

УДК 519.6

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ІНФЕКЦІЙНОГО ЗАХВОРЮВАННЯ З УРАХУВАННЯМ СОРБЦІЙНОЇ ТЕРАПІЇ ТА ДИФУЗІЙНИХ ЗБУРЕНЬ

**Андрій Бомба, Сергій Барановський**

*Національний університет водного господарства та природокористування*

abomba@ukr.net, svbaranovsky@gmail.com

Застосування адсорбційних препаратів для виведення токсинів і патогенних елементів з організму є досить давнім, поширеним та ефективним методом в медичній практиці. Терапевтична дія адсорбентів пов'язана зі здатністю поглинати та утримувати речовини з навколишнього середовища, що забезпечується пористою структурою окремих частинок адсорбентів. Значимо, що адсорбенти здатні поглинати і виводити з організму не лише токсини, але і вірусні елементи, що при комплексному застосуванні з іншими терапевтичними заходами підвищує ефективність лікування інфекційних захворювань. Механізм дії адсорбційних препаратів має дифузійну природу, що істотно відрізняється від механізму дії фармакологічних чи імунологічних препаратів. Ефективність такої дії залежить від внутрішньої структури, зокрема, пористості, а також від розмірів частинок адсорбенту. Тому якісне прогнозування та оптимізація динаміки інфекційного захворювання в умовах сорбційної терапії потребує, зокрема, розробки нових модифікацій відомих та добре вивчених моделей із застосуванням спеціальних підходів, які забезпечують урахування ефектів дифузійного розсіювання діючих чинників процесу в організмі та в середині частинок адсорбенту. Авторами в [1] була запропонована модифікація моделі вірусної інфекції, яка враховує вплив дифузійних збурень діючих чинників на розвиток процесу захворювання, а в [2] – узагальнення моделі противірусної імунної відповіді для комплексного урахування дифузійних збурень та різного роду зосереджених впливів, що забезпечує можливість прогнозувати динаміку вірусної інфекції в умовах ін'єкцій розчинів лікарських препаратів.

Поряд з розробкою нових модифікованих моделей вірусної інфекції з урахуванням адсорбційної терапії та дифузійних збурень не менш важливою проблемою є також ідентифікація параметрів дифузійного розсіювання діючих чинників у таких модифікаціях. З метою вирішення цієї проблеми пропонується описувати динаміку модельних компонент процесу інфекційного захворювання з урахуванням адсорбційної терапії, дифузійних збурень та зосереджених впливів, наприклад, у простій (для зручності викладок) області  $G = \{(x, y, z, t) : (x, y, z) \in \tilde{G}, 0 < t \leq T < \infty\}$  такою задачею:

$$\begin{aligned}
 V_t' &= \omega_V + \beta V - \gamma FV + \varepsilon D_V (V_{xx}'' + V_{yy}'' + V_{zz}'') - \delta^2 D_W^* (W_r') \Big|_{r=R}, \\
 W_t &= \delta^2 D_W (W_{rr}'' + 2W_r' / r), \\
 C_t' &= \xi(m)\alpha F(t - \tau)V(t - \tau) - \mu_C(C - C^*) + \varepsilon^2 D_C (C_{xx}'' + C_{yy}'' + C_{zz}''), \\
 F_t' &= \omega_F + \rho C - (\mu_f + \eta\gamma V)F + \varepsilon D_F (F_{xx}'' + F_{yy}'' + F_{zz}''), \\
 m_t' &= \sigma V - \mu_m m + \varepsilon^2 (m_{xx}'' + m_{yy}'' + m_{zz}''), \\
 V(x, y, z, \tilde{t}) &= V^0(x, y, z, \tilde{t}), \quad F(x, y, z, \tilde{t}) = F^0(x, y, z, \tilde{t}), \quad -\tau \leq \tilde{t} \leq 0, \\
 C(x, y, z, 0) &= C^0(x, y, z), \quad m(x, y, z, 0) = m^0(x, y, z), \quad L\Omega \Big|_{\partial\tilde{G}} = 0, \\
 W(x, y, z, r, 0) &= 0, \quad W_r'(x, y, z, 0, t) = 0, \quad W(x, y, z, R, t) = \kappa V(x, y, z, t),
 \end{aligned} \tag{1}$$

де  $V, F, C, m$  – відповідно концентрації антигенів, антитіл, імунологічних клітин та міра ураження органу-мішені в момент часу  $t$  у точці  $(x, y, z)$  деякого обмеженого середовища  $\tilde{G}$ ;  $W$  – концентрації антигенів в мікропорах частинок адсорбенту у формі кулі радіуса  $R$ ;  $\kappa > 0$  – константа адсорбційної рівноваги;  $\delta^2 D_W$  – коефіцієнт дифузійного розсіювання в мезопорах частинок сорбенту,  $\delta^2 D_W^*$  – коефіцієнт, що характеризує вплив дифузійного розсіювання у мікропорах частинок адсорбенту на дифузійне розсіювання антигенів в організмі  $\varepsilon, \delta$  – малі параметри;  $L$  – оператор граничних умов (I-го, II-го, чи III-го роду);  $\Omega = (V, C, F, m)$ . Інші параметри аналогічні до [1].

Ставиться і розв'язується задача ідентифікації та оптимізації невідомих коефіцієнтів дифузійного розсіювання при різних додаткових умовах перевизначення, наприклад, заданих густинах дифузійних потоків в деякій характерній точці, заданих значень похідних шуканих функцій у початковий момент часу ті ін.

1. *Bomba A. Ya.* Modeling small-scale spatial distributed influences on the development of infectious disease process // *Mathematical Modeling and Computing*. – 2020. – 7, No. 2. – P. 310–321.
2. *Baranovsky S.V., Bomba A.Ya., Lyashko S.I.* Generalization of the antiviral immune response model for complex consideration of diffusion perturbations, body temperature response, and logistic antigen population dynamics // *Cybernetics and Systems Analysis*. – 2022. – 58, No. 4. – P. 576–592.

#### IDENTIFICATION AND OPTIMIZATION OF INFECTIOUS DISEASE MODEL PARAMETERS TAKING INTO ACCOUNT SORPTION THERAPY AND DIFFUSION PERTURBATIONS

*For the model of the dynamics of a viral infection in the conditions of adsorption therapy, an approach is proposed for the identification of diffusion scattering parameters with different types of functional dependence of diffusion coefficients and given redefinition conditions*