uning og'irlik kuchini engish uchun talab qilinadigan kritik bosim pasayishi ΔP_{krit} ortadi;

- mos ravishda, minimal ko'tarish tezligi ϑ_{min} ham ortadi. Natijalar tahliliga ko'ra, so'rish tizimi g'umbak massasiga mos ravishda 2,54–2,71 m/s diapazondagi havo tezligini ta'minlashi zarur.

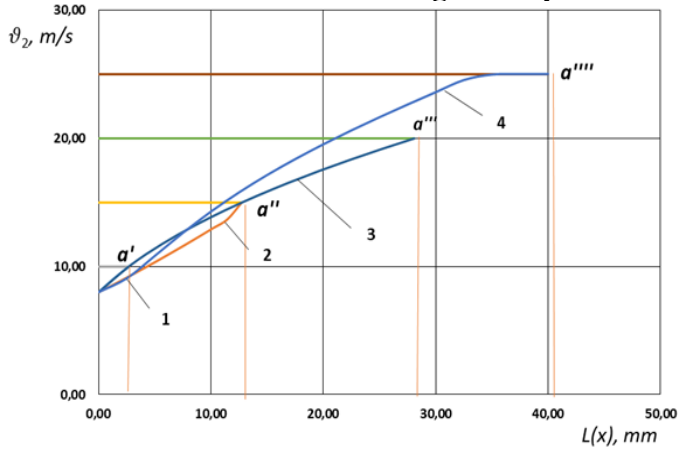
G'umbakning sirtdan ajralishi uchun kerak bo'lgan kritik bosim pasayishi ΔP_{krit} aniqlangandan so'ng, tizimning amaliy samaradorligini baholash uchun idish hajmi (V_{idish}) va so'rilayotgan havo sarfi (Q) o'rtasidagi bog'lanishga asoslanib, ushbu bosimga erishish vaqti (t_{krit}) hisoblanadi. Bu bog'lanish idish ichidagi past bosimning shakllanish tezligini va g'umbakning ko'tarilish jarayonidagi barqarorlikni belgilaydi.

Qurilma ejektori va diffuzorining nazariy tahlili:



1 – konfuzor; 2 – aralashtirish kamerasi;
3 – trixogramma g'umbaklarini
so'rish naychasi; 4 – diffuzor

4-rasm. Aralashtirish kamerasini uzunligini aniqlash uchun sxema



1. $\vartheta_2 = 10\ m/s$, *L(x)= 2,7 mm;* 2. $\vartheta_2 = 15\ m/s$, *L(x)=12,75 mm* 3. $\vartheta_2 = 20\ m/s$, *L(x)= 28,1 mm;* 4. $\vartheta_2 = 25\ m/s$, *L(x)= 45 mm*

5-rasm. Aralashtirish kamerasida trixogramma g'umbagi tezligining havo oqimi bilan tenglashish grafiklari

Ejektor aralashtirish kamerasi uzunligi (L) uchun quyidagi formula olindi:

$$L = \frac{r_0}{2k}\, ln\, \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} \qquad (19)$$

Grafikdan ϑ_2=10 m/s bo'lsa aralashish kamerasi juda qisqa bo'lib, 2,66 mm masofada oqimlar to'liq aralashib ketadi. (4-rasm 1-egri chiziq). Boshlang'ich tezlik 8 m/s bo'lgan oqim qisqa vaqt ichida 10 m/s ga etadi. Bu holat intensiv aralashish sodir bo'lishini ko'rsatadi.

Aralashish kamerasidagi havo oqimi tezligi oshishi bilan uning uzunligi ham ortib, 12,74 mm ga teng bo‘ldi (2-egri chiziq). Bu holda oqim 8 m/s dan 15 m/s gacha izchil o‘sadi. Demak, yuqori tezlikni ta’minlash uchun aralashtirish kamerasi ancha uzun qilib olinishi kerak

ϑ_2 =20 m/s tezlikda aralashish yanada sekinroq kechadi. Kamera uzunligi 28,1 mm bo‘lib, oqimning 8 m/s dan 20 m/s gacha o‘sishi ancha masofada amalga oshadi (3-egri chiziq).

