

ДИССИПАТИВНЫЕ СОЛИТОНЫ В НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ
С ЛОКАЛЬНЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ

А.Н. Бугай

Объединенный институт ядерных исследований
bugay_aleksandr@mail.ru

Диссипативные солитоны или автосолитоны возникают во множестве областей фундаментальной науки, рассматривающих открытые нелинейные системы. В последнее время значительно усилился интерес к изучению таких систем в оптике, химии и биологии [1]. Не в последнюю очередь это связано с развитием систем анализа и обработки информации.

Распределенные нейронные сети в нервной системе животных и человека допускают существование множества диссипативных волновых структур с пространственно-временной локализацией, таких как волновые фронты, бегущие импульсы, стоячие возбуждения, спиральные волны и т.д. [2,3]. Однако даже простые модели таких систем оказываются сложными для анализа вследствие того, что соответствующие нелинейные уравнения являются интегро-дифференциальными [4]. К настоящему времени достигнут определенный прогресс в нахождении решений и анализе их устойчивости. В то же время влияние внешних факторов и локальных изменений в структуре системы, например, наличие неоднородностей [5], исследовано сравнительно слабо.

В настоящей работе рассматривается влияние локальных неоднородностей типа нарушенных структурных связей на формирование и распространение диссипативных солитонов в таких средах.

Согласно [4] динамику популяции нейронов можно описать системой интегро-дифференциальных уравнений общего вида

$$\frac{\partial u_i(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = -\gamma_i u_i(\mathbf{r}, t) + \sum_j \int_{-\infty}^{\infty} w_{ij}(\mathbf{r}, \mathbf{r}') F_j(u_i(\mathbf{r}', t - |\mathbf{r} - \mathbf{r}'|/v_{ij}) - \theta) d\mathbf{r}', \quad (1)$$

где функции $u_i(\mathbf{r}, t)$ задают активность (потенциал) нейронов i -типа. Для простоты рассматриваются только два типа нейронов – возбуждающих и тормозных. Здесь γ – коэффициент затухания, колоколообразная функция $w_{ij}(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$ определяет силу синаптических связей между нейронами, а функция $F(u - \theta)$ определяет уровень активности нейрона, где θ – порог возбуждения. Учтена также задержка передачи сигнала за счет конечной скорости его распространения v_{ij} .

Конкретный вид функций для уровня возбуждения и синаптических связей определялся исходя из известных данных для биологических моделей ионных каналов, мембраны и синапсов нервных клеток [3].

Распространение импульсов активности исследовалось в неоднородной среде с помощью численного моделирования. Роль неоднородности играли локализованные области с плавно или скачкообразно изменяющимися синаптическими связями и уровнями активности. В качестве таковых могут выступать области химического или радиационного повреждения нервной ткани.

В результате взаимодействия импульса с неоднородностью возможны эффекты задержки, блокирования или разрушения последнего. В случае достаточно протяженной области возможны также эффекты отражения, компрессии и разбиения импульса. В случае, когда повреждаются только один тип нейронов, например, тормозных, возможно локальное усиление или изменение структуры импульса.

Получены условия на характер повреждения нервной ткани, при которых распространение импульса является возможным без изменения его структуры (типа решения) и направления распространения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Akhmediev N., Ankiewicz A. (Eds.), *Dissipative Solitons: From Optics to Biology and Medicine*. Berlin: Springer, 2008.
2. Ermentrout G.B. // *Rep. Prog. Phys.* 1998. V. 61. P. 353.
3. Bressloff P.C. // *J. Phys. A: Math. Theor.* 2012. V. 45. P. 033001.
4. Wilson H.R., Cowan J.D. // *Kybernetik* 1973. V. 13. P. 55.
5. Kilpatrick Z.P., Foliás S.E., Bressloff P.C. // *SIAM J. Appl. Dyn. Syst.* 2008. V. 7. No.1. P. 161.