

УДК.796.012.41(.001.57):681.332.4

© 2011 г. **И.Ю. Кривецкий,**
Г.И. Попов, д-р пед. наук
(Российский государственный университет физической культуры, спорта,
молодежи и туризма, Москва),
Н.С. Безруков, канд. техн. наук
(Амурский государственный университет, Благовещенск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСПЕШНОСТИ СПОРТИВНЫХ ДВИЖЕНИЙ В ПРЫЖКАХ В ВЫСОТУ С РАЗБЕГА

В работе предложены две системы индивидуальных моделей успешности прыжка в высоту с разбега, которые прогнозируют условия преодоления планки. Первая система строится на основе дискриминантного анализа, а вторая при помощи каскадной нейро-нечеткой сети.

Ключевые слова: прыжок в высоту, моделирование, дискриминантное уравнение, каскадная нейро-нечеткая сеть.

Введение

Прыжки в высоту являются сложным техническим видом легкой атлетики. В связи с этим всегда существовала проблема контроля и прогнозирования спортивного результата. Тренеру и спортсмену необходим инструмент, позволяющий детально проанализировать технику, выделить ключевые моменты и определить факторы, влияющие на успешность взятия высоты. Правильное техническое исполнение прыжка подразумевает определенную совокупность движений спортсмена, при которой он взлетает на заданный рубеж и преодолевает планку. Эта совокупность есть целый ряд параметров с определенными кинематическими характеристиками. Их необходимо учитывать и подбирать такие значения, с которыми результат прыжка будет положительным.

Одним из наиболее перспективных подходов к реализации данной задачи может быть использование современных средств компьютерного моделирования, а именно каскадной нейро-нечеткой сети, которая предоставляет возможность создания автоматизированной системы для поддержки принятия решений в ходе тренировочного и соревновательного процессов [1, 2].

Моделирование успешности прыжка

В исследовании принял участие спортсмен – мастер спорта, член сборной команды России. В течение трех тренировок на скоростные видеокамеры с двух разных ракурсов были зарегистрированы 92 прыжка с разбега и затем проанализи-

зированы с помощью программы видеоанализа «Dartfish» (Швейцария) по 48 кинематическим характеристикам. Полученная база из 4416 значений технических параметров послужила для создания системы моделей.

Представляется целесообразным рассмотреть возможные варианты результативности прыжка. Он может быть успешным, когда высота взята, и неуспешным, когда планка сбита. По логике, если спортсмен сбивает планку, то высшая точка вылета должна находиться ниже ее уровня. Это так называемая *фактическая высота прыжка* (высшая точка вылета тела прыгуна). Но часто бывают случаи, когда спортсмен вылетает выше планки, реализовав тем самым свой физический потенциал, и при этом сбивает ее ногами, плечами и т.п. В фазе полета в воздухе исправить ошибки практически невозможно. Поэтому эти огрехи – следствия неверной техники до момента отталкивания, которые также необходимо учесть и определить те значения параметров, при которых спортсмен не будет сбивать планку, вылетев выше ее уровня или наравне с ним.

Все прыжки были разделены на три выборки с соответствующими кинематическими параметрами (рис. 1):

- 1) прыжок получился (успешный),
- 2) прыжок не получился – планка сбита (при этом *фактическая высота прыжка* < уровня планки),
- 3) прыжок должен был получиться (*фактическая высота прыжка* \geq уровня планки), но планка сбита.

