

УДК 615.47

doi: 10.26102/2310-6018/2019.24.1.009

М.И. Лукашов, Е.В. Письменная, О.Ю. Олисова,  
Л.В. Стародубцева, Л.В. Шульга

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ  
ТЯЖЕСТИ ГЕНИТАЛЬНОГО ГЕРПЕСА НА ОСНОВЕ АППАРАТА  
НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

*ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»  
Курск, Россия*

*Работа посвящена актуальной проблеме повышения качества медицинского обслуживания населения, страдающего генитальным герпесом за счет своевременной и качественной оценки степени тяжести исследуемого заболевания. В ходе исследований получена нечеткая математическая модель, позволяющая выделять четыре класса состояний пациента: больные с клинически не обнаруживаемым генитальным герпесом; больные с обнаруженными следами герпеса; больные с обнаруженным герпесом; больные с клинически наблюдаемым герпесом. Используемая в работе методология синтеза гибридных нечетких решающих правил позволяет надежно разделять выбранные классы состояний в условиях неполного и нечеткого представления исходных данных с сильно пересекающейся структурой классов. Выбранная система классификации позволяет рационализировать выбор схем лечения в зависимости от индивидуального состояния пациентов. В результате проведенных исследований было установлено, что использование аппарата нечеткой логики принятия решений, позволяет улучшить качество принятия решений, по оценке стадий заболеваний на 10, ..., 15% и сократить сроки лечения на 5, ...10%, что позволяет рекомендовать полученные результаты к использованию в медицинской практике.*

**Ключевые слова:** математическая модель, генитальный герпес, нечеткая логика принятия решений, лабораторные показатели

### **Введение**

Несмотря на достижения отечественной и зарубежной дерматовенерологии герпетическая инфекция продолжает оставаться распространенным урогенитальным заболеванием. В России заболеваемость составляет 10,8 случаев на 100000 населения.

В работах [19, 20] показано, что одним из методов борьбы с этим заболеванием является качественная оценка степени тяжести генитального герпеса (ГГ) позволяющая назначить адекватные схемы лечения. В ходе специально проведенного разведочного анализа было определено, что между различными классами степени тяжести высококвалифицированные эксперты не могут установить точных границ, а собираемая о заболевании информация носит латентный характер.

В этих условиях в работах [3, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 19, 22, 23, 24, 25] в качестве базового математического аппарата рекомендуется

использовать методологию синтеза гибридных нечетких решающих правил (МСГНРП). В работах [19, 20] показано, как используя эту методологию можно получить нечеткую шкалу оценки степени тяжести генитального герпеса, однако в них отсутствует описание соответствующих аналитических выражений позволяющих использовать предложенные идеи в медицинской практике.

Целью данной работы является описание математической модели оценки степени тяжести генитального герпеса с подробностью, достаточной для ее практического использования, а так же анализ точности работы этой модели на репрезентативной контрольной выборке.

### Модели и методы

Выбор классов степени тяжести генитального герпеса (ГГ) осуществлялся экспертной группой с целевой установкой выбора оптимальных индивидуальных схем оптимизации лечения для каждого из выбираемых классов.

Первоначально, для предварительного разведочного анализа было отобрано 76 лабораторных показателей, характеризующих различные проявления жизнедеятельности, а степень тяжести ГГ оценивалась по четырем классам [19]:

- $\omega_1$  - больные, у которых герпес клинически не обнаруживается;
- $\omega_2$  - больные с обнаруженными следами герпеса;
- $\omega_3$  - больные с обнаруженным герпесом;
- $\omega_4$  - больные с клинически наблюдаемым герпесом.

Учитывая латентную связь между выбранными классами степени тяжести и лабораторными показателями, выбор состава информативных лабораторных показателей осуществлялся в два этапа. На первом этапе отбор осуществлялся экспертами с использованием, метода Дельфи и информативной меры Кульбака. На втором этапе информативность уточнялась с использованием теории измерения латентных переменных с моделью Г. Раша [1,17].

В результате этого этапа исследований из пространства лабораторных показателей для синтеза модели оценки степени тяжести ГГ было отобрано четыре признака:

- $c_1$  – Т-хелперы/индукторы CD3+4+(процент)
- $c_2$  – Незрелые Т-лимфоциты CD3+4+8+(процент)
- $c_3$  – Подкласс цитологических Т-лимфоцитов CD3(16/56)+(процент от CD3+Т-клеток)
- $c_4$  – НК-клетки CD3-16/56+(кл/мкл).

