

УДК 681.322:629.7

Е.С. ЯШИНА, А.А. БАШКИРЦЕВА

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Данная работа посвящена прогнозированию технико-экономических параметров проектов авиационной техники по данным о технических характеристиках проектируемых летательных аппаратов (ЛА). С использованием аппарата искусственных нейронных сетей построена модель, связывающая технические и технико-экономические параметры ЛА. Проведены расчеты стоимости и эффективности самолетов. Проанализированы перспективы использования ассоциативных нейронных сетей для прогнозирования характеристик сложных технических объектов.

**проект, технико-экономический анализ, прогнозирование, стоимость, эффективность, искусственные нейронные сети**

### Введение

Современные проекты и программы в области авиастроения характеризуются высокой стоимостью и высоким риском, обусловленным острой конкуренцией на рынке авиационной техники. Поэтому при разработке новых летательных аппаратов (ЛА) на самых ранних этапах проектирования проводится тщательный технико-экономический анализа проекта. При этом большое значение приобретает прогнозирование перспективных технико-экономических показателей (ТЭП) проекта.

Требования к тактико-техническим характеристикам (ТТХ) оказывают существенное влияние на ТЭП проекта. Кроме того, некоторые ТТХ оказывают влияние друг на друга. Существующие методы прогнозирования не в полной мере учитывают это влияние, что может приводить к существенным погрешностям в оценках ТЭП. Поэтому актуальной является задача разработки моделей и методов прогнозирования, наиболее полно учитывающих взаимосвязь между ТТХ и ТЭП проекта. Поскольку точных математических моделей такой взаимосвязи нет, данная задача относится к слабо формализованым и её целесообразно решать с применением методов искусственного интеллекта, в частности, искусственных нейронных сетей.

### 1. Постановка задачи

На начальных этапах проектирования самолёта требуется решить задачу выбора его летно-технических характеристик. При этом производится комплексный технико-экономический анализ по критерию «стоимость – эффективность». В результате формулируются требования к ЛА, выполнение которых гарантирует высокую эффективность ЛА при приемлемых затратах на его проектирование и производство [1, 2]. При этом должны применяться методы прогнозирования, позволяющие оценить стоимость и эффективность ЛА по неполным и неточным исходным данным, имеющимся на начальных этапах разработки. Как правило, для этого применяют приближённые методы оценивания, учитывающие лишь наиболее важные факторы.

Для приближённой оценки стоимости ЛА обычно используют соотношения между наиболее важными характеристиками. Чаще всего стоимость ЛА относят к их весу или мощности силовой установки. Для расчета стоимости аппаратов, выпускаемых крупными сериями, используется следующее выражение [2]:

$$C = 1000 G_{\text{нуст}} + 1200 P N^{0,33}, \quad (1)$$

где  $C$  – средняя стоимость аппарата (в долларах США по курсу 1974 года) из партии в количестве

$N$  экземпляров;  $G_{пуст}$  – вес пустого аппарата (без топлива и перевозимой или боевой нагрузки), тс;  $P$  – мощность силовой установки, л.с.

Стоимость аппаратов с высокой энергооборуженностью, выпускаемых малыми сериями, прямо пропорциональна мощности силовой установки. Для её оценки используется следующее выражение:

$$C = 1200 P N^{0,33}. \quad (2)$$

Приведенные выражения не учитывают многих факторов и могут применяться только для приближенных оценок. Отклонения стоимости отдельных образцов военной техники от расчетных данных могут достигать до 100% [2]. Таким образом, рассмотренная зависимость стоимости ЛА от одной или двух наиболее важных характеристик не является достаточной. Для получения более точных оценок необходимо учесть влияние множества ТТХ ЛА.

Выбрать характеристики так, чтобы можно было наиболее точно выполнить прогнозирование, довольно сложно. Как указано в [3, 4], наибольшее влияние на стоимость и эффективность ЛА оказывают такие характеристики как угловая скорость установившегося виража, дальность обнаружения цели радаром, максимальная дальность ракетного вооружения, практическая дальность полета без подвесного топливного бака (ПТБ), тяговооруженность, потребная длина взлетно-посадочной полосы (ВПП), угол целеуказания головки целенавещения (ГЦН) ракет, вероятность попадания в цель.

Таким образом, постановка задачи прогнозирования может быть сформулирована следующим образом. Пусть задан (определён в ТЗ на проектирование) вектор ТТХ системы  $\vec{X} = (X_1, \dots, X_n)$ . Требуется оценить значения ТЭП  $\vec{Y} = (Y_1, \dots, Y_m)$ . При этом следует учитывать, что характер влияния отдельных компонент вектора ТТХ на оцениваемые ТЭП может быть различным и для некоторых характеристик заранее не известен. Будем предполагать, что имеется информация об изделиях-аналогах.

