R A Q A M L I T E X N O L O G I Y A L A R N I N G
N A Z A R I Y V A A M A L I Y M A S A L A L A R I
X A L Q A R O J U R N A L I

P-ISSN: 2181-3086 E-ISSN: 2181-3094

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot
texnologiyalari universiteti Samarqand filiali

Web: https://ijdt.uz/index.php/ijdt

MARKAZIY NERV TIZIMI BIRLAMCHI O‘SIMTALARINING PAYDO BO‘LISHI VA RIVOJLANISHI REGULYATORIKASI TENGLAMALARI YECHIMLARINING TURG‘UNLIGI

Shuxrat Isroilov[1], Fazliddin Allayorov[1]

[1] Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
Samarqand filiali, Samarqand, O‘zbekiston
i.khujayorov@tuit.uz, ochilov.mannon@mail.ru, xolmatov.orzumurod@gmail.com,
i.shuha84@gmail.com

Citation: *Isroilov, S., & Allayorov, F. (2024). Markaziy nerv tizimi birlamchi o‘simtalarining paydo bo‘lishi va rivojlanishi regulyatorikasi tenglamalari yechimlarining turg‘unligi. Международный Журнал Теоретических и Прикладных Вопросов Цифровых Технологий, 7(2), 77–83. https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i2.186*

Kelib tushdi: 10-aprel 2024-yil
Qabul qilindi: 27-aprel 2024-yil
Chop etildi: 30-iyun 2024-yil

DOI: https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i2.186

UDK 576.78

MARKAZIY NERV TIZIMI BIRLAMCHI O‘SIMTALARINING PAYDO BO‘LISHI VA RIVOJLANISHI REGULYATORIKASI TENGLAMALARI YECHIMLARINING TURG‘UNLIGI

Isroilov Sh.Y.[1], *Allayorov F.F.*[1]
[1] Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti Samarqand filiali, Samarqand, O‘zbekiston
i.shuha84@gmail.com

Annotatsiya. *Mazkur maqolada regulyatorika usuli asosida kechikuvchi tipdagi chiziqsiz funksional-differensial tenglamalar yordamida markaziy nerv tizimi birlamchi o‘simtalarining paydo bo‘lishi va rivojlanish regulyator mexanizmlarini tadqiq qilish uchun matematik model ishlab chiqiladi. Ushbu matematik model tenglamalar yechimlari sifat jihatidan tahlil qilinib, uning muvozanat nuqtalari mavjudligi aniqlanib, Xeys kriteriyasi shartlari asosida tenglama muvozanat nuqtasida turg‘un yoki noturg‘unligi tekshiriladi.*

Kalit so‘zlar: *matematik model, regulyatorika, funksional-differensial tenglamalar, tirik tizimlar, Xeys kriteriyasi, muvozanat nuqtasi.*

I. KIRISH

Tirik tizimlarni modellashtirish masalalarini yechish asosan juda murakkab bo‘lib, yuqori darajali va ko‘p parametrlarni o‘z ichiga oladigan nochiziq tenglamalar tizimlarini tahlil qilishga olib keladi. Parametrlarning ko‘pligi qo‘yilgan masalani juda ham chegaralangan doirada (masalan, faqat aniq bir yoshdagi, aniq bir kasallikga uchragan bemorlarning konkret organidagi xususiy jarayon) yechish imkonini berib, umumiy qonuniyatlarni aniqlashga va umumiy natijalarni olishga to‘sqinlik qiladi. Biologik tizimlarning, regulyatorika nuqtai nazaridan, umumiy qonuniyatlari, mexanizmlarini aniqlash qo‘llanilayotgan tenglamalarni sifatiy tahlil qilishni taqoza qiladi. Bunda tadqiqotning boshlang‘ich qismida, sifatiy tahlil usullari asosida ko‘rilayotgan biologik jarayonning mohiyati, qonuniyatlari va organizmda tutgan o‘rniga qarab mos tenglamalar sinfi ajratilib olinadi. Tenglamalarni sifatiy tahlil qilish, ularni yechmasdan maxsus sifatiy tahlil nazariyasi asosida hamma yechimlarining umumiy tahlilini amalga oshirish imkonini beradi [1, 2]. Markaziy nerv tizimi birlamchi o‘simtalarining paydo bo‘lishi va rivojlanishi regulyator mexanizmlari tenglamasini yechimlarini sifat tahlil qilib, uning muvozanat nuqtalari mavjudligini tekshiramiz.

