

МАСЪАЛАИ ИДОРАКУНИИ ОПТИМАЛӢ ДАР АМСИЛАИ МАТЕМАТИКИИ АГРОСЕНОЗАИ ПАХТА

Одинаев Р. Н., д.и.ф.м., профессори ДМТ, **Фозилҷонов А. Н.**, мудири шуъбаи Институти зироаткории АИКТ, **Ғафоров А. Б.**, ассистенти ДМТ, **Бобиев Х. А.**, н.и.х., ДАТ ба номи Ш.Шоҳтемур

Калимаҳои калидӣ: амсила, идоракунии оптималӣ, муҳофизати интегратсионӣ, растаниҳои шахддиханда, домҳои феромонӣ, статсионарӣ, функционал, занҷири трофики.

Аз рӯи маълумотҳои Созмони Ҷаҳонии Озуқа (ФАО) дар олам ҳар сол аз таъсири ҳашаротҳои зараррасон, касалиҳо ва алафҳои бегона тақрибан 25-30%-и ҳосили зироатҳои кишоварзӣ нобуд мешавад, ки арзиши он садҳо миллиард доллари амрикоиро ташкил медиҳад. Ҷимояи растаниҳо аз зараррасонҳо, касалиҳо яке аз омилҳои муҳими баландбардории ҳосилнокии зироатҳои кишоварзӣ мебошад. Тарзи муборизаи биологӣ дар системаи интегратсионӣ ба муқобили зараррасонҳо мавқеи муҳимро ишғол менамояд.

Дар муҳофизати интегратсионии пахта компоненти – экологияи ландшафтӣ дохил карда шуд, ки вай яке аз элементҳои усули биологӣ мебошад. Бо ин мақсад дар мобайни майдони пахта дар катакҷаҳои хурд (2,4 м x 5,0 м) 5 намуди растаниҳои шахддиханда (укроп, райхон, чамбил, хучаста, хино) шинонида шуд. Ин растаниҳо дар давраи нашъунамо ҳашаротҳои фоидаоварро ба худ ҷалб менамоянд, ки дар марҳалаи гулкунӣ манбаи ғизои иловагӣ ба онҳо буда, ҳамчун ғизои карбогидратӣ хизмат мекунад. Инчунин истифодаи феромонҳо - домҳои махсусе мебошанд, ба воситаи онҳо метавон наринаҳои зараррасонҳоро дар як ҷо ҷамъ карда нобуд кард.

Ин параметрҳоро дар амсилаи математикии агросенозаи пахта дида мебароем. Бигузор ҳолати агросенозаи амсилави ба воситаи системаи муодилаҳои дифференсиалии зерин навишта шуда бошад.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dN_0}{dt} = Q - \alpha_0 N_0 N_1, \\ \frac{dN_1}{dt} = k_0 \alpha_0 N_0 N_1 - \sum_{i=1}^3 \alpha_i N_{i+1} - m_1 N_1, \\ \frac{\partial N_{i-1}}{\partial t} + \frac{\partial N_{i-1}}{\partial a} = k_{i-2} \alpha_{i-2} N_1 N_{i-1} - \alpha_{i+1} N_{i+2}^\omega - m_{i-1} N_{i-1} - \mu_{i-2}(M) N_{i-1}, \quad i = \overline{3,5}, \\ \frac{\partial N_{i+2}}{\partial t} + \frac{\partial N_{i+2}}{\partial a} = k_{i+1} \alpha_{i+1} N_{i-1} N_{i+2}^\omega - \varepsilon N_{i+2}^{\omega^2} - m_{i+2} N_{i+2}^\omega - \eta_{i-1} \mu_{i-2}(M) N_{i+2}^\omega + P_{i-2} N_{i+2}^\omega, \quad i = \overline{3,5}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Барои системаи муодилаҳои дифференсиалии (1) шартҳои аввалии зерин дода мешавад.

$$N_i |_{t=0} = N_i^0 \quad i = \overline{0,7} \quad N_i |_{a=0} = \int_0^\infty B_i(N, \xi, t) d\xi \quad i = \overline{2,7} \quad 0 \leq t \leq t_k$$

$B_i = B(N, a, t) \geq 0$ – функцияи тавлидҳои ҳашаротҳо мебошад.

