

Медетов Б.Ж., Албанбай Н., Ниязалиев Қ.А., Ысқақ А.С. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қаласы, Қазақстан

ФИТЦХЬЮ-НАГУМО НЕЙРОНДАРЫНАН ҚІРАЛҒАН КЛАСТЕРДІҢ ШУЫЛ ӘСЕРІНЕН «ТЫНЫШТЫҚ» КҮЙДЕН «BURSTING» РЕЖИМІНЕ КӨШУІН ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫҚ ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Осы жұмыста ФитцХью-Нагумо моделінен құралған кластер динамикасының «тыныштық» күйден «bursting» режиміне өту процесі нақты физикалық экспериментте көрсетілген.

Кілт сөз: шуыл, автотербелмелі жүйе, нейрон, динамикалық жүйе, аттрактор, бифуркация, кластер, ФитцХью-Нагумо модель.

Кіріспе

Автотербелмелі жүйелерден құралған кластерлердің динамикасын теориялық зерттеу барысында, бейсызық құбылыстардың орын алатындығы анықталған болатын [1]. Аталған бейсызық құбылыстарды сандық және нақты физикалық экспериментте зерттеу үшін, зерттеу объектісі ретінде нейронның математикалық моделі пайдаланылған болатын. Ғылымда белгілі, әрбір нейрон электроникада жеке автотербелмелі жүйе ретінде қарастырылады және осы автотербелмелі жүйе динамикасын сипаттайтын көптеген математикалық модельдер ұсынылған. Олардың ішінде ең қарапайым, әрі кең таралған модель - ФитцХью-Нагумо моделі. Жұмыста қоздырушы типті нейрон мен тежеуші типті нейронның өзара сызықты байланысы арқылы жасалған кластер қарастырылды. Осыған сәйкес кластердің динамикасын тәмендегідей дифференциалдық теңдеулер жүйесімен сипаттауға болады:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_1 - x_1^3 / 3 - y_1 + \gamma_1 x_2 \\ \frac{dy_1}{dt} &= \varepsilon_1 (x_1 + a_1) \\ \frac{dx_2}{dt} &= x_2 + x_2^3 / 3 - y_2 + \gamma_2 x_1 \\ \frac{dy_2}{dt} &= \varepsilon_2 (x_2 + a_2) \end{aligned} \quad (1),$$

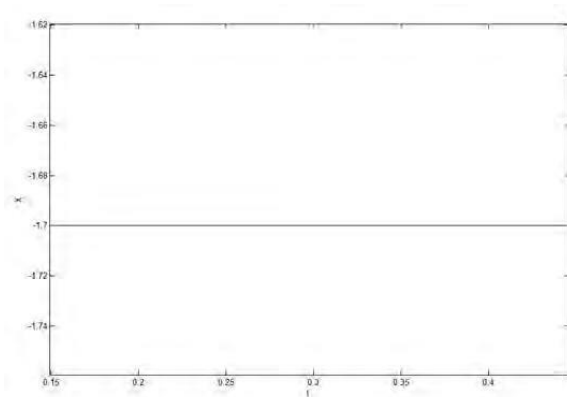
Мұндағы $x_{1,2}$ - мембрананың потенциалы, $y_{1,2}$ - иондар концентрациясы, және нейрондар арасындағы байланыс күшін білдіреді, ал басқа параметрлер эмпирикалық түрде анықталады. Теңдеудегі бірінші нейрон екіншіге қоздырушы, ал екіншісі біріншіге қарағанда тежеуші ролін атқарады. Физикалық мағанасы бойынша $0 < \varepsilon_{1,2} \ll 1$, ал осы жүйенің аналитикалық шешімін табуды жеңілдетіу үшін $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$ деп аламыз.

Дифференциалдық теңдеулер жүйесіне сандық анализ жасау барысында, қарастырылған кластерде, параметрлердің бірдей мәнінде, бастапқы шартқа байланысты екі аттрактор бар екені анықталды («баяу» режим және «жылдам» режим) [2]. Кластердің бірдей параметрлерге сәйкес екі түрлі аттракторы болатындығы экспериментте аналогты электроника кәмегімен тексерілді. Сонымен қатар, экспериментте, теорияда айтылмаған тағы да бір «bursting» деп аталатын аттрактор бар екендігі анықталды [3]. Аталған аттрактордың пайда болу шартына, дифференциалдық теңдеулер жүйесін шешу барысында интегралдау дәлдігінің шамасын өзгерту арқылы бастапқы шарттан ауытқу.

Бұл жұмыста қарастырылып отырған кластердің шуыл әсерінен «тыныштық» күйден «bursting» режиміне өту процесі эксперимент арқылы зерттелінді.

Эксперимент.