II. ASOSIY QISM

Glial hujayralar neyronlar uchun noyob mikromuhitni yaratadi, bu nerv impulslarini ishlab chiqilishi va uzatilishi uchun sharoit yaratadi. Nerv glial hujayralarining hujayra guruhi faqat bo‘linadigan (*M*) va bufer hujayralaridan (*B*) iborat deb faraz qilamiz. *B* hujayralari o‘sadi, *M* ga qaytishi yoki bu yerda hayotiy faoliyatini tugatishi mumkin. Glial hujayralar bo‘linish qobiliyatini saqlab qoladi. Mitotik bo‘linishni amalga oshiradigan glial hujayraning funksional holati regulyatorikasi quyidagi tenglamalar bilan ifodalanishi mumkin [3, 6, 10]:

$$\begin{aligned}\frac{dM(t)}{dt} &= \frac{a_1 M^n(t-h)B^m(t-h)}{c+qM^k(t-h)+rB^l(t-h)} - b_1 M(t);\\ \frac{dB(t)}{dt} &= a_2 M(t-h) - b_2 B(t),\end{aligned} \qquad (1)$$

boshlang‘ich shartlar

$$\begin{cases} M(t)=\alpha(t);\ t\in[0;\,h],\\ B(t)=\beta(t);\ t\in[0;\,h],\end{cases}$$

bu yerda $M(t)$, $B(t)$ – glial hujayralar bo‘linishi va bufer hujayra guruhlari sonini ifodalovchi qiymatlar; $a_1 - M$ - hujayra bo‘linish tezligini ifodalaydi; b_1 – bufer zonasida bo‘linadigan - hujayralarni kamayish tezligi; a_2 – bufer zonasidagi hujayralarning ko‘payish tezligi; b_2 – bufer zonasidagi hujayralarning kamayish tezligi; h – vaqt parametri (o‘rtacha qayta aloqa vaqti); k, l - regulyatorga nisbatan repressiv darajani ifodalovchi musbat doimiy, n, m - poluferativ faza resurslarni ta’minlash darajasini ifodalovchi musbat doimiy.

$\frac{dM(t)}{dt}=0,\quad \frac{dB(t)}{dt}=0$ - bo‘lgan holatda $M(t)=M(t-h)=X_0,\quad B(t)=B(t-h)=Y_0$ deb belgilaydigan bo‘lsak, ifodani quyidagicha yozish mumkin [7,11,19]:

$$\frac{a_1X_0{}^nY_0{}^m}{c+qX_0{}^k+rY_0{}^l}-b_1X_0=0,$$

$$a_2X_0-b_2Y_0=0,$$

$$Y_0=\frac{a_2X_0}{b_2}.$$

Topilgan qiymatni (1) tenglamalar tizimining birinchi tenglamasiga qo‘yamiz, shunda:

$$\frac{a_1X_0{}^n(\frac{a_2X_0}{b_2})^m}{c+qX_0{}^k+r(\frac{a_2X_0}{b_2})^l}-b_1X_0=0,$$

$$\frac{a_2^mb_2^la_1X_0{}^{n+m}}{b_2^mb_2^lc+b_2^mb_2^lqX_0{}^k+b_2^ma_2rX_0{}^l}-b_1X_0=0,$$

belgilashlar kiritish orqali ifodani masshtablashtiramiz $a=a_2^mb_2^la_1,\quad b=b_2^mb_2^lc,$ $c=b_2^mb_2^lq,\quad e=b_2^ma_2r,\quad r=k=l,\quad p=n+m$ va kechikuvchi argumentga ega bo‘lgan funksional-differensial tenglama ko‘rinishidagi soddalashtirilgan quyidagi tenglamasiga ega bo‘lamiz:

$$\frac{dM(\mathrm{t})}{dt}=\frac{aM^p(\mathrm{t-h})}{b+cM^r(\mathrm{t-h})+eM^r(\mathrm{t-h})}-b_1M(\mathrm{t}),$$

$$t>h,\ M(t)=\psi(t),\ t\in[0,h].$$

$$\varepsilon=\frac{1}{hb_1},\quad \theta=\frac{t}{h},\quad \mu=\frac{a}{b_1},\quad M(t)=M(h\theta)=X(\theta)$$