Дар ин ҷо N_0 -массаи манбаи беруна, Q -суръати дохилшавии манбаи беруна, N_1 - биомассаи растани пахта, $N_i = N_i(t)$, $i = \overline{2,7}$ шумораи ҳашаротҳои зараррасон ва фоидаовар мебошад, ки дар ин ҷо N_2 - биомассаи ҳашароти зараррасони ширинча, N_3 - биомассаи ҳашароти зараррасони кирми пахта, N_4 - биомассаи ҳашароти зараррасони тортанаккана, N_5 - биомассаи ҳашароти фоидаовари трихограмма мебошад, ки ҳашароти зараррасони ширинчаро меҳӯрад, N_6 - биомассаи ҳашароти фоидаовари габробракон мебошад, ки ҳашароти зараррасони кирми пахтаро меҳӯрад, N_7 - биомассаи ҳашароти фоидаовари тиллоҷашмак ва N_{i+2}^ω , $i = \overline{3,5}$ – ҳашаротҳои фоидаоваре мебошад, ки дар натиҷаи истифодаи растаниҳои шахддиханда ҷамъ мешавад.

Дар системаи (1) $\mu_{i-2}(M)$, $i = \overline{3,5}$ -функсияҳои “муриши ҳашаротҳо” аз истифодаи M_{i-2} - домҳои феромонӣ барои несткунии ҳашаротҳои зараррасон ва $\mu_{i-2}(M_{i-2}) \geq 0$, $\frac{d\mu_{i-2}}{dM} \geq 0$, $\frac{d\mu_{i-2}^2}{dM^2} \geq 0$, $i = \overline{3,5}$ мебошад. P_{i+2} , $i = \overline{3,5}$ - параметрҳои биологии мубориза бар зидди ҳашаротҳо (микдори ҳашаротҳои ғайдаовари ба агросеноза ҳамроҳшаванда) ифода мекунад, $F_i(\cdot)$, $i = \overline{2,7}$ – мувофиқан суръати хоси афзоиши намудҳои биологии i -уми агросеноза мебошад. Мақсади идоракунии аз он иборат аст, ки ҳаминхел қиматҳои P_{i+2} , $i = \overline{3,5}$, M -ро аз маҷмӯи $U = \{(M, P_{i+2}, i = \overline{3,5})\}$ муайян кардан лозим аст, ки зарари умумии ҳашаротҳои зараррасон ба ҳосили пахта аз ҳама камтар бошад, яъне функционали қимати минимали дошта бошад.

$$I(u) = \int_{t_k}^{t_{k+1}} f^0(N_i, U) + \varphi(N_i, U)|_{t_k}, \quad i = \overline{2,7} \quad (2)$$

Аз моҳияти биологии масъала бармеояд, ки $B_i(\cdot) \geq 0$, $F_i(\cdot) \geq 0$,

$$\frac{\partial F_i}{\partial N_i} \leq 0 \quad \frac{\partial F_i}{\partial N_j} = \begin{cases} \leq 0, & i < j, \quad i = \overline{0,7}, \\ = 0, & i = j, \quad j = \overline{0,7}, \\ \geq 0, & i > j, \quad j = \overline{0,7}. \end{cases} \quad (3)$$

Яъне системаи (3) муносибати байни намудҳои биологиро дар агросенозаи пахта ифода мекунад.

Акнун масъалаи идоракунии оптималиро дар ҳолати статсионарӣ дида мебароем. Гузориши масъалаи оптимизатсионӣ чунин мебошад: Талаб карда мешавад, ки минимуми функционали

$$I(P_{i-2}, M) = \sum c_{i-2} N_{i-1}(P_{i-2}, M) + \sum c_{i+1} P_{i-2} + c_7 M + Q, \quad i = \overline{3,5}. \quad (4)$$

