

НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

к.т.н. С. М. Гладкин, д. т. н., проф. А. Г. Гузий (ВВИА им. Н.Е. Жуковского)

к. т. н., доцент В. В. Онуфриенко (Ставропольский ВАТИ)

Рассматривается возможность создания на корпоративном уровне интеллектуальной информационно-аналитической системы (ИИАС) управления безопасностью полетов на основе нейронных сетей (НС).

Продекларированная «проактивная» стратегия предотвращения авиационных происшествий требует априорного оценивания текущего и прогнозирования перспективного уровня безопасности полетов с целью управления им в сторону минимизации риска авиационного происшествия в предстоящих полетах. На современном этапе развития науки одним из путей создания ИИАС может быть применение многослойных НС, обучающихся на имеющихся и накапливаемых статистических данных. Область применения НС: решение задач автоматизации процессов, распознавания образов, адаптивное управление, аппроксимация функционалов, прогнозирование, экспертные системы, организация ассоциативной памяти и др.

Очевидная актуальность перехода от ретроактивной к проактивной стратегии предотвращения авиационных происшествий (АП) [1, 2] обуславливает необходимость проведения фундаментальных научных исследований, направленных на создание соответствующих методических, нормативных, аппаратных и организационных основ управления уровнем безопасности полетов (БП).

При отсутствии государственной комплексной Программы предотвращения АП, как организационно-методической основы деятельности всех участников-функционеров авиационно-транспортной системы (АТС) по обеспечению БП в ГА РФ, возникает необходимость разработки интеллектуальной информационно-аналитической системы (ИИАС) управления уровнем БП если не на отраслевом, то на межкорпоративном или (первоначально) на корпоративном уровне, в пределах отдельно взятой компании или группы компаний.

На этапе факторного анализа АП в целях формирования необходимого информационного поля целесообразно собрать в единый информационный поток все возможные факторы, в той или иной степени влияющие на БП. К ним можно отнести как факторы риска АП, так и факторы, предотвращающие (снижающие вероятность) АП.

Условно все факторы, влияющие на БП, можно классифицировать по их происхождению и объединить в четыре группы, содержащие однотипные явления, события, действия и процессы:

- факторы, связанные с состоянием авиационной техники;
- факторы, связанные с действиями обслуживающего персонала;
- факторы, связанные с действиями экипажей и групп руководства полетами (ГРП);
- факторы, связанные с внешними условиями и воздействиями.

Кроме того, для обеспечения автоматизированной обработки входного информационного потока необходимо внутри групп факторов провести классификацию явлений, событий, действий и процессов, влияющих на БП, выявить их взаимосвязи и оценить степень воздействия на БП по частоте проявления и тяжести последствий.

Синтез номенклатуры факторов и их совокупностей, а также разработка, расчет, оценка частных вероятностных показателей и значимости взаимосвязей (корреляций) могут быть выполнены на основании:

- расчетов вероятности опасных ситуаций (ОС), возникающих при отказах в функциональных системах (выполняется разработчиком при оценке соответствия самолета нормам летной годности [3] на этапе сертификации типа);
- результатов испытаний всех типов [2];
- анализов уровня летной годности при отказах функциональных систем по результатам эксплуатации за год и период (выполняется разработчиком, изготовителем и эксплуатирующей организацией);
- информации об АП и инцидентах, содержащейся в базе автоматизированной системы обеспечения БП воздушных судов ГА РФ, согласно введенной стандартной форме [4];
- результатов анализа материалов объективного контроля полетов;
- результатов моделирования полетов, в том числе моделирования, выполненного на ситуационных и комплексных тренажерах;
- информации, получаемой по системе добровольных сообщений;
- обработанных материалов экспертного анализа и рекомендаций экспертов (ученых, разработчиков, исследователей и практиков) [12, 13], результатов «априорной интервенции» [5].

Полученная совокупность конечного количества взаимосвязанных, предварительно количественно и качественно оцененных факторов и их сочетаний, подлежит включению в разработанную авторами логико-вероятностную модель развития ОС в полете [2].