В соответствии с общей методологией синтеза гибридных нечетких решающих правил с учетом рекомендаций [14, 17] по блоку признаков «данные лабораторного анализа» были построены функции принадлежности  $\mu_{\omega_i}(c_i)$  к выбранным классам состояний ( $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ ).

$$\mu_{\omega_1}(c_1) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_1 \leq 40; \\ 0,5, & \text{если } 40 < c_1 \leq 50; \\ 0,5 - 0,0011(c_1 - 50)^2, & \text{если } 50 < c_1 \leq 65; \\ 0,0011(c_1 - 80)^2, & \text{если } 65 < c_1 \leq 80; \\ 0, & \text{если } c_1 > 80, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_2}(c_1) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_1 \leq 30; \\ 0,5, & \text{если } 30 < c_1 \leq 40; \\ 0,5 - 0,0011(c_1 - 40)^2, & \text{если } 40 < c_1 \leq 55; \\ 0,0011(c_1 - 70)^2, & \text{если } 55 < c_1 \leq 70; \\ 0, & \text{если } c_1 > 70, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_3}(c_1) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_1 \leq 20; \\ 0,5, & \text{если } 20 < c_1 \leq 30; \\ 0,5 - 0,0011(c_1 - 30)^2, & \text{если } 30 < c_1 \leq 45; \\ 0,0011(c_1 - 60)^2, & \text{если } 45 < c_1 \leq 60; \\ 0, & \text{если } c_1 > 60, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_4}(c_1) = \begin{cases} 0,5 & \text{если } c_1 \leq 20; \\ 0,5 - 0,0011(c_1 - 20)^2, & \text{если } 20 < c_1 \leq 35; \\ 0,0011(c_1 - 50)^2, & \text{если } 35 < c_1 < 50; \\ 0, & \text{если } c_1 \geq 50, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_1}(c_2) = \begin{cases} 0,15(c_2)^2, & \text{если } 0 \leq c_2 < 1; \\ 0,3 - 0,15(c_2 - 2)^2, & \text{если } 1 \leq c_2 < 2; \\ 0,3, & \text{если } 2 \leq c_2 < 2,5; \\ 0, & \text{если } c_2 \geq 2,5, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_2}(c_2) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_2 < 0,5; \\ 0,15(c_2 - 0,5)^2, & \text{если } 0,5 \leq c_2 < 1,5; \\ 0,3 - 0,15(c_2 - 2,5)^2, & \text{если } 1,5 \leq c_2 < 2,5; \\ 0,3, & \text{если } 2,5 \leq c_2 < 3; \\ 0, & \text{если } c_2 \geq 3, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_3}(c_2) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_2 < 1,0; \\ 0,15(c_2 - 1,0)^2, & \text{если } 1 \leq c_2 < 2; \\ 0,3 - 0,15(c_2 - 3)^2, & \text{если } 2 \leq c_2 < 3; \\ 0,3, & \text{если } 3 \leq c_2 < 3,5; \\ 0, & \text{если } c_2 \geq 3,5, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_4}(c_2) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_2 < 1,5; \\ 0,15(c_2 - 1,5)^2, & \text{если } 1,5 \leq c_2 < 2,5; \\ 0,3 - 0,15(c_2 - 3,5)^2, & \text{если } 2,5 \leq c_2 < 3,5; \\ 0,3, & \text{если } c_2 \geq 3,5, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_1}(c_3) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_3 < 5; \\ 0,003(c_3 - 5)^2, & \text{если } 5 \leq c_3 < 15; \\ 0,6 - 0,003(c_3 - 25)^2, & \text{если } 15 \leq c_3 < 25; \\ 0,6, & \text{если } 25 \leq c_3 < 30; \\ 0, & \text{если } c_3 \geq 30, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_2}(c_3) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_3 < 10; \\ 0,003(c_3 - 10)^2, & \text{если } 10 \leq c_3 < 20; \\ 0,6 - 0,003(c_3 - 30)^2, & \text{если } 20 \leq c_3 < 30; \\ 0,6, & \text{если } 30 \leq c_3 < 35; \\ 0, & \text{если } c_3 \geq 35, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_3}(c_3) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_3 < 15; \\ 0,003(c_3 - 15)^2, & \text{если } 15 \leq c_3 < 25; \\ 0,6 - 0,003(c_3 - 35)^2, & \text{если } 25 \leq c_3 < 35; \\ 0,6, & \text{если } 35 \leq c_3 < 40; \\ 0, & \text{если } c_3 \geq 40, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_4}(c_3) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_3 < 20; \\ 0,003(c_3 - 20)^2, & \text{если } 20 \leq c_3 < 30; \\ 0,6 - 0,003(c_3 - 40)^2, & \text{если } 30 \leq c_3 < 40; \\ 0, & \text{если } c_3 \geq 40, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_1}(c_4) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_4 < 200; \\ 0,00002(c_4 - 200)^2, & \text{если } 200 \leq c_4 < 300; \\ 0,4 - 0,00002(c_4 - 400)^2, & \text{если } 300 \leq c_4 < 400; \\ 0,4, & \text{если } 400 \leq c_4 < 450; \\ 0, & \text{если } c_4 \geq 450, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_2}(c_4) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_4 < 250; \\ 0,00002(c_4 - 250)^2, & \text{если } 250 \leq c_4 < 350; \\ 0,4 - 0,00002(c_4 - 450)^2, & \text{если } 350 \leq c_4 < 450; \\ 0,4, & \text{если } 450 \leq c_4 < 500; \\ 0, & \text{если } c_4 \geq 500, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_3}(c_4) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_4 < 300; \\ 0,00002(c_4 - 300)^2, & \text{если } 300 \leq c_4 < 400; \\ 0,4 - 0,00002(c_4 - 500)^2, & \text{если } 400 \leq c_4 < 500; \\ 0,4, & \text{если } 500 \leq c_4 < 550; \\ 0, & \text{если } c_4 \geq 550, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_4}(c_4) = \begin{cases} 0, & \text{если } c_4 < 350; \\ 0,00002(c_4 - 350)^2, & \text{если } 350 \leq c_4 < 450; \\ 0,4 - 0,00002(c_4 - 550)^2, & \text{если } 450 \leq c_4 < 550; \\ 0, & \text{если } c_4 \geq 550. \end{cases}$$