ёфта шавад, дар ҳолати иҷро шудани шартҳои

$$\begin{cases} Q - \alpha_0 N_0 N_1 = 0, \\ k_0 \alpha_0 N_0 N_1 - \sum_{i=1}^3 \alpha_i N_{i+1} - m_1 N_1 = 0, \\ k_{i-2} \alpha_{i-2} N_1 N_{i-1} - \alpha_{i+1} N_{i+2}^\omega - m_{i-1} N_{i-1} - \mu_{i-2}(M) N_{i-1} = 0, \quad i = \overline{3,5}, \\ k_{i+1} \alpha_{i+1} N_{i-1} N_{i+2}^\omega - \varepsilon N_{i+2}^{\omega 2} - m_{i+2} N_{i+2}^\omega - \eta_{i-1} \mu_{i-2}(M) N_{i+2}^\omega + P_{i-2} N_{i+2}^\omega = 0, \quad i = \overline{3,5}. \end{cases} \quad (5)$$

Дар ин ҷо α_i , k_i , m_i – параметрҳои биологӣ, c_1, c_2, c_3 - мувофиқан нархи як воҳиди биомассаи зараррасон, хароҷот ба усулҳои муҳофизати интегратсионӣ мебошад.

Теорема. Бигузур $N^* = (N_0^*, N_1^*, N_{i-1}^*, N_{i+2}^*)$ – ҳалли статсионарии системаи (1) бошад, он гоҳ ҳалли наздиқшудаи масъалаи (5) – ро дар намуди зерин

$$N(t) \approx N^* + (N^0 - N^*) \sum_{i=0}^7 \frac{e^{\lambda_i t}}{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^7 (\lambda_j - \lambda_i)} \prod_{i=1}^7 (A_0 - \lambda_i I), \quad (6)$$

ифода кардан мумкин аст.

Дар қуҷо λ_i – қимати хоси матритсаи $A_0 = (a_{ij})$, $i = \overline{0,7}$; $j = \overline{0,7}$, $N^0 = N(0)$ мебошад.

Исбоот. Бигузур $\Delta N = N(t) - N^*$ ё

$$\begin{aligned} \Delta N &= \lambda^6 A_1 - \lambda^5 A_2 + \lambda^4 A_3 - \lambda^3 A_4 + \lambda^2 A_5 - \lambda A_6 + A_7, \text{ ва} \\ A^7 &= A_1 A^6 - A_2 A^5 + A_3 A^4 - A_4 A^3 + A_5 A^2 - A_6 A + A_7 I, \end{aligned}$$

дар кучо $N(t)$ – ҳалли масъалаи (1), A_i , $i = \overline{0,7}$ – суммаи ҳамаи минорҳои диагоналии тартиби n -ро ифода мекунад: $\dot{N} = f(N)$, $N(0) = N^0$, $f - \lambda_i$, $i = \overline{0,7}$ – тарафи рости системаи (1); N^* – ҳалли $f(N^*) = 0$.

Ифодаҳои охиронро пайдарпай ба λ^p ва A^p зарб намуда ҳосил мекунем:

$$\Delta N \lambda^p = \lambda^{6+p} A_1 - \lambda^{5+p} A_2 + \lambda^{4+p} A_3 - \lambda^{3+p} A_4 + \lambda^{2+p} A_5 - \lambda^{1+p} A_6 + \lambda^p A_7,$$

$$A^{7+p} = A_1 A^{6+p} - A_2 A^{5+p} + A_3 A^{4+p} - A_4 A^{3+p} + A_5 A^{2+p} - A_6 A^p + A_7 I A^p,$$

аз ин ҷо фарз мекунем, ки $f(N) = P_6(N)$, $f(A) = P_6(A)$ ва

$\lambda_i \neq \lambda_j$, $i \neq j$, $i = \overline{0,7}$, $j = \overline{0,7}$, дар кучо $P_6(\cdot)$ – бисёрраъзгии тартиби 6 мебошад, он гоҳ ба осони дида мешавад, ки $\Delta \dot{N} \approx A_0 \Delta N$, $\Delta N(0) = N^0 - N^*$

Дар кучо A_0 – матритсаи транспониронидашудаи A_0^* мебошад ва аз ин ҷо $\Delta N \approx (N^0 - N^*) e^{A_0 t}$.