На основании полученных данных о входных параметрах и частных показателях, отражающих их сущность, необходимо провести анализ, спрогнозировать вероятный сценарий развития событий и дать предложения по выработке управляющих воздействий, направленных на управление уровнем БП («риском АП»).

Решения, принятые в условиях неопределенности и «риска» являются прогнозными. Это объективное свойство может порождать неопределенность в оценке степени воздействия «риска», поставляемого тем или иным входным параметром. Неопределенность связана с тем, что за период с момента получения информации до момента исполнения управляющего воздействия могут происходить:

- старение информации, на основании которой принималось решение;
- изменение функций, структуры, параметров объекта прогнозирования;
- изменение функций, структуры, параметров внешней среды.

Кроме того, методическая составляющая неопределенности закладывается неадекватностью модели развития ОС. Неадекватность обусловлена, в первую очередь, конечным количеством (неполным множеством) факторов и их сочетаний в сформированной на момент прогнозирования совокупности, которая подлежит расширению по мере накопления (уточнения) знаний.

Для уменьшения элемента риска при выборе решения в условиях неопределенности предлагается использовать ИИАС, блок схема которой состоит из 4 основных уровней, представленных на рис. 1.

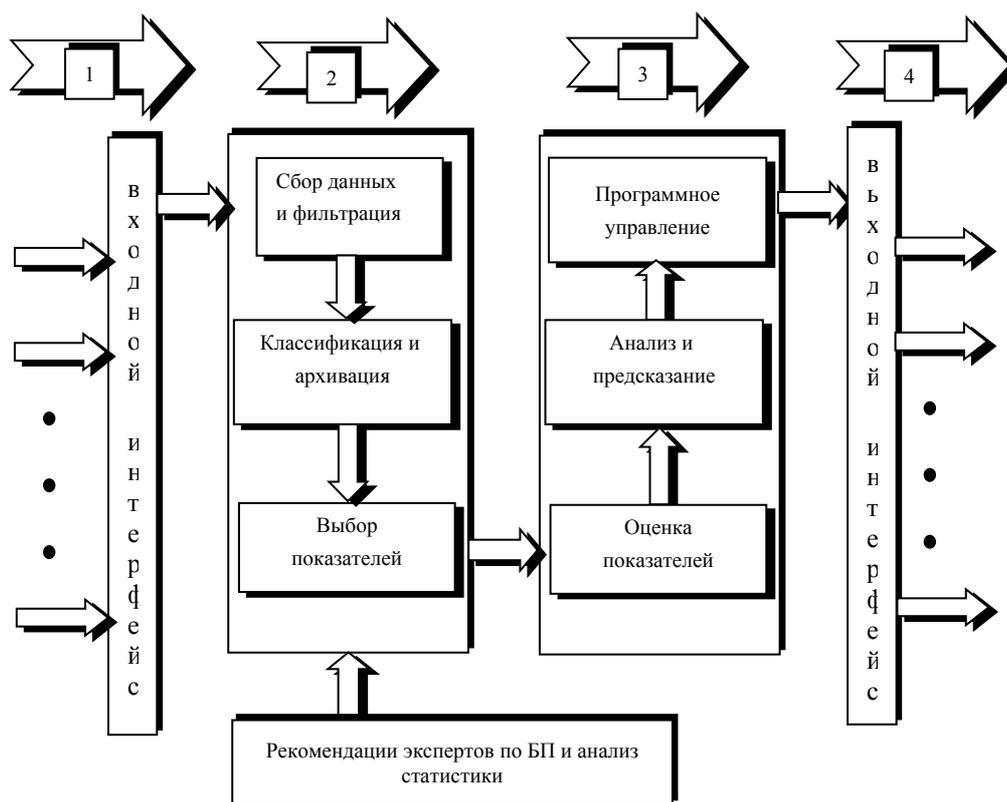


Рис. 1. Блок схема ИИАС. 1 – ввод данных; 2 – предварительная обработка; 3 – анализ, предсказание и управление; 4 – распределение управления

Ввод данных в ИИАС может осуществляться через общую информационную сеть службы БП от автоматизированных систем анализа и обработки информации, используемых для повышения уровня БП, к которым можно отнести:

- бортовые автоматизированные системы регистрации и контроля («Тестер», «МСРП», «Экран», «Карат-Б» и др.);
- наземные автоматизированные системы обработки полетной информации («ЛУЧ», «Топаз», «Дозор», «Карат-Н» и др.);
- наземные автоматизированные системы сбора и обработки информации («Программный комплекс Надежность-АТ» и др.).