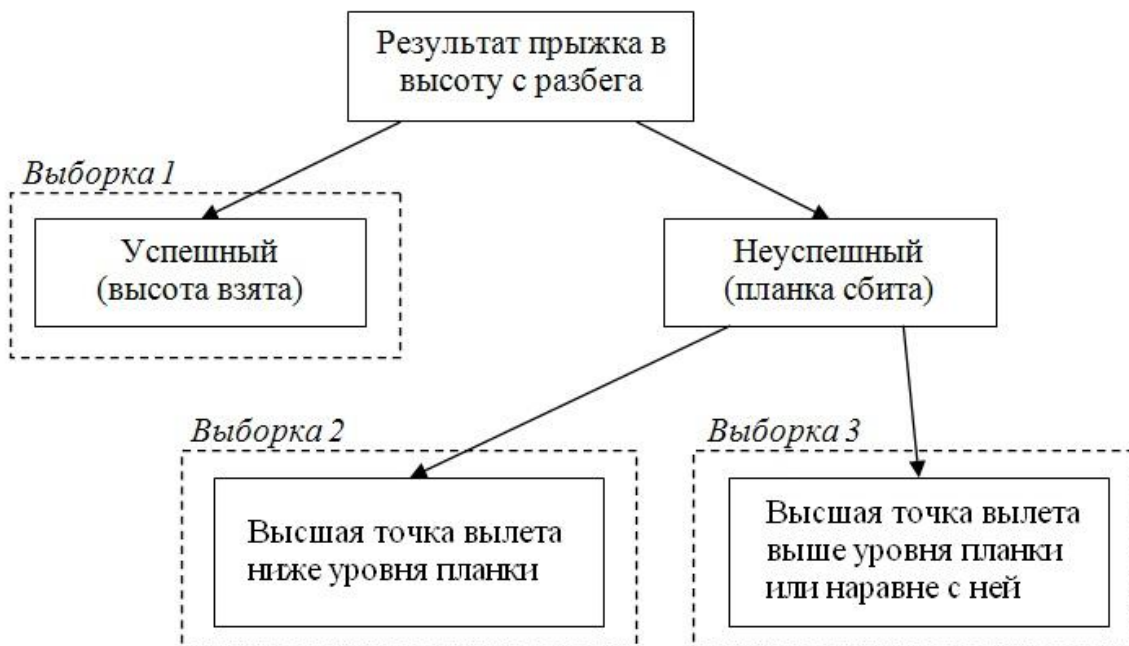


Рис. 1. Схема возможного результата прыжка в высоту и выборки по параметрам.

Из этого следует, что прыжок может быть неуспешным по двум причинам, которые положены в основу моделирования:

1. Спортсмен не смог вылететь выше уровня планки, не реализовал физический потенциал.
2. Спортсмен смог вылететь выше уровня планки, тем самым реализовав физический потенциал, но не соблюдал правильную технику движений.

Построение системы прогнозирования успешности прыжка с помощью дискриминантного анализа

Первое уравнение позволяет оценить, сможет ли спортсмен преодолеть планку или его высшая точка вылета будет ниже ее уровня.

Для построения уравнения проанализируем выборки успешного результата прыжка и неуспешного, когда *фактическая высота прыжка* была ниже уровня планки. При помощи статистических критериев (Стьюдента) [1] определены несколько кинематических характеристик прыжка, достоверно различающиеся в 1-й и 2-й выборках. На базе дискриминантного анализа строим уравнение по 10 отобранным параметрам:

$$F = 42.9571 \cdot X_1 - 3.84225 \cdot X_2 - 63.8024 \cdot X_3 - 0.493044 \cdot X_4 + \\ + 0.631297 \cdot X_5 - 0.423814 \cdot X_6 - 1.50128 \cdot X_7 - 0.168837 \cdot X_8 - \\ - 0.125142 \cdot X_9 - 1.64385 \cdot X_{10}, \quad (1)$$

где F – дискриминантная функция, граничное значение которой составляет 100.5; признаки X_1 до X_{10} по порядку: X_1 – уровень планки, м; X_2 – время полета 3-го от отталкивания шага разбега, сек; X_3 – расстояние от высшей точки вылета до плоскости планки, м; X_4 – угол в тазобедренном суставе в фазе амортизации отталкивания, град.; X_5 – угол наклона туловища к вертикали в момент отталкивания, град.; X_6 – угол между бедрами в момент постановки на отталкивание, град.; X_7 – угол постановки на отталкивание, град.; X_8 – угол в голеностопном суставе в фазе амортизации отталкивания, град.; X_9 – угол отталкивания, град.; X_{10} – угол наклона туловища к вертикали в фазе амортизации на предпоследней опоре, град.