Уверенность в отнесении обследуемого к классам  $\omega_\ell$  по группе лабораторных показателей  $UL_\ell$  определяется выражением

$$UL_\ell(i+1) = UL_\ell(i) + \mu_{\omega_\ell}(c_{i+1})[1 - UL_\ell(i)], \quad (1)$$

где  $UL_\ell(1) = \mu_{\omega_\ell}(c_1)$ .

В ходе математического моделирования и экспертного оценивания было установлено, что только по лабораторным показателям уверенность в правильной классификации не превышает величину 0,78, что является достаточно низким результатом.

С учетом рекомендаций работ [19, 20, 21, 22, 23] для повышения качества классификации было принято решение дополнительно использовать три показателя: энергетический разбаланс биологически активных точек (БАТ) «связанных с ГГ»; уровень длительного психоэмоционального напряжения (UP) и хронического утомления (UU).

В соответствии с рекомендациями, описанными в работах [2, 6, 12, 19, 26, 27] для решения классификационной задачи было отобрано две точки P7 и VC7 во французской классификации [6] для которых были определены соответствующие функции принадлежности:

$$\mu_{\omega_1}(\delta R_{p7}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta R_{p7} < 10; \\ 0,002(\delta R_{p7} - 10)^2, & \text{если } 10 \leq \delta R_{p7} < 20; \\ 0,4 - 0,002(\delta R_{p7} - 30)^2, & \text{если } 20 \leq \delta R_{p7} < 30; \\ 0,4, & \text{если } 30 \leq \delta R_{p7} < 40; \\ 0, & \text{если } \delta R_{p7} \geq 40, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_2}(\delta R_{p7}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta R_{p7} < 30; \\ 0,002(\delta R_{p7} - 30)^2, & \text{если } 30 \leq \delta R_{p7} < 40; \\ 0,4 - 0,002(\delta R_{p7} - 50)^2, & \text{если } 40 \leq \delta R_{p7} < 50; \\ 0,4, & \text{если } 50 \leq \delta R_{p7} < 60; \\ 0, & \text{если } \delta R_{p7} \geq 60, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_3}(\delta R_{p7}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta R_{p7} < 50; \\ 0,002(\delta R_{p7} - 50)^2, & \text{если } 50 \leq \delta R_{p7} < 60; \\ 0,4 - 0,002(\delta R_{p7} - 70)^2, & \text{если } 60 \leq \delta R_{p7} < 70; \\ 0,4, & \text{если } 70 \leq \delta R_{p7} < 80; \\ 0, & \text{если } \delta R_{p7} \geq 80, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_4}(\delta R_{p7}) = \begin{cases} 0, & \text{если } 70 < 0; \\ 0,002(\delta R_{p7} - 70)^2, & \text{если } 70 \leq \delta R_{p7} < 80; \\ 0,4 - 0,002(\delta R_{p7} - 90)^2, & \text{если } 80 \leq \delta R_{p7} < 90; \\ 0, & \text{если } \delta R_{p7} \geq 90, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_1}(\delta R_{VC7}) = \begin{cases} 0,0025(\delta R_{VC7})^2 & \text{если } \delta R_{VC7} < 10; \\ 0,5 - 0,0025(\delta R_{VC7} - 20)^2, & \text{если } 10 \leq \delta R_{VC7} < 20; \\ 0,5, & \text{если } 20 \leq \delta R_{VC7} < 30; \\ 0, & \text{если } \delta R_{VC7} \geq 30, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_2}(\delta R_{VC7}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta R_{VC7} < 20 \\ 0,0025(\delta R_{VC7} - 20)^2 & \text{если } 20 \leq \delta R_{VC7} < 30; \\ 0,5 - 0,0025(\delta R_{VC7} - 40)^2, & \text{если } 30 \leq \delta R_{VC7} < 40; \\ 0,5, & \text{если } 40 \leq \delta R_{VC7} < 50; \\ 0, & \text{если } \delta R_{VC7} \geq 50, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_3}(\delta R_{VC7}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta R_{VC7} < 40 \\ 0,0025(\delta R_{VC7} - 40)^2 & \text{если } 40 \leq \delta R_{VC7} < 50; \\ 0,5 - 0,0025(\delta R_{VC7} - 60)^2, & \text{если } 50 \leq \delta R_{VC7} < 60; \\ 0,5, & \text{если } 60 \leq \delta R_{VC7} < 70; \\ 0, & \text{если } \delta R_{VC7} \geq 70, \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_4}(\delta R_{VC7}) = \begin{cases} 0, & \text{если } \delta R_{VC7} < 60 \\ 0,0025(\delta R_{VC7} - 60)^2 & \text{если } 60 \leq \delta R_{VC7} < 70; \\ 0,5 - 0,0025(\delta R_{VC7} - 80)^2, & \text{если } 70 \leq \delta R_{VC7} < 80; \\ 0, & \text{если } \delta R_{VC7} \geq 80 \end{cases}$$