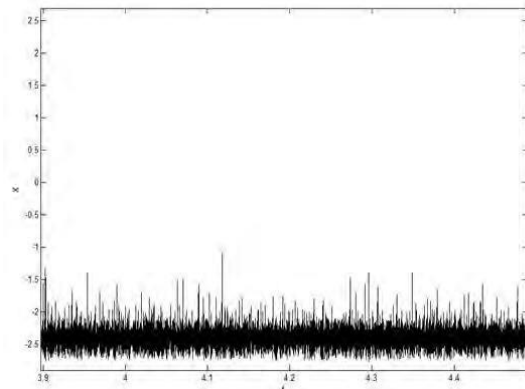
Осы уақытқа дейінгі зерттеулерде (1) теңдеу орнықтылығының шекаралық шартында, кластерде қандай бифуркациялық құбылыстардың орындалатындығы зерттелмеді. Осыған орай аталған шекаралық шарты бойынша, кластердің динамикасын сипаттайтын дифференциалдық теңдеулер жүйесіне сандық анализ жасалынды. Теңдіктегі a_1 бастапқы шарт мәнінің $1V - 3V$ интервалында зерттеу барысында, a_1 - дің $1.7V$ мәнінде жүйенің орнықты күйі табылды (1 суретте кәрсетілген). Аталған орнықты күйдің ерекшелігі: жүйе сигнал шығармайды, тұрақты бір мәнді кәрсетеді. Демек, зерттеліп отырған жүйеде «жылдам», «баяу», «bursting» режимдерінен басқа тәртінші аттрактор («тыныштық» режим) анықталды.



1 - сурет. «Тыныштық» режим (сандық талдау).

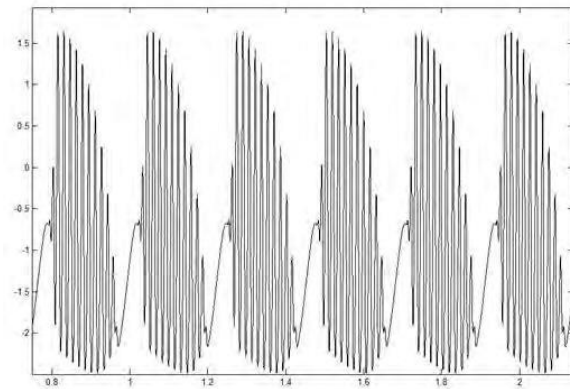
Аталған құбылыстың нақты физикалық жүйелерде орындалатындығын тексеру үшін, сандық анализ жүргізу кезеңіндегі дифференциалдық теңдеу параметірлерін пайдалана отырып, нақты физикалық эксперимент жүргізілді. Физикалық эксперимент нәтижесі сандық анализ нәтижелерімен сәйкес келеді (2 - суретте кәрсетілген). Жұмыс жасалып отырған аналогты жүйедегі ішкі шуыл мен сыртқы шуылдың әсерінен шығыс сигналда ауытқулар байқалады, алайда шуылдың амплитудасы біз қарастырып отырған жүйедегі пайдалы сигналдарымен салыстырғанда өте аз болғандықтан ауытқуларды ескермеуге болады. Демек,

«тыныштық» режим нақты физикалық жүйелерде орындалады.



2 - сурет. «Тыныштық» режимі (аналогты жүйеде).

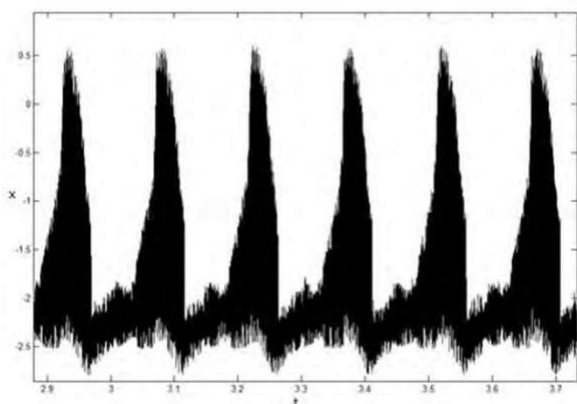
Сандық анализ жасау кезінде, дифференциалдық теңдеулер жүйесінің «тыныштық» режиміне сәйкес келетін бастапқы шарттың $a_1=1.7V$, интегралдау дәлдігінің шамасын үлкейтуге байланысты, өз мәнінен аздап ауытқығанда жүйе динамикасында өте қызықты құбылыс орын алды. Жүйе динамикасы аталған аттрактордан бірден «bursting» режиміне ауысады (3 - суретте кәрсетілген).