Спортсмен сможет перепрыгнуть планку при F меньше граничного значения, иначе высшая точка его вылета будет ниже уровня планки. Ошибка дискриминантной функции составила 4,6%, однако из рис. 2 видно, что если ввести зону нечувствительности, то ошибку можно уменьшить.

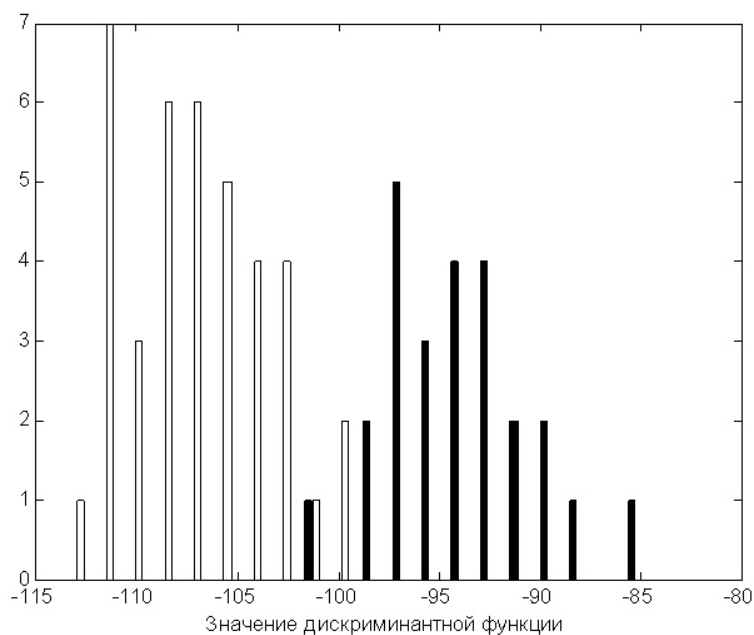


Рис. 2. Результат работы дискриминантной функции для прогнозирования результата успешного прыжка (светлые – перепрыгнул, темные – не перепрыгнул).

Второе уравнение позволяет оценить, собьет спортсмен планку или нет, вылетев выше ее уровня, и какие технические характеристики влияют на соблюдение техники прыжка.

Для построения уравнения проанализируем выборки успешного результата прыжка и неуспешного, когда *фактическая высота прыжка* была выше уровня планки. При помощи статистических критериев (Стьюдента) определены несколько кинематических характеристик прыжка, достоверно различающиеся в 1-й и 3-й выборках.

На основе дискриминантного анализа строим уравнение по 10 параметрам:

$$D = 9.63637 * X_1 + 0.378496 * X_2 + 32.2317 * X_3 + 52.8057 * X_4 + \\ + 0.0660899 * X_5 + 3.13446 * X_6 - 0.277109 * X_7 + 0.267018 * X_8 + \\ + 0.186023 * X_9 + 0.0259696 * X_{10}, \quad (2)$$

где D – дискриминантная функция, граничное значение которой составляет 97.36; признаки X1 до X10 по порядку:

X1 – фактическая высота прыжка (высшая точка вылета тела спортсмена), м;

X2 – угол наклона туловища к вертикали в момент отталкивания, град.;

X3 – время полета 3-го от отталкивания шага разбега, сек.;

X4 – время опоры последнего шага разбега, сек.;

X5 – расстояние от места отталкивания до проекции планки, см;

X6 – темп 3-го от отталкивания шага разбега;

X7 – длина 3-го отталкивания шага разбега, м;

X8 – угол в голеностопном суставе в фазе амортизации отталкивания, град.;

X9 – угол между бедрами в момент отталкивания, град.;

X10 – угол в плечевом суставе в фазе амортизации предпоследнего шага, град.