Trixogramma g‘umbaklarini idishdan samarali surib olish $\vartheta_2 \approx 20$ m/s.da yuz beradi. Aralashtirish kamerasidagi havo oqimi tezligi ϑ_2=25 m/s gacha etishi mumkinligini hisobga olib, kameraning ishchi uzunligini L(x)=45 mm qabul qilamiz. Shunda aralashtirish kamerasining ja’mi uzunligi: $L = l + ds + L(x)$, bunda: L(x)-aralashtirish kamerasining ishchi qismi uzunligi, mm; d_s – so‘rish naychasi diametri, mm; l – aralashtirish kamerasining havoni qabul qilish qismi uzunligi, mm. Hisoblangan qiymatlar va konstruktiv nuqtai-nazardan aralashtirish kamerasining uzunligini L=100 mm qabul qilamiz.

Xulosa

1. Trixogramma tarqatadigan qurilma ishchi kamerasida g‘umbaklarning havo oqimidagi harakati nazariy jihatdan tahlil qilinib, ularning tezlanishi, uchish trayektoriyasi va parvoz masofasini tavsiflovchi matematik model ishlab chiqildi.

2. Boshlang‘ich uchish tezligi va chiqish burchagi g‘umbaklarning havodagi barqaror harakati hamda parvoz masofasiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi; amaliy jihatdan α = 15° burchak o‘simlik barglariga tushish uchun eng qulay sharoitni ta’minlaydi.

3. Idish ichida manfiy bosim hosil qilish orqali g‘umbaklarni mexanik shikastlanishsiz sirtdan ajratib olish imkoniyati ilmiy asoslandi, kritik tezlik va bosim pasayishining g‘umbak massasiga bog‘liqligi aniqlandi.

4. Ejektor va diffuzorning nazariy tahlili asosida aralashtirish kamerasining optimal uzunligi hamda geometrik parametrlari belgilandi, bu esa so‘rish jarayonining barqarorligini oshiradi.

5. Aralashtirish kamerasi (D_k = 14–16 mm) va so‘rish naychasi (d_s = 6,5–7,0 mm) o‘lchamlarida ϑt = 11–19 m/s tezlik diapazonida samarali so‘rish ta’minlanishi ko‘rsatildi.

6. Optimal ish rejimi ϑc = 10 m/s, μ = 0,4–0,5 va Δp = 90–110 Pa qiymatlariga to‘g‘ri kelib, bu holatda so‘rish samaradorligi yuqori bo‘lishi, tezlik 12 m/s dan oshganda esa energiya sarfi ortib, umumiy samaradorlik pasayishi ehtimoli mavjudligi aniqlandi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ражабов А.Х. и др. – “Скорост потока воздуха в цилиндрической трубе эжектора расселителя трихограмми”, М.: Техническойе обеспеченийе селского хозяйства, 2019.– №. 1. – С. 125-132

2. Ражабов А.Х. и др. – “Устройство для дозированного расселения трихограмми”// Патент на изобретенийе Узб № ИАП05592.–2018

3. Ражабов А.Х, Тухтабоев М. и др. – “Комбинированний агрегат для зашити растений”// Патент на изобретенийе Узб № ИАП06745.–2022

4. Rajabov A., Toshboltayev M., Tuxtabayev M. - “G‘o‘za maydonlariga trixogramma tarqatish qurilmasi” // AgroIlm. T: – 2017. – №. 3. – S. 93-94.

5. Ражабов А.Х, Сулаймонов Б.А. и др. Способ расселения трихограмми для биологической зашити растений от вредителей // Патент на изобретенийе Узб № ИАП05797. – 2019.