

УДК 538.573.61

Ю.М. Федюшко¹, Л.Н. Михайлова²¹ Таврический государственный агротехнологический университет, Мелитополь² Подольский государственный аграрно-технический университет, Каменец-Подольский

О НОВЫХ КОЛЛЕКТИВНЫХ МОДЕЛЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КЛЕТКИ

В работе показано, что модели функционирования отдельной клетки (в том числе и учитывающие эффекты нелокальности) под воздействием монохроматических и импульсных полей, представленные уравнениями со случайными силами и в форме отображений, учитывающих нелокальность, в состоянии учесть возникновение новых квазистационарных состояний под воздействием внешнего электромагнитного поля в зависимости от его характеристик и анализировать изменение структуры фазового пространства множества клеток в зависимости от параметров излучения.

Ключевые слова: модель функционирования клетки, параметры излучения.

Введение

Как давно известно, клетки являются основой жизнедеятельности любых живых организмов, как растений, так и животных, поэтому знание закономерностей функционирования клеток – важнейшая задача биологии, и для ее решения всегда использовался самый современный аппарат физики и математики в форме моделей клетки.

В настоящее время при исследовании сложных процессов в колебательных системах наиболее часто используется формализм на основе нелинейных дифференциальных уравнений или отображений, однако, в последнее время появились современные модели, использующие квантовый, дробный анализ или системы итерируемых функций для описания таких свойств функционирования клеток, как нелокальность, память и влияние среды [1].

В статье обращается внимание на то, что эти модели позволяют одновременно учитывать коллективные свойства системы клеток и проясняют механизмы изменения состояния клеток под воздействием электромагнитных полей.

Эволюция клетки во внешних электромагнитных полях

Для моделирования клеточных мембран используются различные модели, которые являются упрощенными вариантами уравнений Ходжкина - Хаксли с учетом большого различия в скоростях ионов различного типа.

В общем случае уравнение для потенциала клетки представляет собой уравнение нелинейного осциллятора с внешней силой и эффективным потенциалом [2]:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{1}{m} p; \quad \frac{dp}{dt} = -\frac{dV}{dr} + x(t), \quad (1)$$

где $x(t)$ – внешний сигнал. В качестве внешнего

сигнала $x(t)$ рассмотрим совокупность монохроматического и последовательности импульсных сигналов:

$$x_i(t) = x_{0i} \cos\left(\frac{2\pi t}{\tau_i}\right) + A_i \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - n\tau). \quad (2)$$

Исследование динамики мембранных процессов сводится к исследованию особенностей эволюции эффективной колебательной системы под воздействием внешних сил различного типа. В частности, влияние окружающей среды можно учитывать действием шума малой интенсивности.

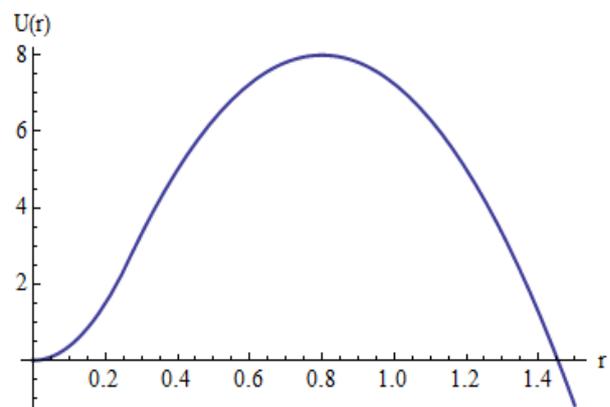


Рис. 1. Эффективный потенциал в зависимости от координаты реакции

Рассмотрим динамику эффективной колебательной системы под действием последовательности слабых ударов.

Поглощение энергии внешнего поля определяется зависимостью от частоты вещественной части тензора проводимости в форме линии Лоренца с добротностью $\Omega_m \tau_{\text{eff}}$ и эффективным временем диссипации τ_{eff} :

$$\text{Re}(\sigma) = \sigma_0 \frac{1/\tau_{\text{eff}}}{(\omega \pm \Omega_m(H))^2 + (1/\tau_{\text{eff}})^2},$$

$$\sigma_0 \approx \frac{ne^2}{m_p} \tau_{\text{eff}}, \Omega_m. \quad (3)$$

Внешнее электромагнитное поле с резонансными частотами Ω_m эффективно поглощается и обеспечивает появление источника энергии $P_\Omega(t)$, который возбуждает:

$$\ddot{\alpha}_\lambda + \omega_\lambda^2 \alpha_\lambda = P_\Omega(t). \quad (4)$$

$$P_\Omega(t) = \sum_m \sigma_0 \int \frac{1/\tau_{\text{eff}}}{(\omega \pm \Omega_m)^2 + (1/\tau_{\text{eff}})^2} |E(\omega)|^2 d\omega \approx \sum_m \sigma_0 \tau_{\text{eff}} |E(\Omega_m)|^2.$$