Спортсмен сможет подняться выше планки и не собьет ее при F меньше граничного значения, иначе он собьет планку. Ошибка дискриминантной функции составила 20,5% (рис. 3).

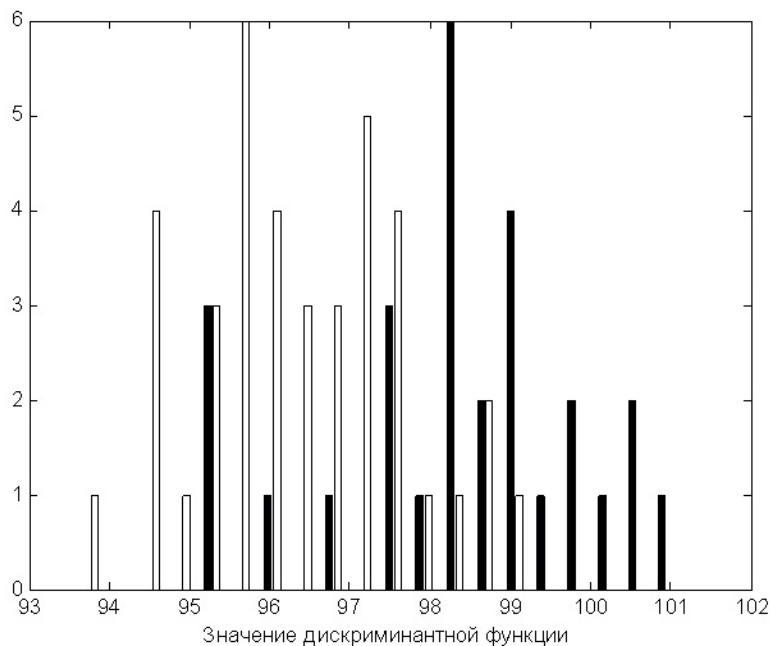


Рис. 3. Результат работы дискриминантной функции для прогнозирования успешного преодоления планки (светлые – перепрыгнул, темные – не перепрыгнул).

Построение системы прогнозирования успешности прыжка по каскадной нейро-нечеткой сети

Для альтернативного построения систем прогнозирования успешности прыжка и техничного преодоления планки использовалась каскадная нейро-нечеткая сеть в пакете «Medical Toolbox» [3]. Они имеют одинаковую структуру, показанную на рис.4. Входами систем служат признаки, определенные для моделей выше.

Система прогнозирования состоит из двух блоков: блока предобработки и блока нейро-нечеткого вывода. Блок предобработки реализуется в виде экспоненциальной функции для каждого входного сигнала и служит для обеспечения равнозначности преобразованных данных по диапазону и распределению. Блок предобработки обеспечивает принадлежность преобразованных данных единому диапазону $(-1, 1)$ с равномерным распределением. Блок нейро-нечеткого вывода (рис. 4) представляет собой сходящуюся древовидную структуру из четырех слоев с узлами (на первом слое пять узлов, на втором – два, на третьем – один и на четвертом – один). В каждом узле находится гибридная сеть с архитектурой ANFIS. Гибридные сети имеют однотипную структуру и различаются значениями коэффициентов, которые определяются при обучении сети в программе.