va $M(t-h)=X(\theta-1)$ belgilashlarni kiritganimizda quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\varepsilon\frac{dX(\theta)}{d\theta}=\frac{\mu X^p(\theta-1)}{b+cX^r(\theta-1)+eX^r(\theta-1)}-\mathrm{X}(\theta),\qquad (2)$$

$$\theta>1,\quad Z(\theta)=\psi(\theta),\quad \theta\in[0,1].$$

Muvozanat nuqtalarning turg‘unligini tahlil qilish uchun (2) tenglamani muvozanat nuqtalari atrofida chiziqlashtiramiz. Trivial muvozanat nuqtasining turg‘un ekanligi sababli, chiziqlashtirish faqat notrivial muvozanat nuqtalari atrofida amalga oshiriladi [4,5,9,13].

Markaziy nerv tizimi birlamchi o‘simtalarining paydo bo‘lishi va rivojlanishi regulyator mexanizmlarini ifodalovchi tenglamada X ning ixtiyoriy η muvozanat nuqtasi atrofida chiziqlashtiramiz. Buning uchun η nuqta atrofida yangi juda kichik o‘zgaruvchan $x(t)$ qiymat kiritamiz va

$$X(\theta)=\eta+x(t),\ \ X(\theta-1)=\eta+x(t-1)$$

(2) tenglamani quyidagicha chiziqlashtiramiz:

$$\varepsilon\frac{dx(\mathrm{t})}{dt}=\frac{\mu(\eta+x(\mathrm{t-1}))^p}{b+(c+e)(\eta+x(\mathrm{t-1}))^r}-(\eta+x(\mathrm{t})),$$

hosil bo‘lgan ifodada *x(t)* va *x(t-*1*)* ning qiymati juda kichik bo‘lganligi uchun ularning ikkinchi va undan yuqori darajalari qatnashgan hadlarning qiymatlari nolga juda yaqinligi sababli ularni hisobga olmaslik mumkin.

$$\varepsilon\frac{dx(\mathrm{t})}{dt}=\frac{\mu(\eta^p+\eta^{p-1}px(\mathrm{t-1}))}{b+(c+e)(\eta^r+\eta^{r-1}rx(\mathrm{t-1}))}-(\eta+x(\mathrm{t})),$$

matematik hisoblashlardan keyin quyidagiga

$$\varepsilon\frac{dx(\mathrm{t})}{dt}=\frac{\mu(\eta^p+\eta^{p-1}px(\mathrm{t-1}))}{(b+(c+e)\eta^r)+(c+e)\eta^{r-1}rx(\mathrm{t-1})}-$$
$$-(\eta+x(\mathrm{t})),$$

ega bo‘lamiz. Maxrajning qo‘shmasini ifodadagi kasrning surat va maxrajiga ko‘paytirib olamiz va natijada

$$\varepsilon\frac{dx(\mathrm{t})}{dt}=\frac{\mu(\eta^p+\eta^{p-1}px(\mathrm{t-1}))}{(b+(c+e)\eta^r)+(c+e)\eta^{r-1}rx(\mathrm{t-1})}\times$$
$$\times\frac{(b+(c+e)\eta^r)-(c+e)\eta^{r-1}rx(\mathrm{t-1})}{(b+(c+e)\eta^r)-(c+e)\eta^{r-1}rx(\mathrm{t-1})}-(\eta+x(\mathrm{t})),$$

ifoda hosil bo‘ladi va ushbu ifodani soddalashtirishni davom ettiramiz:

$$\varepsilon\frac{dx(\mathrm{t})}{dt}=\frac{\mu(\eta^p(b+(c+e)\eta^r)+\eta^{p-1}px(\mathrm{t-1})(b+(c+e)\eta^r-\eta^p(c+e)\eta^{r-1}rx(\mathrm{t-1})))}{(b+(c+e)\eta^r)^2}-(\eta+x(\mathrm{t})),$$

$$\varepsilon\frac{dx(\mathrm{t})}{dt}=\frac{\mu\eta^{p-1}(\eta(b+(c+e)\eta^r)+(p(b+(c+e)\eta^r)-r(c+e)\eta^r)x(\mathrm{t-1}))}{(b+(c+e)\eta^r)^2}-(\eta+x(\mathrm{t})),$$