Аён аст, ки $\Delta \dot{N} = N(t) - N^*$, бо истифода аз формулаи интерполясионии Лагранж – Силвестр, яъне

$$N(t) \approx N^* + (N^0 - N^*) \sum_{i=0}^7 \frac{e^{A t}}{\prod_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^7 (\lambda_j - \lambda_i)} \prod_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^7 (A_0 - \lambda_i I),$$

–ро ҳосил мекунем.

Аён аст, ки барои системаи муодилаҳои алгебравии (5) се ҳолати мувозинатӣ ҳой дорад, ки ҳар яке аз онҳо ба дарозии занҷири трофикии 1, 2 ва 3 мувофиқ мебошад.

1) $(N_0^*, N_1^*, 0, 0)$

$$N_0^* = \frac{m_1}{k_0 \alpha_0}, N_1^* = \frac{k_0}{m_1} Q, N_{i-1}^* = 0, N_{i+2}^* = 0, i = \overline{3,5}.$$

2) $(N_0^*, N_1^*, N_{i-1}^*, 0)$, $i = \overline{3,5}$. $N_0^* = \frac{k_1 \alpha_1 Q}{\alpha_0 m_2 + \alpha_0 \mu_1(M)}$, $N_1^* = \frac{m_2 + \mu_1(M)}{k_1 \alpha_1}$,

$$N_{i-1}^* = \frac{1}{\alpha_{i-1}} \left(k_0 Q - \frac{m_1 m_{i-1} + m_1 \mu_{i-2}(M)}{k_{i-2} \alpha_{i-2}} \right), N_3^* = 0, i = \overline{3,5}.$$

3) $(N_0^*, N_1^*, N_{i-1}^*, N_{i+2}^*)$, $i = \overline{3,5}$.

$$N_0^* = \frac{-\delta_0 + \sqrt{\delta_0^2 + 4k_0 k_4 k_5 k_6 \alpha_4^2 \alpha_5^2 \alpha_6^2 Q}}{2\alpha_0 k_0 k_4 k_5 k_6 \alpha_4^2 \alpha_5^2 \alpha_6^2},$$

$$N_1^* = \frac{\delta_0 + \sqrt{\delta_0^2 + 4k_0 k_4 k_5 k_6 \alpha_4^2 \alpha_5^2 \alpha_6^2 Q}}{2(k_1 k_6 \alpha_1^2 \alpha_6^2 \varepsilon_1 + k_2 k_5 \alpha_2^2 \alpha_5^2 \varepsilon_2 + k_3 k_4 \alpha_3^2 \alpha_4^2 \varepsilon_3)},$$

$$N_{i-1}^* = \frac{-\delta_0 + \sqrt{\delta_0^2 + 4k_0 k_4 k_5 k_6 \alpha_4^2 \alpha_5^2 \alpha_6^2 Q}}{2k_{i+1} k_6 \alpha_{i+1}^2 \alpha_{i-2}^2} + \frac{m_1}{\alpha_{i-2}}, \quad i = \overline{3,5},$$

$$N_{i+2}^* = \frac{-\delta_0 + \sqrt{\delta_0^2 + 4k_0 k_4 k_5 k_6 \alpha_4^2 \alpha_5^2 \alpha_6^2 Q} - 2\alpha_{i+1} [m_1 k_{i+1} \alpha_{i+1} + \alpha_{i-2} (m_{i+2} + \eta_{i-2} \mu_{i-2}(M) - P_{i-2})]}{2\varepsilon_{i-2} \alpha_{i-2} \alpha_{i+1}}, \quad i = \overline{3,5},$$

Дар ин ҷо

$$\delta_0 = \alpha_{i-2} \alpha_{i+1} P_{i-2} + \alpha_{i-2} (\varepsilon_{i-2} - \alpha_{i-2} \alpha_{i+1}) \mu_{i-2}(M) + m_{i-1} \alpha_{i-2} \varepsilon_{i-2} - m_{i+2} \alpha_{i-2} \alpha_{i+1} - m_1 k_{i+1} \alpha_{i+1}^2,$$

Дар ҳолати 1-ум занҷири трофикии дарозии 1 мавҷуд аст. Дар ин ҳолат функционали (4) намуди зеринро мегирад:

$$I(P_{i-2}, M) = \sum c_{i+1} P_{i-2} + c_7 M + Q, \quad i = \overline{3,5}.$$

аз ин ҷо маълум аст, ки параметрҳои идоракунӣ $P_{i-2}^* = 0$, $M^* = 0$, $i = \overline{3,5}$ мебошад.