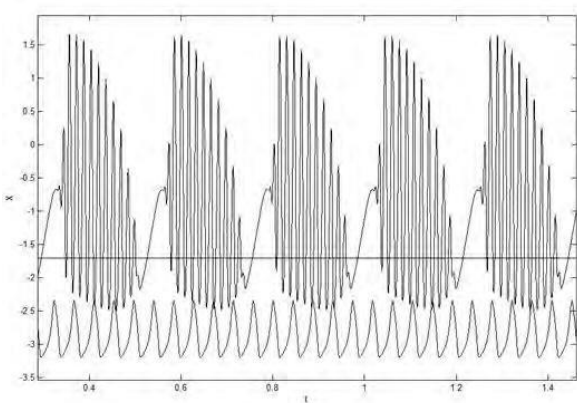
3 - сурет. «bursting» режимі (сандық анализде).

Аталған бифуркациялық құбылыстың нақты физикалық жүйелерде орындалатындығын тексеру мақсатында, дифференциалдық теңдеулер жүйесінің «тыныштық» режиміне сәйкес бастапқы шарттың $a_1=1.7V$ мәнінен аздап ауытқығанда, жүйе динамикасы «тыныштық» режимнен «bursting» режиміне

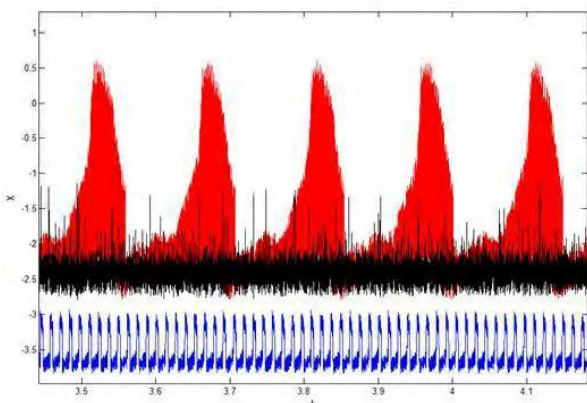
ауысты (3 - суретте кӛрсетілген). Алайда, нақты физикалық жүйеде интегралдау дәлдігі шамасы белгісіз, бірақ жүйе ішкі шуылдардың әсерінен бастапқы мәнінен ауытқып, «bursting» режиміне ауысады.



4 - сурет. «bursting» режимі (нақты физикалық экспериментте).



5 - сурет. Сандық анализ арқылы анықталған жүйенің үш режимі



6 - сурет. Физикалық эксперимент арқылы анықталған жүйенің үш режимі

Қорытынды

Нақты физикалық жүйеде, нейрон динамикасын сипаттайтын, ФитцХью-Нагумо модель теңдеуінен тұратын автотербелмелі жүйе кластерінде жаңа аттрактор анықталды («тыныштық» күй). Жүйе бұл аттракторда сигнал шығармайды, нейрон динамикасындағы бейтарап күйді толығымен сипаттайды. Аталған орнықтылық күйден аздап қашықтағанда жүйе тікелей келесі аттракторға, «bursting» режиміне кӛшетіндігі анықталды.

Қолданылған әдебиеттер:

1. З.Ж.Жанабаев, М.Закс, Б.Ж.Медетов. генерация сигналов кластером связанных двух автоколебательных систем на границе потери устойчивости равновесия –Алматы: Журнал проблем эволюции открытых систем, 2012 г. Том 1, Вып. 14.
2. Медетов Б.Ж., Наурызбаева А.Ж., Ысқақ А.Е. автотербелмелі жүйелер кластерінде қос жиіліктік сигналдардың пайда болуы режимдерін сандық зерттеу – Алматы: Известия НАН РК, серия физическая, 2013г.
3. Медетов Б.Ж., Наурызбаева А.Ж., Есерханұлы Е. Қосжиілікті Хопф бифуркациясын схемотехникалық үлгілеу – Алматы: Известия НАН РК, серия физическая, 2013г.

Медетов Б.Ж., Албанбай Н., Ниязалиев Қ.А., Ысқақ А.С. *әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы қаласы, Қазақстан*

**ФИТЦХЬЮ-НАГУМО НЕЙРОНДАРЫНАН ҚҰРАЛҒАН КЛАСТЕРДІҢ ШУЫЛ
ӘСЕРІНЕН «ТЫНЫШТЫҚ» КҮЙДЕН «BURSTING» РЕЖИМІНЕ КӨШУІН
ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫҚ ЗЕРТТЕУ**

Осы жұмыста ФитцХью-Нагумо моделінен құралған кластер динамикасының «тыныштық» күйден «bursting» режиміне өту процесі нақты физикалық экспериментте көрсетілген.

B.Zh.Medetov., N.Albanbay., K.A.Niyazalyev., A.E.Yskak
al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

**EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE TRANSITION FROM THE «REST» MODE TO
THE «BURSTING» BY EFFECT OF NOISE IN THE CLUSTER BASED ON THE
FITZHUGH-NAGUMO NEURAL MODEL**

In this work described experimental research of the transition from the «rest» mode to the «bursting» by effect of noise in the cluster based on the fitzhugh-nagumo neuron model.