hosil bo‘lgan tenglamadan

$$\frac{\mu\eta}{(b+(c+e)\eta^{r})}=\eta,$$

yoki

$$\frac{\mu\eta^{p-1}}{(b+(c+e)\eta^{r})}=1,$$

tengliklardan foydalangan holda chiziqlash-tirilayotgan tenglamani quyidagi ko‘rinishda soddalashtirib olish mumkin:

$$\varepsilon\frac{dx(\mathrm{t})}{dt}=\frac{\mu\eta^{p-1}}{(b+(c+e)\eta^{r})}\cdot\frac{(\eta(b+(c+e)\eta^{r})+(p(b+(c+e)\eta^{r})-r(c+e)\eta^{r})x(\mathrm{t}-1))}{(b+(c+e)\eta^{r})}-(\eta+x(\mathrm{t})),$$

$$\varepsilon\frac{dx(\mathrm{t})}{dt}=\frac{\eta(b+(c+e)\eta^{r})}{(b+(c+e)\eta^{r})}+\frac{(p(b+(c+e)\eta^{r})-r(c+e)\eta^{r})x(\mathrm{t}-1)}{(b+(c+e)\eta^{r})}-(\eta+x(\mathrm{t})),$$

$$\varepsilon\frac{dx(\mathrm{t})}{dt}=\eta+\left(\frac{p(b+(c+e)\eta^{r})}{(b+(c+e)\eta^{r})}-\frac{r(c+e)\eta^{r})}{(b+(c+e)\eta^{r})}\right)x(\mathrm{t}-1)-\eta-x(\mathrm{t}),$$

$$\varepsilon\frac{dx(\mathrm{t})}{dt}=\left(p-\frac{r(c+e)\eta^{r}}{b+(c+e)\eta^{r}}\right)x(\mathrm{t}-1)-x(\mathrm{t}). \qquad (3)$$

Hosil bo‘lgan (3) tenglama (2) tenglamaning muvozanat holati atrofida chiziqlashtirilgan tenglamasidir. Ushbu tenglamaning aniq yechimlarini topish murakkab bo‘lganligi uchun Xeys kriteriyasi bilan xarakteristik yechimlari xususiyatlarini tekshirib ko‘rish mumkin [4, 8, 15].

(2) tenglamaning xarakteristik tenglamasi quyidagi

$$(\lambda+a)e^{\lambda}+b=0,$$

ko‘rinishda bo‘lsa va quyidagi shartlar

1. $a>-1,$
2. $a+b>0,$
3. $b<\varphi\sin\varphi-a\cos\varphi,$

bajarilsa, u holda muvozanat nuqtalari turg‘un, aks holda noturg‘un bo‘ladi. Bu yerda φ, $\varphi=-atg\varphi$ tenglamaning ildizi.

(3) tenglama uchun xarakteristik tenglama tuzib olamiz. Buning uchun

$$x(t)=e^{\lambda t};\quad \frac{dx(t)}{dt}=\lambda e^{\lambda t};$$

tengliklardan foydalangan holda (3) tenglamadan (4) tenglamani hosil qilamiz,

$$\varepsilon\lambda e^{\lambda t}=\left(p-\frac{r(c+e)\eta^{r}}{b+(c+e)\eta^{r}}\right)\cdot\frac{e^{\lambda t}}{e^{\lambda}}-e^{\lambda t}, \qquad (4)$$

va (4) ifodaning shaklini o‘zgartirib, quyidagi xarakteristik tenglamani olamiz:

$$\left(\lambda+\frac{1}{\varepsilon}\right)e^{\lambda}+\left(\frac{r(c+e)\eta^{r}}{b+(c+e)\eta^{r}}-p\right)\frac{1}{\varepsilon}=0. \qquad (5)$$

(5) tenglama (2) tenglamaning xarakteristik tenglamasi. Hosil bo‘lgan xarakteristik tenglamani Xeys kriteriyasi shartlari bilan tekshiramiz:

1-shart. Birinchi shartda (5) xarakteristik tenglamada $a>-1$ shart bajarilishi lozim. Bizda $a=\frac{1}{\varepsilon}$ ga teng, bundan $\frac{1}{\varepsilon}>-1$, shart har doim o‘rinli, chunki $\varepsilon>0$ bo‘lganligi uchun Xeys kriteriyasining birinchi sharti bajariladi.