Уверенность в классификации по группе БАТ определяется выражением

$$UB_{\ell} = \mu_{\omega_{\ell}}(\delta R_{p7}) + \mu_{\omega_{\ell}}(\delta R_{VC7}) - \mu_{\omega_{\ell}}(\delta R_{p7}) \cdot \mu_{\omega_{\ell}}(\delta R_{VC7}), \quad (2)$$

где  $\delta R_j$  - отклонение сопротивления БАТ от номинального значения.

Уровни психоэмоционального напряжения и утомления определяются по методикам, описанным в работах [4, 5, 11, 15, 16, 17, 18, 28, 29].

Соответствующие функции принадлежности определяются выражениями:

$$\mu_{\omega_2}(UP) = \begin{cases} 0, & \text{если } UP = 0 \\ 5(UP)^2 & \text{если } 0 \leq UP < 0,2; \\ 0,4 - 5(UP - 0,4)^2, & \text{если } 0,2 \leq UP < 0,4; \\ 0,4 & \text{если } UP \geq 0,4 \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_3}(UP) = \begin{cases} 0, & \text{если } UP < 0,2 \\ 5(UP - 0,2)^2 & \text{если } 0,2 \leq UP < 0,4; \\ 0,4 - 5(UP - 0,2)^2, & \text{если } 0,4 \leq UP < 0,6; \\ 0,4 & \text{если } UP \geq 0,6 \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_4}(UP) = \begin{cases} 0, & \text{если } UP < 0,3 \\ 5(UP - 0,3)^2 & \text{если } 0,3 \leq UP < 0,5; \\ 0,4 - 5(UP - 0,7)^2, & \text{если } 0,5 \leq UP < 0,7; \\ 0,4, & \text{если } UP \geq 0,7 \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_2}(UU) = \begin{cases} 0, & \text{если } UU < 0,1 \\ 6,67(UU - 0,1)^2 & \text{если } 0,1 \leq UU < 0,25; \\ 0,3 - 6,67(UU - 0,4)^2, & \text{если } 0,25 \leq UU < 0,4; \\ 0,3, & \text{если } UU \geq 0,4 \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_3}(UU) = \begin{cases} 0, & \text{если } UU < 0,2 \\ 3,75(UU - 0,2)^2 & \text{если } 0,2 \leq UU < 0,4; \\ 0,3 - 3,75(UU - 0,6)^2, & \text{если } 0,4 \leq UU < 0,6; \\ 0,3, & \text{если } UU \geq 0,6 \end{cases}$$

$$\mu_{\omega_4}(UU) = \begin{cases} 0, & \text{если } UU < 0,4 \\ 3,75(UU - 0,4)^2, & \text{если } 0,4 \leq UU < 0,6; \\ 0,3 - 3,75(UU - 0,8)^2, & \text{если } 0,6 \leq UU < 0,8; \\ 0,3, & \text{если } UU \geq 0,8 \end{cases}$$

Величины уверенностей в классификации определяются функциями принадлежности  $UUP_\ell = \mu_{\omega_\ell}(UP)$ ;  $UUU_\ell = \mu_{\omega_\ell}(UU)$ ;  $UUP_1 = 0$ ;  $UUU_1 = 0$ .

В соответствии с общими рекомендациями по синтезу гибридных нечетких решающих правил, уверенность в классификации по всем блокам информативных признаков определяется выражением

$$US_\ell(q+1) = US_\ell(q) + Q_\ell(q+1)[1 - US_\ell(q)], \quad (3)$$

где  $US_\ell(1) = Q_\ell(1) = UL_\ell$ ;  $Q_\ell(2) = UB_\ell$ ;  $Q_\ell(3) = UUP_\ell$ ;  $Q_\ell(4) = UUU_\ell$ .

Решение о принадлежности к классу  $\omega_\ell$  принимается по максимальной величине  $US_\ell$ :

$$\Omega_\ell = \max(US_1, US_2, US_3, US_4) \quad (4)$$

При равенстве  $US_\ell$  решение принимается в пользу более тяжелого класса состояний.

В ходе математического оценивания было установлено, что оценки уверенностей в правильной классификации с использованием моделей (3) и (4) превышает величину 0,93, что является хорошим практическим результатом.

## Результаты

Математические модели оценки степени тяжести генитального герпеса были получены при с использованием методов экспертного оценивания.

Для объективной оценки качества классификации по степеням тяжести ГГ были сформированы репрезентативные контрольные выборки, по которым определялись такие общепринятые в медицине показатели как диагностическая чувствительность (ДЧ), диагностическая специфичность (ДС) и диагностическая эффективность (ДЭ).

В качестве контрольной группы (класс  $\omega_0$ ) было отобрано 100 человек без рецидива ГГ.