На этапе предварительной обработки потока информации, классификации явлений, событий, действий и процессов по факторам, влияющим на БП, необходимо определить «риски», которые вносят те или иные исходные данные. Для этой цели можно использовать методы математической статистики, однако эти методы хорошо работают при большом объеме данных. В нашем случае для многих явлений, событий, действий и процессов по факторам, влияющим на БП, зачастую нет необходимого количества данных.

В такой ситуации статистические методы не могут гарантировать успешный результат.

Другим путем решения этой задачи может быть применение нейронных сетей (НС), которые можно обучить на имеющемся наборе данных.

Актуальность исследований в этом направлении подтверждается эффективным применением НС при решении задач автоматизации процессов, распознавания образов, адаптивном управлении, аппроксимации функционалов, прогнозировании, создании экспертных систем, организации ассоциативной памяти и др. [6].

Структура НС в какой-то мере повторяет структуру нейронных сетей живой природы, для которых всегда существуют ограничения на размерности рецепторных

полей и на связи между нейронами. В работе [7] показано что вопросы структурной организации НС следует рассматривать на двух уровнях:

- структурной модели НС;
- топологической реализации НС.

Если уровень структурной модели определяет общие свойства НС по размерностям рецепторных полей и структуре межслойных связей, то уровень топологии определяет конкретную аппаратную или программную реализацию нейронной сети. Оба эти уровня рассмотрения неразрывно связаны между собой.

Основу каждой НС составляют относительно простые, в большинстве случаев – однотипные, элементы (ячейки), имитирующие работу нейронов мозга. Далее под нейроном будет подразумеваться искусственный нейрон, т.е. ячейка НС. Каждый нейрон характеризуется своим текущим состоянием по аналогии с нервными клетками головного мозга, которые могут быть возбуждены или заторможены. Он обладает группой синапсов – однонаправленных входных связей, соединенных с выходами других нейронов, а также имеет аксон – выходную связь данного нейрона, с которой сигнал (возбуждения или торможения) поступает на синапсы следующих нейронов. Общий вид нейрона приведен на рис. 2. Каждый синапс характеризуется величиной синаптической связи или ее весом w_i , который по физическому смыслу эквивалентен электрической проводимости.

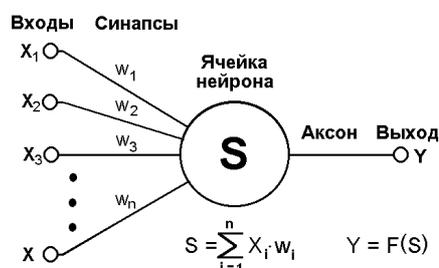


Рис. 2. Искусственный нейрон

Текущее состояние нейрона определяется, как взвешенная сумма его входов:

$$s = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i . \quad (1)$$

Выход нейрона есть функция его состояния:

$$y = f(s) . \quad (2)$$

Эффективность НС определяется принципом параллельной обработки сигналов, который достигается путем объединения большого числа нейронов в так называемые слои и соединения (определенным образом) нейронов различных слоев, а также, в некоторых конфигурациях. Обработка взаимодействия всех нейронов ведется послойно. Таким образом, возможности сети возрастают с увеличением числа ячеек сети, плотности связей между ними и числом выделенных слоев [8, 9].

Выбор структуры НС осуществляется в соответствии с особенностями и сложностью решаемой задачи. В нашем случае это задача обработки потока информации о явлениях, событиях, действиях и процессах, влияющих на уровень БП с классификацией факторов, с выработкой частных показателей, определяющих их значимость для дальнейшего анализа и синтеза управляющих воздействий, снижающих уровень «риска».

Для решения поставленной задачи предлагается использовать НС, имеющую структуру, показанную на рис. 3.