2-shart. Xeys kriteriyasining ikkinchi shartida (5) xarakteristik tenglamada $a+b>0$ shart bajarilishi kerak:

$$a=\frac{1}{\varepsilon}\ \text{va}\ b=\left(\frac{r(c+e)\eta^{r}}{b+(c+e)\eta^{r}}-p\right)\frac{1}{\varepsilon}.$$

Bizni tenglamada

$$\frac{1}{\varepsilon}+\left(\frac{r(c+e)\eta^{r}}{b+(c+e)\eta^{r}}-p\right)\frac{1}{\varepsilon}>0.$$

Hosil bo‘lgan tengsizlikni soddalashtirsak,

$$\left(\frac{r(c+e)\eta^{r}}{b+(c+e)\eta^{r}}-p\right)>-1,$$

$$\eta^{r}>\frac{\mathrm{pb}-\mathrm{b}}{(c+e)(\mathrm{r}-\mathrm{p}+1)},$$

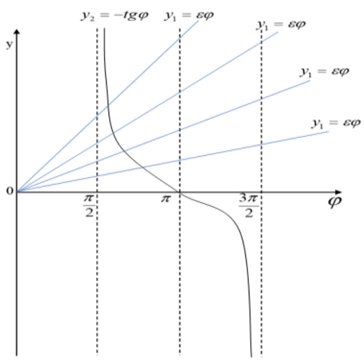
$$\eta > \sqrt[r]{\frac{pb-b}{(c+e)(r-p+1)}},$$

sharti bajarilishi talab qilinadi.

3- shart. (5) xarakteristik tenglama Xeys kriteriyasining uchinchi shartiga tekshiramiz. Uchinchi shartda $b < \varphi\sin\varphi - a\cos\varphi$ tengsizlik o‘rinli va bundan quydagi

$$\left(\frac{r(c+e)\eta^r}{b+(c+e)\eta^r} - p\right)\frac{1}{\varepsilon} < \varphi\sin\varphi - \frac{1}{\varepsilon}\cos\varphi,$$

shartga ega bo‘lamiz. Bu yerda φ - $\varphi = -atg\varphi$ tenglamaning ildizi. Yuqoridagi shartga ko‘ra $\frac{1}{\varepsilon} \neq 0$ da $0 < \varphi < \pi$ bo‘ladi va $\varepsilon\varphi = -tg\varphi$ dan $y_1 = \varepsilon\varphi$, $y_2 = -tg\varphi$ funksiyalar hosil bo‘ladi (1-rasm).



1-rasm. (5) tenglama uchun Xeys kriteriyasi 3-shartining bajarilishi

Xeys kriteriyasining uchinchi shartidan yana ikkita qo‘shimcha shartga ega bo‘lamiz:

3.1-shart. Agar $\varepsilon \to \infty$ va $\varphi \to \frac{\pi}{2}$ bo‘lsa, Xeys kriteriyasining uchinchi qo‘shimcha birinchi sharti quyidagi

$$\left(\frac{r(c+e)\eta^r}{b+(c+e)\eta^r} - p\right)\frac{1}{\varepsilon} < \frac{\pi}{2},$$

ko‘rinishga ega bo‘ladi va bundan $\frac{\pi}{2} > 0$.

3.2-shart. Agar $\varepsilon \to \infty$ va $\varphi \to \pi$ bo‘lganda esa, Xeys kriteriyasining uchinchi qo‘shimcha ikkinchi sharti quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:

$$\left(\frac{r(c+e)\eta^r}{b+(c+e)\eta^r} - p\right)\frac{1}{\varepsilon} < \frac{1}{\varepsilon},$$

bundan,

$$\left(\frac{r(c+e)\eta^r}{b+(c+e)\eta^r} - p\right) < 1,$$

$$\eta < \sqrt[r]{\frac{b+pb}{(r-p-1)(c+e)}}.$$

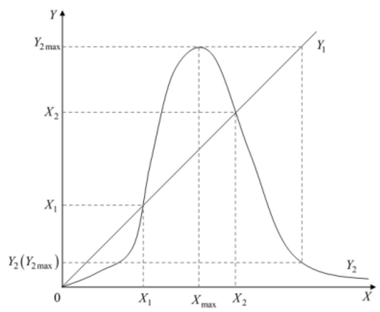
Shundan, Xeys kriteriyasining uchta sharti asosida quyidagi shartlar hosil bo‘ladi:

$$\begin{aligned} &1.\ \frac{1}{\varepsilon} > -1,\\ &2.\ \eta > \sqrt[r]{\frac{pb-b}{(c+e)(r-p+1)}},\\ &3.\ \eta < \sqrt[r]{\frac{b+pb}{(r-p-1)(c+e)}}. \end{aligned} \tag{6}$$