В Таблице 1 приведены результаты статистических испытаний правильности «работы» (4) для каждой из степеней тяжести относительно объектов контрольной группы.

Таблица 1. – Результаты классификации модели (4)

Пациенты	результаты	
	Положительные	Отрицательные
$n_{\omega_1} = 100$	97	3
$n_{\omega_0} = 100$	6	94
$n_{\omega_2} = 100$	96	4
$n_{\omega_0} = 100$	2	98
$n_{\omega_3} = 100$	93	7
$n_{\omega_0} = 100$	6	94
$n_{\omega_4} = 100$	98	2
$n_{\omega_0} = 100$	4	96

Примечание  $n_{\omega_\ell}$  - объем контрольной выборки по классу  $\omega_\ell$

В Таблице 2 сведены показатели качества классификации в сопоставлении с результатами экспертного оценивания и математического моделирования.

Таблица 2. – Результаты контрольных испытаний и экспертных оценок решающих правил

Классы	Показатели качества классификации на контрольной выборке					Экспертная оценка уверенности		Математическое моделирование
	ДЧ	ДС	ПЗ <sup>+</sup>	ПЗ <sup>-</sup>	ДЭ	максимальная	средняя	
$\omega_1$	0,97	0,94	0,94	0,97	0,95	0,97	0,95	0,93
$\omega_2$	0,96	0,98	0,97	0,96	0,97	0,97	0,9	0,91
$\omega_3$	0,93	0,94	0,94	0,93	0,93	0,97	0,95	0,91
$\omega_4$	0,98	0,96	0,96	0,98	0,97	0,97	0,95	0,92

Как видно из приведенных результатов, данные контрольных испытаний достаточно «близки» к оценкам экспертов, а полученные числовые значения позволяют рекомендовать полученные решающие правила для практического использования.

### Обсуждение

Полученные в работе решающие правила оценки степени тяжести генитального герпеса позволяют выделять четыре класса состояний пациента: больные с клинически не обнаруживаемым генитальным

герпесом; больные с обнаруженными следами герпеса; больные с обнаруженным герпесом; больные с клинически наблюдаемым герпесом.

Используемая в работе методология синтеза гибридных нечетких решающих правил позволяет надежно разделять выбранные классы состояний в условиях неполного и нечеткого представления исходных данных с сильно пересекающейся структурой классов. Выбранная система классификации позволяет осуществлять выбор схем лечения в зависимости от индивидуального состояния пациентов.

Оценка показателей качества работы полученных математических моделей показала, что их можно рекомендовать к практическому использованию врачами дерматовенерологами.

### Заключение

В результате проведенных исследований было установлено, что использование современных информационных технологий в сочетании с методологией мягких вычислений, в частности с использованием аппарата нечеткой логики позволяет улучшить качество принятия решений по оценке стадий заболеваний на 10 – 15% и сократить сроки лечения на 5 – 10%, что позволяет рекомендовать к использованию полученные результаты в медицинской практике.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бойцов А.В. Применение теории измерения латентных переменных для формирования пространства информативных признаков в задачах оценки функционального состояния человека [Текст] / Л.П. Лазурина, С.Н. Корневская, А.Н. Шуткин // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение, 2014. - №6 (57). - С. 52-58.
2. Гадалов В.Н. Математические модели рефлекторных систем организма человека и их использование для прогнозирования и диагностики заболеваний [Текст] / В.Н. Гадалов, Н.А. Корневский, В.Н. Снопков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах, 2012.- Т11.- № 2. – С. 515-521.
3. Емельянов С.Г. Прогнозирование степени тяжести развития ишемического процесса в сердце, головном мозге и нижних конечностях на основе нечетких моделей / С.Г. Емельянов, Н.А. Корневский, А.В. Быков // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2016. - №9. – С.4-9.
4. Конева Л.В. Оценка уровня психоэмоционального напряжения и утомления по показателям, характеризующим состояние внимания