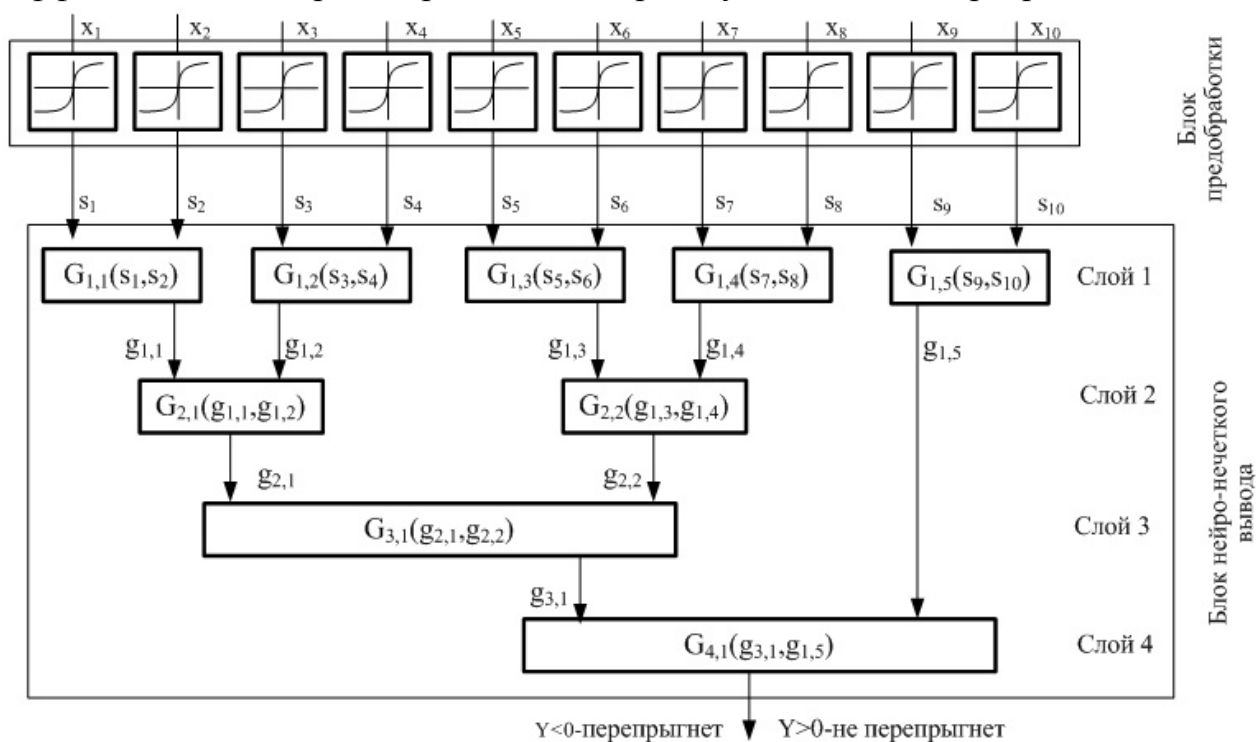


Рис. 4. Структура системы прогнозирования успешности прыжка на основе нейро-нечеткой сети.

По выходу блока нейро-нечеткого вывода оценивается результат работы каждой подсистемы. Для первой: спортсмен перепрыгнет планку, если меньше 0, иначе не сможет подняться выше уровня планки. Ошибка работы этой системы для обучающих и проверочных данных составила 0%.

Для второй: спортсмен поднимется выше уровня планки и перепрыгнет ее, если меньше 0, иначе сможет поднять центр массы выше планки, но собьет план-

ку. Ошибка работы этой системы для обучающих данных составила 3,6%, а для проверочных – 18,2%.

Работу систем можно графически представить в форме гистограмм (рис. 5), где темными столбцами обозначены неуспешные результаты, а белыми – успешные.