Agar η muvozanat nuqtada (5) xarakteristik tenglamaning yechimlari (6) tengsizlik shartlarini qanoatlantirsa, Xeys kriteriyasi shartlari asosida (2) tenglama muvozanat nuqtasi turg‘un, aks holda noturg‘un hisoblanadi.

(2) tenglamaning muvozanat nuqtalari turg‘unligi buzilsa, u holda dinamik xaos rejimi va «qora o‘rama» effekti kuzatilishi mumkin. Tirik tizimlar regulyatorikasining «qora o‘rama» rejimi juda xavfli bo‘lganligi uchun tizimning ushbu rejmga o‘tish holatlarini aniqlash muhim hisoblanadi. «qora o‘rama» rejimida tizim faoliyati to‘xtaganligi sababli ushbu rejmga o‘tish shartlarini tekshirish zarur.

Markaziy nerv tizimi birlamchi o‘simtalarining paydo bo‘lishi va rivojlanishi regulyatorikasining «qora o‘rama» rejimiga o‘tish shartini quyidagi grafikdan foydalanib tekshiramiz (2-rasm):



2-rasm. (2) tenglamaning «qora o‘rama» rejimi mavjudlik sharti

2–rasmdagi grafikdan ko‘rinib turibdiki «qora o‘rama» rejimiga o‘tish uchun quyidagi shart bajarilishi zarur:

$$Y_2(Y_{2\max}) < X_1. \quad (7)$$

Yuqoridagi shartdagi $Y_2(Y_{2\max})$ ni aniqlash uchun (2) tenglamaning muvozanat holatini qaraymiz:

$$X = \frac{\mu X^p}{b+(c+e)X^r}. \quad (8)$$

(8) tenglamani

$$Y_1 = X,$$

$$Y_2 = \frac{\mu X^p}{b+(c+e)X^r}.$$

ko‘rinishdagi tenglamalarga ajratgan holda yozamiz va Y_2 tenglamaning $X_{\max}$ nuqtasini topamiz. Buning uchun Y_2 tenglamadan hosila olamiz:

$$Y_2' = \frac{\mu X^{p-1}(pb+(p-r)(c+e)X^r)}{\left(b+(c+e)X^r\right)^2}.$$

$Y_2' = 0$ deb belgilash kiritib, $\mu X^{p-1}\left(pb+(p-r)(c+e)X^r\right) = 0$ tenglikdan $X_{\max} = \sqrt[r]{\frac{pb}{(r-p)(c+e)}}$ ni topamiz.

$Y_{2\max} = Y_2(X_{\max})$ va $Y_2(Y_{2\max})$ larni aniqlash uchun topilgan $X_{\max}$ ni (2) tenglamaga qo‘yamiz:

$$Y_{2\max} = Y_2(X_{\max}) = \frac{\mu\left(\sqrt[r]{\frac{pb}{(r-p)(c+e)}}\right)^p}{b+(c+e)\left(\sqrt[r]{\frac{pb}{(r-p)(c+e)}}\right)^r},$$

hamda ifodani soddalashtiramiz:

$$Y_{2\max} = Y_2(X_{\max}) = \frac{\mu(r-p)\left(\sqrt[r]{\frac{pb}{(r-p)(c+e)}}\right)^p}{b(2r-p)}.$$

Hosil bo‘lgan $Y_{2\max}$ ifodaning qiymatini Y_2 tenglamaga olib borib qo‘yamiz:

$$Y_2(Y_{2\max}) = \frac{\mu\left(\frac{\mu(r-p)\left(\sqrt[r]{\frac{pb}{(r-p)(c+e)}}\right)^p}{b(2r-p)}\right)^p}{b+(c+e)\left(\frac{\mu(r-p)\left(\sqrt[r]{\frac{pb}{(r-p)(c+e)}}\right)^p}{b(2r-p)}\right)^r}.$$