- человека [Текст] / Л.В. Конева, С.Н. Кореневская, С.В. Дегтярев // Системный анализ и управление в биомедицинских системах, 2012.- Т.11.- № 4. – С. 993-1000.
5. Кореневская С.Н. Аппаратно-программный комплекс для психофизиологических исследований на базе платформы ANDROID с AFE – интерфейсом [Текст] / С.Н. Кореневская, Е.С. Шкатова, М.А. Магеровский, А.Н. Шуткин // Медицинская техника. 2016. - №5 - С. 24-27.
  6. Кореневский Н.А. Компьютерные системы ранней диагностики состояния организма методами рефлексологии. Министерство образования Российской Федерации. Новочеркасск, 2003 [Текст] / Н.А. Кореневский, Л.П. Лазурина // ОМЦП. Курск, 2000, 177 с.
  7. Кореневский Н.А. Использование нечеткой логики принятия решений для медицинских экспертных систем // Медицинская техника, 2015, №1 (289) С.33-35.
  8. Кореневский Н.А. Принципы и методы построения интерактивных систем диагностики и управления состоянием здоровья человека на основе полифункциональных моделей: автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук / Санкт-Петербург, 1993. -32 с.
  9. Кореневский Н.А. Проектирование систем принятия решений на нечетких сетевых моделях в задачах медицинской диагностики и прогнозирования / Н.А. Кореневский // Телекоммуникации. – 2006. – №6. – С.25-31.
  10. Кореневский Н.А., Артеменко М.В., Провоторов В.Я., Новикова Л.А. Метод синтеза нечетких решающих правил на основе моделей системных взаимосвязей для решения задач прогнозирования и диагностики заболеваний/ Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2014. –Т.13, № 4, с.881-886.
  11. Кореневский Н.А. Прогнозирование и ранняя диагностика заболеваний сельскохозяйственных рабочих на основе нечеткой логики принятия решений [Текст] / Н.А. Кореневский, Н.А. Коптева, Р.А. Крупчатников // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т.4. №7. С. 86-89.
  12. Кореневский Н.А. Энергоинформационные модели рефлексодиагностики [Текст] / Н.А. Кореневский, Л.П. Лазурина // ОМЦП. Курск, 2000, 177 с.
  13. Кореневский Н.А. Синтез коллективов гибридных нечётких моделей оценки состояния сложных систем / Н.А. Кореневский, К.В. Разумова // Научноёмкие технологии, 2014. - Т.15. - №12. - С.31-40.

14. Кореневский Н.А. Метод синтеза нечетких решающих правил для оценки состояния сложных систем по информации о геометрической структуре многомерных данных // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т.4. №7. С. 128-136.
15. Кореневский Н.А. Прогнозирование и диагностика заболеваний, вызываемых вредными производственными и экологическими факторами на основе гетерогенных моделей [Текст] / Н.А. Кореневский, В.И. Серебровский, Н.А. Коптева, Т.Н. Говорухина // Издательство Курск. гос.с.-х.ак, 2012. – 231с.
16. Кореневский Н.А. Комплексная оценка уровня психоэмоционального напряжения / Кореневский Н.А., Филатова О.И., Лукашов М.И., Крупчатников Р.А. // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 5. С. 4-9.
17. Кореневский Н.А. Оценка и управление состоянием здоровья обучающихся на основе гибридных интеллектуальных технологий: монография / Н.А. Кореневский, А.Н. Шуткин, С.А. Горбатенко, В.И. Серебровский. – Старый Оскол: ТНТ, 2016. - 472с.
18. Лукашов М.И. Определение уровня длительного физического утомления как фактора риска рецидивов хронических заболеваний [Текст] / М.И. Лукашов, Н.А. Кореневский, А.В. Еремин, О.И. Филатова // Биомедицинская радиоэлектроника. - 2009. № 5. С. 10-15.
19. Лукашов М.И. Использование информационных технологий для прогнозирования и диагностики инфекционных заболеваний (на примере генитального герпеса) [Текст]: Монография/ М.И. Лукашов, Н.А. Кореневский, В.И. Серебровский и др. – Курск. изд-во Курск. гос. с-х. ак., 2011.- 123с.
20. Лукашов М.И. Определение степени тяжести генитального герпеса на основе нечетких моделей принятия решений [Текст] Еремин А.В., Лукашов М.И., Кореневский Н.А. // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. - 2009. - Т. 8, № 4. - С. 927-930.
21. Лукашов М.И. Оценка уровня защитных механизмов организма по энергетической сбалансированности меридиан и адаптационному резерву и их влияние на обострение кожных болезней [Текст] / М.И. Лукашов, Н.А. Кореневский, Р.А. Крупчатников, А.В. Еремин // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. - 2009. - Т.8. №1 - С. 236-239.
22. Лукашов М.И. Синтез решающих правил прогнозирования обострения заболеваний на примере генитального герпеса [Текст] / М.И. Лукашов, А.Г. Устинов, И.И. Хрипина, С.В. Солошенко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление,

- вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2014. - №3. - С. 70-80.
23. Лукашов М.И. Компьютерные системы в дерматологии [Текст]: монография / М.И. Лукашов, С.М. Яцун, Н.А. Корневский. Курск. гос. ун-т. Курск, 2009.- 227 с.
  24. Серегин С.П. Математические модели прогнозирования и профилактики рецидивов инфарктов миокарда в реабилитационном периоде: монография [Текст] / С.П. Серегин, О.Н. Воробьева, С.Н. Корневская [и др.] // Юго-Зап.гос.ун-т.- Курск, 2015. – 166с.
  25. Серегин С.П. Синтез комбинированных нечетких решающих правил для прогнозирования послеоперационных осложнений в урологии [Текст] / С.П. Серегин, С.Д. Долженков, С.Н. Корневская, Т.Н. Сапитонова // Известия Юго-Западного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. №2-3. С.293-297.
  26. Al-Kasasbeh R. Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture points using fuzzy logic decision-making / Al-Kasasbeh R., Alshamasin M., Korenevskiy N., Ionescou F., Smith A. // Computer methods in biomechanics and biomedical engineering, 2013. – Т.16. – №3. – С.302-313.
  27. Al-Kasasbeh R. Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characteristics of acupuncture points and fuzzy logic / Al-Kasasbeh R., Alshamasin M., Korenevskiy N., Kuzmin A., Ionescou F. // Computer methods in biomechanics and biomedical engineering, 2012. – Т15. – №7. – С.681-689.
  28. Korenevskiy N. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional / Korenevskiy N., Al-Kasasbeh R., Alshamasin M., Ionescou F., Al-Kasasbeh E., Smith A.P. // в сборнике: IFMBE Proceedings Ser. "4th International Conference on Biomedicl Engineering in Vietnam", 2013. – С. 213-216.
  29. Korenevskiy N. A., System for studying specific features of attention and memory [text] / N. A. Korenevskiy, D.E. Skopin, A.A. Kusmin, R.T. Al-Kasasbeh // Biomedical engineering, 2010. Т. 44. № 1. С. 32-35.