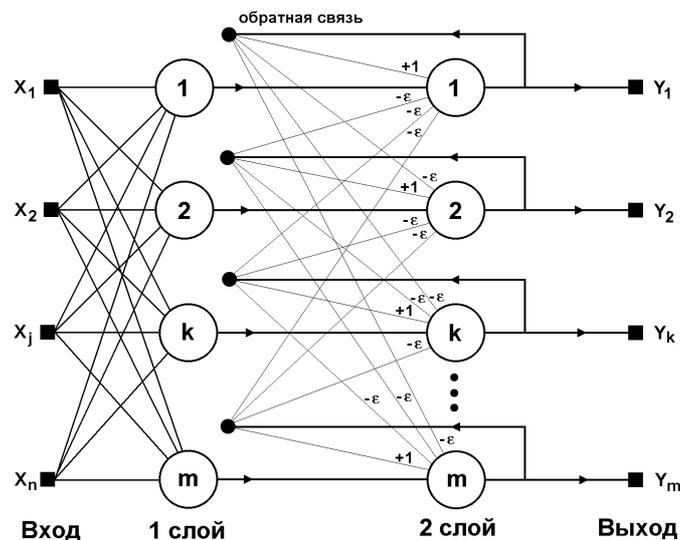


Рис. 3. Структура НС ИИАС

Сеть состоит из двух слоев. Первый и второй слои имеют по m нейронов, где m – число образцов, определяемых совокупностью возможных «рисков».

Нейроны первого слоя имеют по n синапсов, соединенных с входами сети. На вход сети подается неизвестный вектор $X = \{x_i; i=0..n-1\}$, размерность которого определяется потоком информации о явлениях, событиях, действиях и процессах, влияющих на БП.

Нейроны второго слоя связаны между собой ингибиторными (отрицательными обратными) синаптическими связями. Единственный синапс с положительной обратной связью для каждого нейрона соединен с его же аксоном.

Идея работы сети состоит в нахождении расстояния Хэмминга от тестируемого образа до всех образцов. Расстоянием Хэмминга называется число отличающихся битов в двух бинарных векторах. Сеть должна выбрать образец с минимальным расстоянием Хэмминга до неизвестного входного сигнала, в результате чего будет активизирован только один выход сети, соответствующий этому образцу [11]. Другими словами НС по входному вектору X выберет (спрогнозирует) уровни «риска» и даст предложения по выработке управляющих воздействий в виде выходного вектора $Y = \{y_i; i=0, \dots, n-1\}$, направленных на управление уровнем БП («риском АП»).

Алгоритм работы НС можно описать в виде следующей последовательности действий [6, 8]:

1. На основании вектора X , рекомендаций экспертов по БП и статистической информации выбираются весовые коэффициенты синаптической связи первого слоя w_i :

$$w_{ik} = \frac{x_i^k}{2}, \quad i=0..n-1, \quad k=0..m-1. \quad (3)$$

Здесь x_i^k – i -ый элемент k -ого образа.

Активационная функция имеет вид порога (рис. 4).

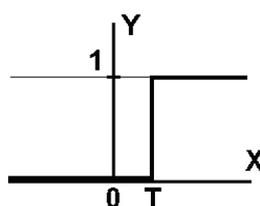


Рис. 4. Активационная функция

Из рисунка функции единичного скачка видно, что пороговое значение T , в общем случае, может принимать произвольное значение. Более того, оно должно принимать некое произвольное, неизвестное заранее значение, которое подбирается на стадии обучения вместе с весовыми коэффициентами.

$$T_k = n / 2, k = 0 \dots m-1. \quad (4)$$

Данный этап можно назвать обучением НС и от того, насколько качественно он будет выполнен, зависит способность сети решать поставленные перед ней проблемы во время эксплуатации.

Обучение НС может вестись с учителем или без него. В первом случае сети предъявляются значения как входных, так и желательных выходных сигналов, и она по некоторому внутреннему алгоритму подстраивает веса своих синаптических связей. Во втором случае выходы НС формируются самостоятельно, а веса изменяются по алгоритму, учитывающему только входные и производные от них сигналы.