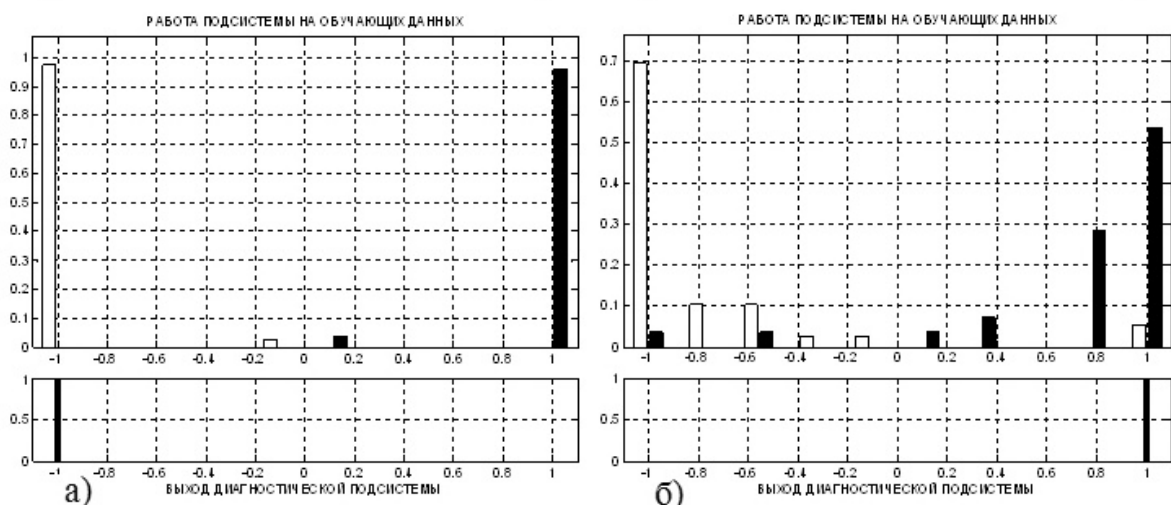
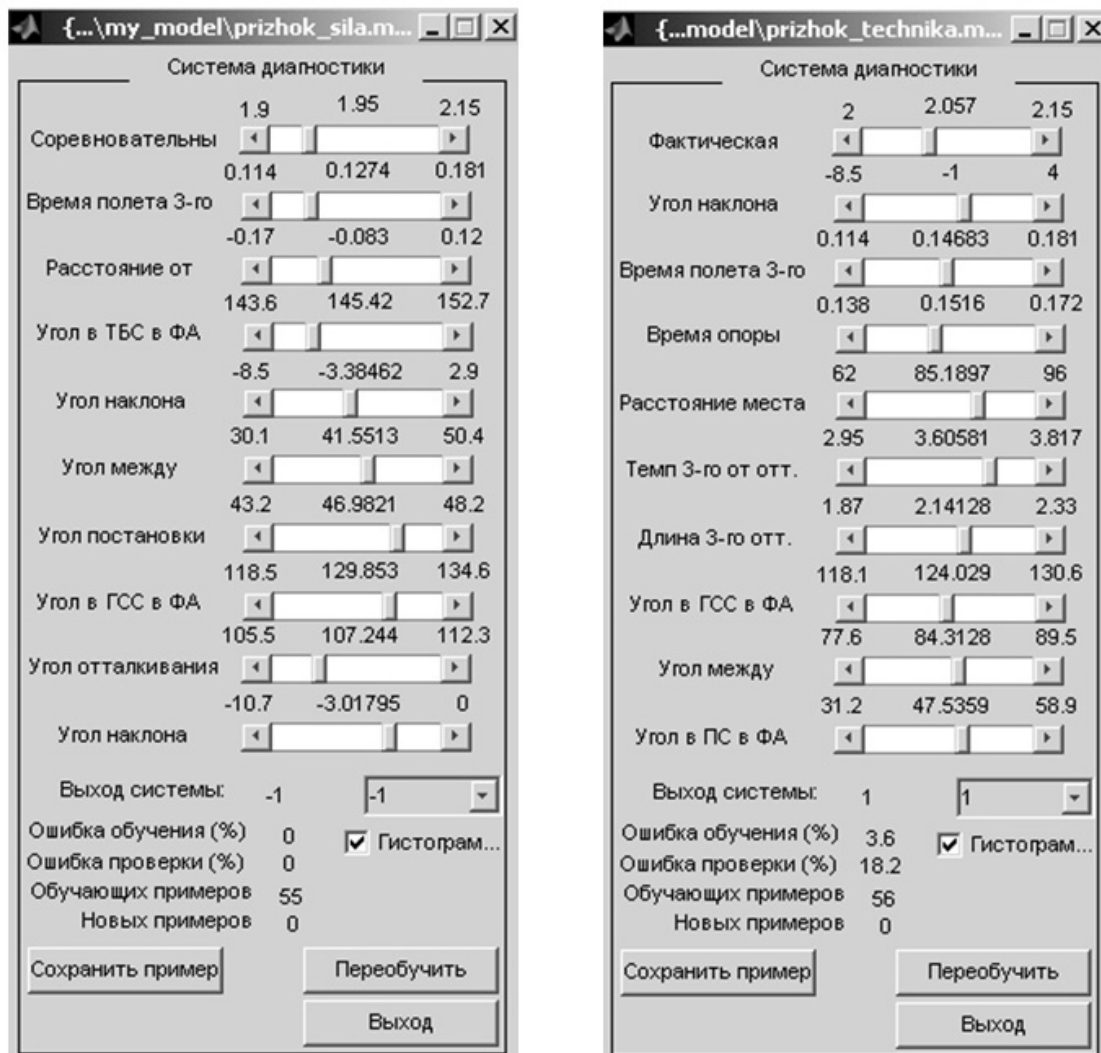