Ifodani soddalashtirish uchun quyidagicha belgilash kiritamiz:

$$\beta = (c+e);\ \alpha = \frac{p}{r};\ \delta = \frac{\partial(r-p)}{b(2r-p)};$$

$$f = \left(\frac{pb}{(r-p)\beta}\right)^{\alpha};\ Y_2(Y_{2\max}) = \frac{\mu(\delta f)^p}{b+\beta(\delta f)^r}.$$

$Y_2(Y_{2\max})$ ni (6) shartga qo‘ysak, «qora o‘rama» rejimining mavjudlik sharti quyidagicha bo‘ladi:

$$\frac{\mu(\delta f)^p}{b+\beta(\delta f)^r} < X_1. \quad (9)$$

(9) shart (2) tenglamaning «qora o‘rama» rejimining mavjudlik sharti bo‘lib, ushbu shart bajarilsa markaziy nerv tizimi faoliyati birdan to‘xtab qolishiga sabab bo‘ladi.

III. XULOSA

Markaziy nerv tizimi birlamchi o‘simtalarining paydo bo‘lishi va rivojlanishi regulyatorikasi matematik modeli ishlab chiqildi va ushbu model tenglamalarining xarakteristik yechimlari xususiyatlari tadqiq qilindi. Tenglama muvozanat nuqtalari topilib, ularning yechimlari Xeys kriteriyasi shartlari bo‘yicha turg‘unlikka tekshirildi. Markaziy nerv tizimi birlamchi o‘simtalarining paydo bo‘lishi va rivojlanishi regulyator mexanizmlari tenglama yechimlarini «qora o‘rama» sohasiga o‘tish sharti keltirib chiqarildi. Bu orqali markaziy nerv tizimining to‘satdan to‘xtab qolish holatini oldindan bashoratlash imkoni paydo bo‘ldi.

ADABIYOTLAR

[1] *Хидиров Б.Н., Хидирова М.Б., Шакаров А.Р.* Качественный и количественный анализ функционально-дифференциальных уравнений гудвинского типа. // Проблемы вычислительной и прикладной математики. - Ташкент, 2012. - №128. - с. 5-13.

[2] *Сайдалиева М., Хидирова М.Б.* О решениях одной системы нелинейных функционально - дифференциальных уравнений. // Республиканской научной конференции с участием зарубежных учёных «Современные методы математической физики и их приложения». Ташкент, 2015. -Том II. -с. 174-176.

[3] *Хидирова М. Б., Исроилов Ш.Ю.* Математическое моделирование регу-

ляторных механизмов размножения глиальных клеток при онкопатологиях // Проблемы вычислительной и прикладной математики. - 2020. - № 5(20). - С. 171–180.

[4] *Хейл Дж.* Теория функционально-дифференциальных уравнений. // М.: Мир, 1984. - 421с.

[5] *Воропаева О.Ф., Шокин Ю.И.* Численное моделирование в медицине: Некоторые постановки задач и результаты расчетов. // Вычисл. технологии, 2012. - Т. 17, № 4. - с. 29

[6] *Irisqulov S.S., Ismanova K.D., Olimov M., Imomov A.* Sonli usullar va algoritmlar // – N.: "Namangan" nashriyoti, 2013, 244 b.

[7] *Холл Дж. и Уатт Дж.* Современные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. // Издательство Мир. - Москва, 1979. - 312 с.

[8] *Исроилов, Ш., & Умаров, Э.* (2023). Markaziy asab tizimining ishlashida patologiyalar paydo bo'lishi va rivojlanishini regulyator mexanizmlarini matematik modellashtirish. Международный Журнал Теоретических и Прикладных Вопросов Цифровых Технологий, 3(1), 61–69.

[9] *M.Saidalieva, M.Hidirova, Sh.Isroilov, U.Alimov.* Mathematical modeling of regulatory mechanisms of neuronal functioning and stem cell neurogenesis // Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Intelligent Decision Making Systems" (ITIDMS-II-2021), Russian Federation, Moscow, July 1, 2021. P 60-72.

[10] *Hidirova M. B.* and *Isroilov S. Y.* Mathematical Modeling of Regulatory Mechanisms for the Propagation of Excitation in the Central Nervous System // 2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). – 2020 P. 1-4, doi: 10.1109/ICISCT50599.2020.9351504

[11] *Хидирова М.Б., Исроилов Ш.Ю.* Математическое моделирование регуляторики глиомы // Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари илмий амалий ва ахборот-таҳлилий журнал, 1(15)/2021.- 47-52 б.

