

Е. А. Л и с т р о в, Н. А. Р ы ж к о в а, Ю. А. Ш у р и н о в (Воронеж, ВГАУ). **Об использовании аналогии при математическом моделировании гипертермии в биотканях при СВЧ-облучении.**

В [1] описаны эксперименты по СВЧ-облучению с постоянной мощностью небольшого участка биоткани лапы собаки на глубине 1,5 см. Для моделирования протекающего в эксперименте биотеплового процесса в облучаемой биоткани в [1] предложено уравнение Пэна

$$\rho_1 c_1 \frac{dT}{dt} = -\rho_2 W_2 T + \rho_1 SAR, \quad (1)$$

где T — значение средней температуры облучаемого участка, превышающее значение температуры артериальной крови $T_a = \text{const}$, ρ_2, c_2 — плотность и теплоемкость артериальной крови, W_2 — малая постоянная величина эффективной перфузии в течение первых 15 минут после начала облучения, ρ_1, c_1 — плотность и теплоемкость облучаемого участка биоткани, SAR — постоянный тепловой источник облучения в течение первых 15 минут эксперимента. Уравнение, описывающее движение шарика с инертной массой m , который под действием собственного веса P тонет в вязкой жидкости, двигаясь по вертикальной оси x из состояния покоя, испытывая при этом линейное по скорости v сопротивление движению со стороны жидкости [2], имеет вид

$$m \frac{dv}{dt} = -\alpha v + P. \quad (2)$$

Учитывая, что в (2) вес $P = mg$, а в (1) $SAR = c_1 (dT/dt)|_{t=0}$ определяется в экспериментах [1] по наклону температурного графика сразу при включении аппарата СВЧ, уравнения (1) и (2) будут иметь вид

$$m \frac{dv}{dt} = -\alpha v + mg, \quad (3)$$

$$\rho_1 c_1 \frac{dT}{dt} = -\rho_2 W_2 T + \rho_1 c_1 \left. \frac{dT}{dt} \right|_{t=0}. \quad (4)$$

Значение $(dT/dt)|_{t=0}$ постоянно в течение конкретного эксперимента с фиксированной постоянной мощностью облучения, но зависит от значения этой мощности. Записав $v(t)$ и $T(t)$ в форме

$$v = \frac{dx}{dt}, \quad T = \frac{dx_T}{dt}, \quad (5)$$

получим из (3) и (4)

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} = -\alpha \frac{dx}{dt} + mg, \quad (6)$$

$$\rho_1 c_1 \frac{d^2 x_T}{dt^2} = -\rho_2 W_2 \frac{dx_T}{dt} + \rho_1 c_1 \left. \frac{d^2 x_T}{dt^2} \right|_{t=0}, \quad (7)$$

где $x(t)$ — описание (закон) процесса движения, $x_T(t)$ — описание (закон) термодинамического биотеплового процесса в живой биоткани при СВЧ-облучении с постоянной мощностью [1]. Уравнения (6) и (7) имеют похожую форму записи при следующих формальных соответствиях: $m \rightarrow \rho_1 c_1$, $x \rightarrow x_T$, $g \rightarrow (d^2 x_T/dt^2)_{t=0}$, $\alpha \rightarrow \rho_2 W_2$. Запись биотеплового уравнения (1) в форме (7) позволяет предполагать существование физического подобия инертной массы и тепловой инерции $\rho_1 c_1$. Чем больше инертная масса m материального объекта, тем дольше действующей силе F приходится увеличивать скорость до необходимого значения v . Но при этом чем больше масса m , тем больше будет количество движения этого тела, и по инерции оно будет двигаться дольше. В теплофизике аналогичный процесс: чем больше теплоемкость тела, тем

дольше приходится его нагревать до необходимого значения температуры T . Но тело с большей теплоемкостью будет медленнее остывать. Следует обратить внимание на то, что на этом сходстве и заканчивается аналогия: например, инертная масса m тела, в отличие от тепловой инерции, является еще и гравитационной массой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Roemer R.D., Oleson J.R., Cetas T.C.* Oscillatory temperature response to constant power applied to canine muscle. — Amer. J. Phys., 1985, v. 249 (18), p. R153–R158.
2. *Мещерский И. В.* Сборник задач по теоретической механике. М.: Физматлит, 1973, 447 с.