M.I. Lukashov, E.V Pismennaya, O.Y. Olisova, L.V. Starodubtseva,  
L.V. Shulga

## A MATHEMATICAL MODEL OF THE ASSESSMENT OF THE SEVERITY OF GENITAL HERPES ON THE BASIS OF FUZZY LOGIC

*Southwest State University  
Kursk, Russia*

*The work is devoted to the urgent problem of improving the quality of medical care for the population suffering from genital herpes due to the timely and qualitative assessment of the severity of the disease under study. In the course of the research, a fuzzy mathematical model was obtained, which allows to distinguish four classes of patient's conditions: patients with clinically undetectable genital herpes; patients with detected traces of herpes; patients with detected herpes; patients with clinically observed herpes. The methodology used in the synthesis of hybrid fuzzy decision rules allows to reliably separate the selected classes of States in the conditions of incomplete and fuzzy representation of the original data with a strongly overlapping structure of classes. The chosen classification system allows to rationalize the choice of treatment regimens depending on the individual condition of patients. As a result of the research it was found that the use of fuzzy logic of decision-making, can improve the quality of decision-making, according to the stages of disease by 10,..., 15% and reduce the duration of treatment by 5,...10%, which allows us to recommend the results for use in medical practice.*

**Keywords:** mathematical model, genital herpes, fuzzy logic of decision - making, laboratory indicators

### REFERENCES

1. Boytsov A. V. Application of the theory of measurement of latent variables for formation of space of informative signs in problems of an assessment of a functional state of the person [Text] / L. p. Lazurin, S. N. Korenevskaya, A. N. Shutkin // News of Southwest State University. Series Management, computer engineering, computer science. Medical instrumentation, 2014. - №6 (57). - Pp. 52-58.
2. Gadalog V. N. Mathematical models of reflex systems of the human body and their use for the prediction and diagnosis of diseases [Text] / V. N. Gadalog, N. Ah. Korenevsky, V. N. Snopkov // System analysis and control in biomedical systems, 2012.-T11.- № 2. - Pp. 515-521.
3. Emelyanov S. G. Predicting the severity of the ischemic process in the heart, brain and lower extremities on the basis of indecipherable models / S. G. Emelyanov, N.A. Korenevsky, V. Bykov // Biomedical Radioelectronics. - 2016. - №9. - Pp. 4-9.
4. Koneva L. V. Assessment of the level of psycho-emotional stress and fatigue in terms of indicators characterizing the state of human attention [Text] / L. V. Koneva, S. N. Korenevskaya, S. V. Degtyarev // System analysis and management in biomedical systems, 2012.-T11.- № 4. - Pp. 993-1000.

5. Korenevskaya S. N. Hardware and software complex for psychophysiological research based on the ANDROID platform with AFE-interface [Text] / S.N. Korenevskaya, E. S. Shkatova, M. A. Magerovsky, A. N. Shutkin // Medical equipment. 2016. - №5-Рр. 24-27.
6. Korenevsky N.A. Computer system early diagnostics of organism condition by the methods of reflexology. Ministry of education of the Russian Federation. Novocherkassk, 2003 [Text] / N.A. Korenevsky, L. P. Lazurina // ОМСР. Kursk, 2000, Pp. 177 .
7. Korenevsky N.A. The use of indecipherable logic decision making for medical expert systems / Medical technology, 2015, №1 (289) Pp. 33-35.
8. Korenevsky N.A. Principles and methods of construction of interactive systems of diagnosis and management of human health on the basis of multifunctional models: abstract for the degree of doctor of technical Sciences / St. Petersburg, 1993. -Pp. 32.
9. Korenevsky, N.A. Design of decision-making systems on indecipherable network models in the problems of medical diagnosis and forecasting / N. A. Korenevsky // Telecommunications. - 2006. - №6. - Pp. 25-31.
10. Korenevsky N.A. Artemenko M. V., Provotorov V. Y., Novikova L. A. method of indecipherable decision rules synthesis on the basis of models of system interrelations for the decision of problems of forecasting and diagnostics of diseases/ System analysis and management in biomedical systems. - 2014. - Vol. 13, № 4, Pp. 881-886.
11. Korenevsky N.A. Forecasting and early diagnosis of diseases of agricultural workers on the basis of indecipherable logic of decision-making [Text] / N. A. Korenevsky, N. A. Kopteva, R. A. Krupchatnikov // Bulletin of Voronezh state technical University. 2008. Vol. 4. No. 7. Pp. 86-89.
12. Korenevsky N.A. Energy-model reflexodiagnostic [Text] / N.A. Korenevsky, L. P. Lazurina // ОМСР. Kursk, 2000, Pp. 177.
13. Korenevsky N.A. The synthesis of hybrid ensembles of indecipherable models for the assessment of complex systems / N.A. Korenevsky, K. V. Razumova // high technologies, 2014. - Vol. 15. - №12. - Pp. 31-40.
14. Korenevsky N.A. Method of synthesis of indecipherable decision rules for assessing the state of complex systems on the information about the geometric structure of multidimensional data // Bulletin of the Voronezh state technical University. 2008. Vol. 4. No. 7. Pp. 128-136.
15. Korenevsky N.A. Prediction and diagnosis of diseases caused by harmful industrial and environmental factors based on heterogeneous models [Text] / N. A. Korenevsky, V. I. Serebrovsky, N. A. Kopteva, T. N. Govorukhina // Publishing Kursk.state S.-H. AK, 2012. – Pp. 231.