Рис.5. Экранная форма системы прогнозирования результата прыжка и ее графическая интерпретация относительно успешности прыжка на заданную высоту (а) и успешности преодоления планки при фактической высоте прыжка (б).

Заключение

Анализируя модели полученных систем, можно сделать ряд выводов. Основным достоинством первых двух систем является их простота, для их использования не нужно применять какие-либо вычислительные средства, однако и ошибка этих систем больше чем у двух других, построенных с использованием гибридных сетей с архитектурой ANFIS. Системы с нейро-нечеткой сетью требуют обязательного использования компьютерных средств со специальным программным обеспечением. При этом они дают ряд преимуществ: пользователь может сам переобучать систему при увеличении количества экспериментов; интерфейс программы позволяет не только прогнозировать, но и моделировать условия, при которых спортсмен совершит успешный прыжок, путем изменения входных данных.

У спортсмена и тренера появляется инструмент, позволяющий проанализировать технику и увидеть, какие параметры и как необходимо улучшать, чтобы получить положительный результат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы эпидемиологии и статистического анализа в общественном здоровье и управлении здравоохранением: Учебное пособие для ординаторов и аспирантов. – М.: Московская медицинская академия им. И.М.Сеченова, 2003, <http://www.publichealth.ru/docs/statistika.pdf>.
2. Горбань А.Н., Дунин-Барковский В.Л., Курдин А.Н. и др. Нейроинформатика. – Новосибирск: Наука, СО РАН, 1998.
3. Безруков Н.С., Еремин Е.Л., Ермакова Е.В., Колосов В.П., Перельман Ю.М. Автоматизированная система «Medical Toolbox» для диагностики бронхиальной астмы по показателям реоэнцефалографии // Информатика и системы управления. – 2006. – №1 (11). – С.73-80.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Е.Л. Ереминым.

E-mail:

Кривецкий Илья Юльевич – hijumper@mail.ru;

Попов Григорий Иванович – gpopovhome@rambler.ru;

Безруков Николай Сергеевич – bezrukow@mail.ru.

26-28 октября 2011 года в Санкт-Петербурге состоится
VII Санкт-Петербургская межрегиональная конференция
«Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2011)»

Направления конференции:

1. Государственная политика обеспечения информационной безопасности регионов России.
2. Правовые аспекты информационной безопасности.
3. Безопасные информационные технологии.
4. Современные средства защиты информации.
5. Информационная безопасность телекоммуникационных сетей.
6. Информационная безопасность в критических инфраструктурах.
7. Подготовка и переподготовка кадров в области обеспечения информационной безопасности.

Заявки на участие в конференции «ИБРР-2011» принимаются до 21 октября 2011 г.
Тел./факс: +7(812) 317-83-16. Моб.тел.: +7(931) 211-36-90. <http://spoisu.ru/conf/ibr2011>