[12] *Mohiniso H., Isroilov Sh.* Mathematical Modeling of Glioma Development Considering Regulatory MicroRNAs // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 8, Issue 2. - 2021, P. 16642- 16649.

[13] *Saidalieva, M., Hidirova, M., Isroilov, S.* Mathematical Modeling of Regulatory Mechanisms of Interrelated Functioning Between a Human Brain and Various Organs // AIP Conference Proceedings, 2024, 3147(1), 030013

[14] *Азбелев Н. В., Максимов В. П., Рахматуллина Л.Ф.* Элементы современной теории функционально-дифференциальных уравнений. Методы и приложения. — Москва: Институт компьютер- компьютерных исследований, 2002, 384 стр.

[15] *Хидирова М. Б.* Математические модели возбудимых сред. // Т.: «Фан ва технология», 2015. - 180 с.

[16] *Арчибасов А.А.* Редукция модели эволюции РНК-вируса. // Вест. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ-мат. науки, 2009. - №2(19) - с. 99-106.

[17] *Хидиров Б.Н., Шакаров А.Р.* О характерных решениях функционально-дифференциальных уравнений Гудвиновского типа. // Амалий математика ва информацион технологияларнинг долзарб муаммолари. - «Ал-Хоразмий 2012» халқаро конференция. - Ташкент, 2012. - с. 41.

[18] *Yusupova Z.Dj.* Qualitative analysis of the mathematical model of cardiac regulatorika. // Abstracts of the Uzbek-Israil International Scientific Conference. Contemporary problems in mathematics and physics. -Tashkent, 2017. - pp.123-126.

[19] *Беллман Р., Кук К.* Дифференциально-разностные уравнения. // М.: Мир, 1967. - 548 с.

Поступила в редакцию 10.04.2024

Citation: *Isroilov Sh.Y., Allayorov F.F.* (2024). Markaziy nerv tizimi birlamchi o'simtalarining paydo bo'lishi va rivojlanishi regulyatorikasi tenglamalari yechimlarining turg'unligi. Raqamli texnologiyalarning nazariy va amaliy masalalari xalqaro jurnali. 7(2). – B. 77-83. https://doi.org/10.62132/ijdt.v7i2.186

STABILITY OF SOLUTIONS OF REGULATORY EQUATIONS OF THE ORIGIN AND DEVELOPMENT OF PRIMARY TUMORS OF THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM

Israilov Sh.Yu.[1], *Allayorov F.F.*[1]
[1] Samarkand branch of Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Samarkand, Uzbekistan
i.shuha84@gmail.com

Abstract. *In this article, a mathematical model has been developed to study the regulatory mechanisms of the emergence and development of primary tumors of the central nervous system using nonlinear delayed-type functional differential equations based on the regulatory method. Solutions to the equations of this mathematical model are qualitatively analyzed, their equilibrium points are checked, and based on the conditions of the Hayes criterion, it is checked whether the equation is stable or unstable at the equilibrium point.*

Keywords: *mathematical modeling, regulation, functional differential equations, living systems, Hayes criterion, equilibrium point.*

УСТОЙЧИВОСТЬ РЕШЕНИЙ РЕГУЛЯТОРНЫХ УРАВНЕНИЙ ПРОИСХОЖДЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ПЕРВИЧНЫХ ОПУХОЛЕЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Исраилов Ш.Ю.[1], *Аллаёров Ф.Ф.*[1]
[1] Самаркандский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хорезми, Самарканд, Узбекистан
i.shuha84@gmail.com

Аннотация. *В данной статье разработана математическая модель для исследования регуляторных механизмов возникновения и развития первичных опухолей центральной нервной системы с использованием нелинейных функционально-дифференциальных уравнений замедленного типа на основе регуляторного метода. Решения уравнений данной математической модели качественно анализируются, проверяются ее точки равновесия, а также на основе условий критерия Хейса проверяется является ли уравнение устойчивым или неустойчивым в точке равновесия.*

Ключевые слова: *математическое моделирование, регуляторика, функционально-дифференциальные уравнения, живые системы, критерий Хейса, точка равновесия*.