16. Korenevsky N.A. Complex assessment of the level of psycho-emotional stress / Korenevsky N. A. Filatova O. I., Lukashov M. I., Krupchatnikov R. A. // Biomedical radio electronics. 2009. No. 5. – Pp. 4-9
17. Korenevsky N.A. Evaluation and health management of students on the basis of hybrid intelligent technologies: monograph / N. A. Korenevsky, A. Shutkin, S. Gorbatenko, V. I. Serebrovsky. – Stary Oskol: TNT, 2016. – Pp. 472.
18. Lukashov M. I. Determination of the level of long-term physical fatigue as a risk factor for recurrence of chronic diseases [Text] / M. I. Lukashov, N.A. Korenevsky, A.V. Eremin, O. I. Filatova / Biomedical Radioelectronics.- 2009. No. 5. Pp. 10-15.
19. Lukashov M.I. Determining the severity of genital herpes based on fuzzy decision-making models [Text] Eremin A.V., Lukashov M.I., Korenevskiy N.A.// System analysis and management in biomedical systems. -2009.- T.8, №4.- P. 927-930.
20. Lukashov M.I. Assessment of the level of the body's defense mechanisms by the energy balance of the meridian and the adaptation reserve and their influence on the exacerbation of skin diseases [Text]/ M.I. Lukashov, N.A. Korenevskiy, R.A. Krupchatnikov, A.V. Eremin // System analysis and management in biomedical systems. – 2009. – T.8. №1 – P.236-239.
21. Lukashov M.I. Synthesis of decisive rules for predicting exacerbation of diseases on the example of genital herpes [Text]/ M.I. Lukashov, A.G. Ustinov, I.I. Hripina, S.V. Soloshenko // SWSU news. Series:
22. Management, computing, computerscience. Medical machine building. – 2014. - №3. – P.70-80
23. Lukashov M.I. Computer systems in dermatology [Text] monography /M.I. Lukashov, S.M. Yatsun, N.A. Korenevskiy, Kursk State University, 2009. – p.227
24. Seregin S. P. Mathematical models of prognosis and prevention of recurrence of myocardial infarctions in the rehabilitation period: monograph [Text] / S. P. Seregin, O. N. Vorobyova, S. N. Korenevskaya [Text] / Southwest State University. -Kursk, 2015. – Pp. 166.
25. Seregin, S. P. Synthesis of combined indecipherable decision rules for prognostication of postoperative complications in urology [Text] / S. P. Seregin, S. D. Dolzhenkov, S. N. Korenevsky, T. N. Kapitonova // news of Southwest State University. Series Management, computer engineering, computer science. Medical instrumentation. 2012. №2-3. Pp. 293-297.
26. Al-Kasasbeh R. Prediction of gastric ulcers based on the change in electrical resistance of acupuncture points using fuzzy logic decision-making / Al-Kasasbeh R., Alshamasin M., Korenevskiy N., Ionescou F., Smith A. //

- Computer methods in biomechanics and biomedical engineering, 2013. – Т.16. – №3. – С.302-313.
27. Al-Kasasbeh R. Prediction and prenosological diagnostics of heart diseases based on energy characteristics of acupuncture points and fuzzy logic / Al-Kasasbeh R., Alshamasin M., Korenevskiy N., Kuzmin A., Ionescou F. // Computer methods in biomechanics and biomedical engineering, 2012. – Т15. – №7. – С.681-689.
28. Korenevskiy N. Fuzzy determination of the human's level of psycho-emotional / Korenevskiy N., Al-Kasasbeh R., Alshamasin M., Ionescou F., Al-Kasabeh E., Smith A.P. // IFMBE Proceedings Сер. "4th International Conference on Biomedicl Engineering in Vietnam", 2013. – С. 213-216.
29. Korenevskiy N. A. System for studying specific features of attention and memory [text] / N. A. Korenevskiy, D.E. Skopin, A.A. Kusmin, R.T. Al-Kasasbeh // Biomedical engineering, 2010. Т. 44. № 1. С. 32-35.