Влияние окружающей среды на крупномасштабную динамику можно учитывать действием слабого шумового возбуждения клетки, представляющего тепловой резервуар. Тепловой резервуар (среду) можно рассматривать в простейшей модели как совокупность большого числа невзаимодействующих гармонических осцилляторов с координатами q_i , массами m_i , частотами ω_i :

$$L_{\text{hb}}(q_i, \dot{q}_i) = \sum_i \frac{m_i}{2} (\dot{q}_i^2 - \omega_i^2 q_i^2), \quad (5)$$

а взаимодействие между клеткой и тепловым резервуаром – линейным по осцилляторным координатам. В результате полная функция Лагранжа имеет вид:

$$L(r, \dot{r}; q_i, \dot{q}_i) = L_0(r, \dot{r}) + L_{\text{hb}}(q_i, \dot{q}_i) + \sum_i f_i(r) q_i. \quad (6)$$

Функции $f_i(\varepsilon)$ отражают связь тепловых хаотических колебаний с клеткой, а соответствующие уравнения Эйлера-Лагранжа:

$$A m_p \ddot{r} = -\frac{dU(r)}{dr} + \sum_i q_i \frac{df_i(r)}{dr}. \quad (7)$$

Исключим из этих уравнений координаты теплового резервуара q_i , которые можно записать через решения свободного уравнения в виде интеграла от возбуждающей силы:

$$q_i(t) = q_i^0(t) + \int_0^t ds \frac{1}{B_{\lambda\mu}} \frac{f_i(r(s))}{\omega_i} \sin \omega_i(t-s). \quad (8)$$

В результате получим уравнение типа Ланжевена

$$A m_p \ddot{r} = F_{\text{eff}}(r) + F_{\text{frict}}(r, \dot{r}) + F_L(r, t). \quad (9)$$

Крупномасштабная сила $F_{\text{eff}}(r)$, входящая в это уравнение, выражается следующим образом:

$$F_{\text{eff}}(r) = -\frac{dU_{\text{eff}}(r)}{dr};$$

$$U_{\text{eff}}(r) = U(r) - \sum_i \frac{1}{2B_{\lambda\mu}\omega_i^2} (f_i(r))^2. \quad (10)$$

С учетом основных мод в коэффициентах:

$$U_{\text{eff}}(r) = U(r) - \alpha r^2(r) \quad (11)$$

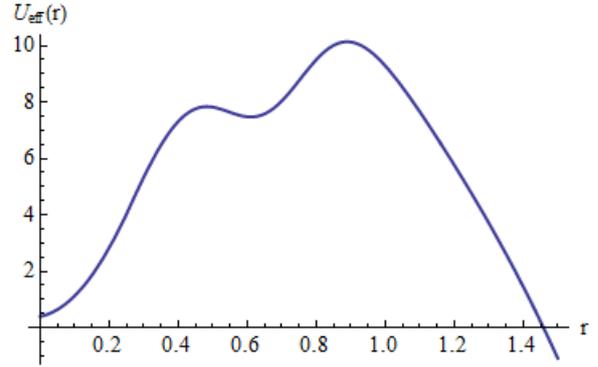


Рис. 2. Эффективный потенциал $U_{\text{eff}}(r)$ с вкладом усреднения высокочастотных сил

После усреднения сила трения является локальной функцией координат:

$$F_{\text{frict}} = -\gamma(r)\dot{r}; \quad \gamma(r) = \gamma_0 \left(\frac{df(r)}{dr} \right)^2. \quad (12)$$

Случайную силу Ланжевена, связанную с усредненными колебаниями термостата, как обычно, можно записать в виде:

$$F_L(r, t) = \sqrt{D(r)}\Gamma(t); \quad \langle \varepsilon_{i0} \rangle = \frac{1}{2} k_B T;$$

$$D(r) = \gamma(r) k_B T = \left(\frac{df(r)}{dr} \right)^2 \gamma_0 k_B T. \quad (13)$$

Здесь $\langle \varepsilon_{i0} \rangle = \frac{1}{2} k_B T$ – средняя энергия осцилляторов из термостата.

Электромагнитные поля, действующие на макроскопическом уровне при должном выборе их параметров, могут деформировать потенциал клетки и образовать квазиустойчивое состояние находящихся на некотором квазистационарном удалении одна от другой (см. рис. 3.)

