

Е.А.Листров, Н.А.Рыжкова, Ю.А.Шуринов (Воронеж, ВГАУ). **Об эффекте биений температурных релаксационных колебаний при СВЧ-облучении биоткани.**

В [1] при СВЧ-облучении участка мышцы лапы собаки при фиксированном значении $SAR=79,9 \text{ w/kg}$ обнаружались хаотичные температурные релаксационные колебания с переменной амплитудой. Для объяснения причин возникновения этого явления нами предложена методика обработки экспериментального графика, которая позволила обнаружить в хаотичных на вид температурных колебаниях определенные закономерности. Во-первых, существует особая прямая, проведенная из точки $(0, 40^\circ \text{C})$ под углом 9° к горизонтальной оси времени t лабораторной системы координат $t0T$, в которой T — температура биоткани в градусах Цельсия, а время t — в минутах [1]. Эта наклонная прямая ортогональна прямолинейным участкам экспериментального графика и при этом делит их почти пополам в течение полутора часов. Во-вторых, в системе координат $t'0'T'$ на этой прямой имеет место явление биений релаксационных колебаний с периодом $2,7$ радиана. Хорошо видно, что релаксационные колебания в системе $t0T$ происходят на фоне линейного роста среднего значения температуры T биоткани. В системе $t0T$ температура $T(t)$ периодически монотонно возрастает в течение 35–50 минут, а затем резко по наклонной прямой за 8–10 минут падает на 4–6 градусов. Такое явление на качественном уровне можно объяснить, по-видимому, тем, что в биотепловом уравнении [2] значение производной температуры по времени определяется соотношением эффектов нагрева и охлаждения, которые осциллируют с неодинаковыми частотами, что и приводит к биениям. Колебания становятся релаксационными из-за мощных импульсных приливов и отливов крови в облучаемом участке мышцы [2]. Исходя из этих представлений, нетрудно получить аналитическое описание колебаний $T'(t')$ в виде:

$$T' = 1,8 R \sin(1,11t') \sin(0,23t'), \quad R = \cos(1,11(t' + 0,01)) / |\cos(1,11(t' + 0,01))|. \quad (1)$$

Из рис. видно, что экспериментальный график (пунктирная линия) с достаточной степенью точности описывается зависимостью (1) (сплошная линия), где R — множитель, превращающий обычные гармонические колебания в релаксационные. При определенной фиксированной мощности СВЧ-облучения даже значительные приливы крови во время лечебного сеанса в режиме сильного нагрева [3] не могут предотвратить опасные ожоги биоткани [4].

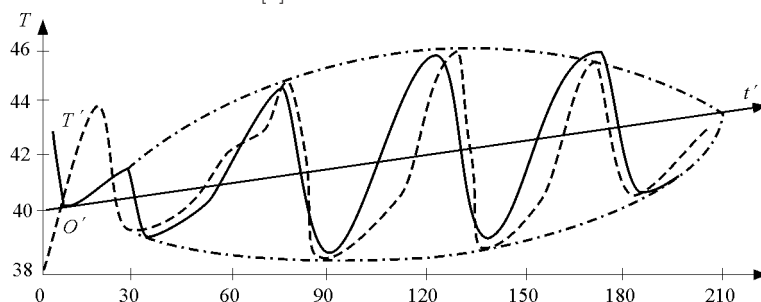


Рис. Штриховая линия — эксперимент, штрих-пунктирная — огибающая экспериментального графика, сплошная — расчетный график по формуле (1)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Roemer R.B., Oleson J.R., Gertas T.S. Oscillatory temperature response to constant power applied to canine muscle. — Am. J. Phys., 1985, v. 249 (18), p. R153–R158.
2. Листров Е. А., Рыжкова Н. А., Шуринов Ю. А. Об использовании биотепловых уравнений для проектирования и анализа экспериментов по локальной гипертермии. — Научный вестник МГТУГА, сер. матем. и физика. 2003, № 64, с. 104–115.

3. *Аверьянова Н. И., Шипулина И. А.* Основы физиотерапии. Ростов-на-Дону: Феникс, 2007, 160 с.
4. *Литвинов В. Г., Пантелеев А. Д., Сигал В. Л., Шульмаи З. П., Шумакова Т. Е.* Постановка проблемы оптимизации и управлении распределением температур в биотканях при локальной гипертермии злокачественных новообразований. — ИФЖ, 1996, т. 69, № 4, с. 641.