Дар ҳолати 2-юм занҷири трофикии дарозии 2 мавҷуд аст. Дар ин ҳолат функционали (4) намуди зеринро мегирад:

$$I(P_{i-2}, M) = \sum c_{i-2} \left(\frac{-\delta_0 + \sqrt{\delta_0^2 + 4k_0 k_4 k_5 k_6 \alpha_4^2 \alpha_5^2 \alpha_6^2 Q}}{2k_{i+1} k_6 \alpha_{i+1}^2 \alpha_{i-2}} + \frac{m_1}{\alpha_{i-2}} \right) + \sum c_{i+1} P_{i-2} + c_7 M + Q, \quad i = \overline{3,5}.$$

Аз ин ҷо бармеояд, ки параметрҳои идоракунии оптималӣ

$$P_{i-2}^* = 0, \quad M^* = \frac{k_0 k_{i-1} \alpha_{i-2} Q}{m_1} - m_{i-1}, \quad i = \overline{3,5} \text{ мебошад.}$$

Дар ҳолати сеюм, яъне ҳолати умумӣ параметрҳои идоракунии оптималӣ намуди зеринро мегирад:

$$P_{i-2}^* = \begin{cases} P_{i-2}^{\max}, & \delta_0^2 + 4k_0 k_4 k_5 k_6 \alpha_4^2 \alpha_5^2 \alpha_6^2 Q > 0 \\ 0, & \delta_0^2 + 4k_0 k_4 k_5 k_6 \alpha_4^2 \alpha_5^2 \alpha_6^2 Q < 0 \end{cases}, \quad i = \overline{3,5}$$

$$M^* = \frac{1}{\eta_{i-2}} \left(\frac{\delta_0 - \sqrt{\delta_0^2 + 4k_0 k_4 k_5 k_6 \alpha_4^2 \alpha_5^2 \alpha_6^2 Q}}{2\alpha_{i+1} \alpha_{i-2}} + \frac{m_1 k_{i+1} \alpha_{i+1} - m_{i+2}}{\alpha_{i-2}} \right), \quad \mu_{i-2}(M) = M, \quad i = \overline{3,5}$$

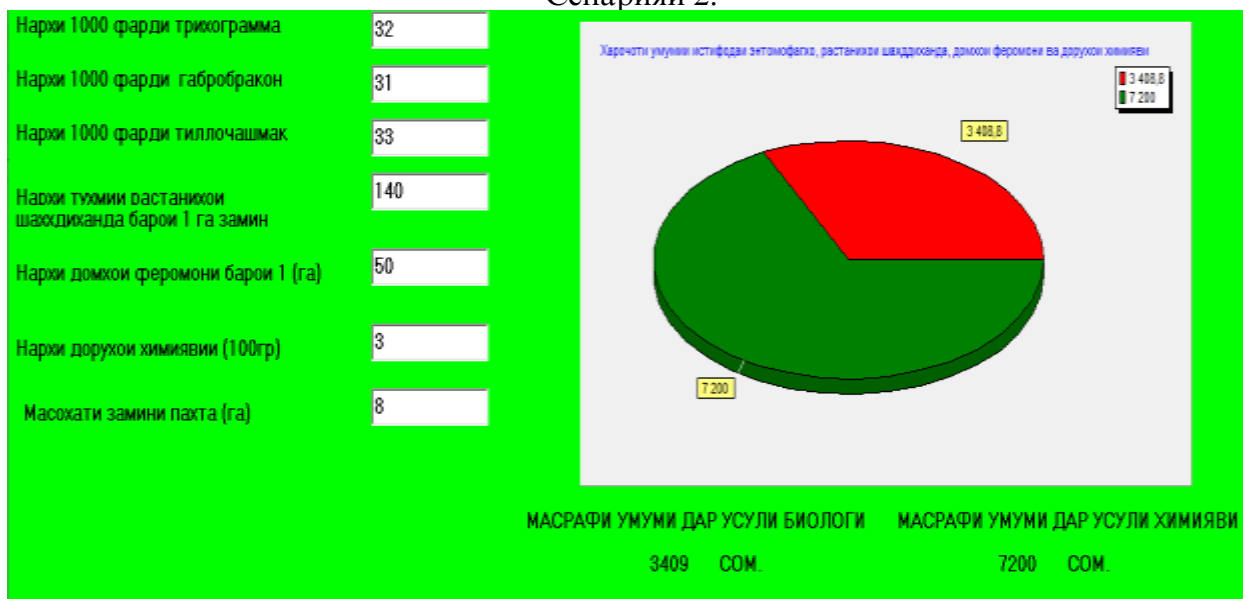
Ҳамин тавр, барои пешгӯӣ ва истифодаи ҷораҳои муҳофизатӣ аз ҳашаротҳои зараррасони агросенозаи пахта, ба мо лозим меояд, ки дар қадом сатҳ қарор доштани параметрҳои идоракуниро омӯзем. Натиҷаҳои масъалаи оптимизатсионии муҳофизати агросенозаи пахта дар забони барномасозии C++ барномарезӣ намуда, яқҷанд сценарияҳо гузаронида, натиҷаҳои компютери ба даст овардем.