2. Исходя из вектора X и весовых коэффициентов синаптической связи w_i , рассчитываются состояния нейронов первого слоя (5), которые характеризуют частные показатели факторов, влияющих на безопасность полетов.

$$y_j^{(1)} = s_j^{(1)} = \sum_{i=0}^{n-1} w_{ij} x_i + T_j, j=0 \dots m-1, \quad (5)$$

3. После этого полученными значениями инициализируются значения аксонов второго слоя:

$$y_j^{(2)} = y_j^{(1)}, j = 0 \dots m-1 \quad (6)$$

и вычисляются новые состояния нейронов второго слоя:

$$s_j^{(2)}(p+1) = y_j(p) - \varepsilon \sum_{k=0}^{m-1} y_k^{(2)}(p), k \neq j, j = 0 \dots m-1 \quad (7)$$

и значения их аксонов:

$$y_j^{(2)}(p+1) = f[s_j^{(2)}(p+1)], j = 0 \dots m-1. \quad (8)$$

Таким образом, применение НС в интеллектуальной информационно-аналитической системе управления уровнем БП («риском АП») позволяет эффективно разрешить задачу синтеза (прогнозирования, воссоздания) «рисков АП» (условий, влияющих на БП) и вырабатывать вектор управляющих сигналов сети: $Y = \{y_i: i=0, \dots, n-1\}$ по неполной и искаженной информации о явлениях, событиях, действиях и процессах, влияющих на БП.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 06-08-01518-а.

Литература

1. Михалик Н. Ф., Джафарзаде Р. М., Малишевский А. В. Проблема эксплуатации воздушных судов в экстремальных условиях. Постановка задачи./ Труды общества исследователей авиационных происшествий (Вып.16). – М.: Полиграф, 2004, с. 182 - 198.
2. Гузий А. Г., Онуфриенко В. В. Методология активного управления уровнем безопасности предстоящих полетов в авиакомпании./ Труды общества исследователей авиационных происшествий (Вып. 17). – М., 2005, с. 52 - 62.
3. Единые нормы летной годности гражданских транспортных самолетов (НЛГС-3). – М. 1985.
4. Руководство по информационному обеспечению автоматизированной системы обеспечения безопасности полетов воздушных судов гражданской авиации Российской Федерации (АСОБП). – М.: Аэронавигационное консалтинговое агентство, 2002.
5. J. McCarthy. Моделирование риска с помощью системы оценки полетного эксплуатационного риска (FORAS)./ Обзор итогов работы 52-го совместного семинара

- по безопасности полетов Всемирного фонда безопасности (FSF), Международной федерации летной годности (IFA) и Международной ассоциации воздушного транспорта (IATA). (Бразилия, Рио де Жанейро 8-11 ноября 1999г.). – М.: Некоммерческое партнерство «Безопасность полетов», 2000.
6. *Ф. Уоссермен*. Нейрокомпьютерная техника. – М.: Мир, 1992.
 7. Итоги науки и техники: физические и математические модели нейронных сетей. Том 1. – М.: Издательство ВИНТИ, 1990.
 8. Artificial Neural Networks: Concepts and Theory, IEEE Computer Society Press. 1992.
 9. *Дорогов А. Ю., Алексеев А. А.* Структурные модели быстрых нейронных сетей. В сб. «Интеллектуальные системы» /Труды II-го Международного симпозиума./ Под ред. Пупкова К.А. Том 2. – М.: Издательство ПАИМС. 1996, с. 138 - 143.
 10. *Козлов В. В.* Классификация причин авиационных происшествий и инцидентов – эффективное средство повышения безопасности полетов./ Труды общества независимых расследователей авиационных происшествий (Выпуск 12а). – М.: Полиграф, 2001.
 11. *Романов В. П.* Интеллектуальные информационные системы в экономике: Учебное пособие / Под ред. Тихомирова Н.П. – М.: «Экзамен», 2003.
 12. *Гузий А. Г., Чуйко А. А.* Методологический подход к экспертному прогнозированию уровня безопасности полетов. // Проблемы безопасности полетов / Информационный сб. ВИНТИ, М., - 2006.- № 10.
 13. *Гузий А. Г., Симак А. А.* Апостериорная оценка точности и надежности индивидуального и группового экспертного прогнозирования количества авиационных событий в авиакомпании. // Проблемы безопасности полетов / ВИНТИ, М., - 2007.- № 8.