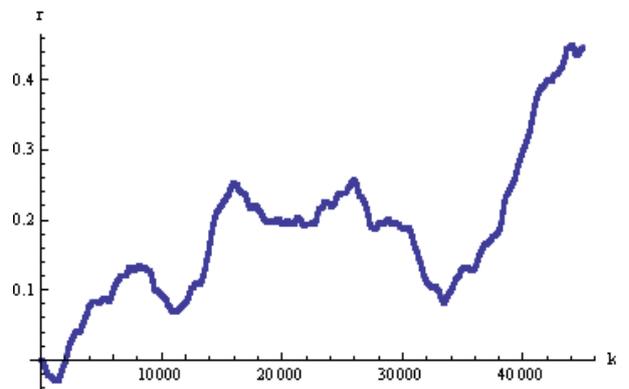


Рис. 3. Начальная часть эволюции смещения по координате в зависимости от номера удара по ядру

Еволюція клетки по этой координате представляет собой эволюцию типичного нелинейного осциллятора под действием внешних полей.

Заключение

Поскольку описанная динамика является случаем общего положения, то актуальной задачей является построение математического аппарата для аналитического описания динамики потенциалов клеток не только для регулярных режимов, но и для хаотических режимов.

По самому определению хаотического режима – т.е. режима с неустойчивостью относительно флуктуации начальных условий, он относится к классу некорректных задач и актуальной проблемой является построение эффективных методов решения этих некорректных задач, возникающих при анализе динамики потенциалов клетки и концентраций ионов.

В работах [3 – 4] предложено в качестве оператора регуляризации использовать дробные интегро-дифференциальные операторы, которые адекватно описывают свойства нелокальности при взаимодействии клеток. Использование дробных интегралов и производных Летникова:

$$D^{\alpha}f(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x) + \sum_{k=1}^{k=\infty} (-1)^k \binom{\alpha}{k} f(x - kh)}{h^{\alpha}}$$

в уравнениях движения (9) приводит их к системе итераций и позволяет для описания динамики клетки получить систему итерированных функций, в рамках которых можно учесть и коллективные свойства, и полученные выше зависимости новых состояний клетки от параметров сигнала.

На рис. 3 показана типичная эволюция траектории по координате в зависимости от номера электромагнитного толчка.

Эволюция показывает приближение клетки к новому квазистационарному состоянию, соответствующему перенормированному потенциалу с рис. 3.

Такое обобщение, которое будет подробно представлено позже, должно существенно продвинуть решение проблемы оптимизации внешнего воздействия при электромагнитной терапии.

Список литературы

1. Черепнев И.А. Неравновесная термодинамика состояния биологических мембран / И.А. Черепнев, В.Е. Новиков // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ навігації і управління», 2010. – Вип. 4(16). – С. 197-206.
2. Черепнев И.А. Эффективность низкоэнергетического воздействия электромагнитных полей на клеточные мембраны и системы итерируемых функций / И.А. Черепнев // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. «Механізація с.г. виробництва та переробки сільськогосподарської продукції». – X., 2012. – Вип. 124, Т.2. – С. 423-429.
3. Novikov V.E. Self-organization and nonequilibrium structures in the phase space / V.E. Novikov, S.V. Adamenko, N.N. Bogolubov // International Journal of Modern Physics B, Vol. 22, No. 13 (2008). – P. 2025-2045.
4. Novikov V.E. Quantum analysis of oscillatory processes in fractal media / V.E. Novikov // International Journal of Modern Physics B, Vol. 22, No. 22 (2008). – P. 3923-3929.

Поступила в редколлегию 24.08.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Д. Черенков, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, Харьков.

ПРО НОВІ КОЛЕКТИВНІ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ КЛІТКИ

Ю.М. Федюшко, Л.М. Михайлова

У роботі показано, що моделі функціонування окремої клітки (у тому числі й такі, що враховують ефекти нелокальності) під впливом монохроматичних і імпульсних полів, представлені рівняннями з випадковими силами і у формі відображень, що враховують нелокальність, в змозі врахувати виникнення нових квазістаціонарних станів під впливом зовнішнього електромагнітного поля залежно від його характеристик і аналізувати зміну структури фазового простору безлічі кліток залежно від параметрів випромінювання.

Ключові слова: модель функціонування клітки, параметри випромінювання.

ABOUT NEW COLLECTIVE MODELS OF FUNCTIONING OF CAGE

Yu.M. Fedyushko, L.N. Mikhaylova

The paper shows that the model for a single cell (including taking into account the effects of non-locality) under the influence of monochromatic and pulsed fields presented equations with random forces in the form of maps that take into account the non-locality in a position to take into account the emergence of new quasi-stationary states under the influence of an external electromagnetic field depending on its characteristics and analyze the changes in the structure of the phase space of the set of cells, depending on the parameters of the radiation.

Keywords: model of functioning of cage, parameters of radiation.