Сценария 1.



Расми 1 -Натиҷаи компютери ҳисобкунии хароҷоти умумӣ .

Сценария 2.



Расми 2 - Натиҷаи компютери ҳисобкунии хароҷоти умумӣ

Сценария 3.



**Расми 3 - Натиҷаи компютери хисобкунии харҷоти умумӣ
АДАБИЁТ**

1. Одинаев Р.Н. Амсилаи математикии масъалаи муҳофизати агросеносаи пахта аз зараррасониҳои хоҷагии кишлоқ/ Р.Н. Одинаев, А.Б. Фафоров // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, 2019. – №4. – С. 14-19.
2. Фафоров, А.Б. Усули адабии ҳалли масъалаи дифференсиалии муҳофизати агросеносаи пахта ва натиҷаҳои компютери он [Матн] / А.Б. Фафоров // Паёми донишгоҳи давлатии Бохтар ба номи Носири Хусрав, Силсилаи илмҳои гуманитарӣ ва иқтисодӣ, 2020. №1/3(77). –с.129-133.
3. Юнусӣ М. Математические модели борьбы с вредителя огроценозов / М. Юнусӣ –Душанбе: Дониш, 1991. -141 с.
4. Саидов Н.Ш., Джабаров А.У., Мирзоев Т.К., Каримчанов С. Насыщение агроландшафтов цветковыми растениями для повышения эффективности энтомофагов в интегрированной защите хлопчатника. В кн.: «Актуальные проблемы, перспективы развития сельского хозяйства», Сборник научных трудов Института земледелия, Душанбе, 2011, том VI с. 106-115.

АННОТАЦИЯ

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ХЛОПКОВОГО АГРОСЕНОЗА

Защита растений от вредителей и болезней - один из важных факторов повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Интегрированная защита агроценоза хлопчатника от вредителей играет важную роль.

В данной работе исследуются задачи оптимального управления агроценоза хлопчатника, состоящего из трех трофических уровней «хлопок - вредные насекомые - полезные насекомые». Для стационарной задачи модельного агроценоза, найдено оптимальное решение задачи защиты агроценоза хлопчатника от вредителей сельхозкультур.

Ключевые слова: модель, оптимальное управление, интегрированная защита, нектароносные растения, феромоновые ловушки, стационарность, функциональ, трофическая цепь.

ANNOTATION

THE OPTIMAL ISSUE OF CONTROLLING IN MATHEMATICAL MODEL OF COTTON AGROSENOSIS

The plant protection from pests and diseases is one of the most important factors in increasing yield of agriculture. Integrated protection of cotton agrosenosis plays an important role.

In current work is seen the problem of optimal controlling of cotton agrosenosis, that are consisted of three trophic levels: "Cotton - harmful insects - beneficial insects". For stationary problem of model agrosenosis in found optimal solution in problem of cotton agrosenosis protection from agricultural vermin.

Key words: model, optimal controlling, integrated protection, nectariferous plants, pheromone trape, stationarity, functionality, trophic chain.