## 2. Выбор метода прогнозирования

В настоящее время насчитывается более ста различных методов научно-технического прогнозирования. Каждый из методов имеет свои особенности в зависимости от цели его использования и уровня проводимых исследований [5].

Большинство традиционных методов прогнозирования основаны на экстраполяции временных тенденций с использованием достаточно простых зависимостей (линейной, полиномиальной, экспоненциальной и других). Применение такого подхода в данном случае приводит к существенному искажению результатов, так как влияние разных факторов на стоимость ЛА носит различный характер и не может быть описано одними и теми же зависимостями. Кроме того, многие факторы оказывают влияние друг на друга. Это влияние носит существенно нелинейный характер и не может быть описано традиционными методами регрессионного и корреляционного анализа.

Обзор существующих методов показал, что наиболее широкими возможностями обладает прогнозирование с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС). Этот аппарат позволяет решать слабо формализованные задачи с учетом множества факторов. Преимущества данного метода обусловлены наличием в структуре сети нелинейных элементов и очень большого количества связей, благодаря чему ИНС способна достаточно точно аппроксимировать самые разные виды зависимостей. Кроме того, в процессе обучения осуществляется весьма гибкая настройка сети, что позволяет успешно использовать ИНС даже в тех случаях, когда отсутствует строгая математическая модель, описывающая зависимость между исследуемыми характеристиками [6]. Это особенно важно для рассматриваемой задачи, так как построить точную математическую модель влияния каждой из ТТХ на ТЭП очень сложно.

### 3. Построение модели

С использованием аппарата ИНС решена задача прогнозирования характеристик ЛА на примере самолётов военного назначения. Для прогнозирования используется ИНС, полученная путём сопряжения двух многослойных сетей прямого распространения (рис. 1).

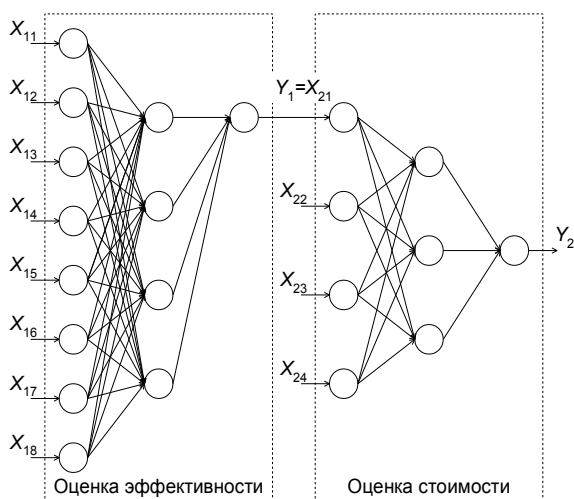


Рис. 1. Структура нейронной сети

Первая сеть используется для оценки эффективности. Входной слой включает восемь элементов:  $X_{11}$  – угловая скорость;  $X_{12}$  – дальность обнаружения цели;  $X_{13}$  – максимальная дальность вооружения;  $X_{14}$  – практическая дальность полета;  $X_{15}$  – тяговооруженность;  $X_{16}$  – потребная длина взлетно-посадочной полосы;  $X_{17}$  – угол целеуказания головки наведения ракет;  $X_{18}$  – вероятность попадания в цель. Скрытый слой состоит из четырех элементов. Выходной слой имеет один элемент – эффективность  $Y_1$ .

Вторая сеть используется для оценки стоимости ЛА. Ее входной слой состоит из четырех элементов:  $X_{21}$  – эффективность;  $X_{22}$  – масса пустого ЛА;  $X_{23}$  – показатель совершенства бортового оборудования;  $X_{24}$  – тяговооруженность. Входным значением эффективности является выход первой сети  $X_{21}=Y_1$ . Скрытый слой состоит из трех элементов. Выходной слой состоит из одного элемента, который дает оценку стоимости самолета  $Y_2$ .

В качестве функции активности всех узлов сети (кроме входных) использовалась логистическая функция

$$f(net_j) = \frac{1}{1 + e^{-net_j}}, \quad (3)$$

где  $net_j$  – входной сигнал  $j$ -го элемента.

Полученная сеть обучается по методу обратного распространения ошибки [6]. При формировании обучающей выборки используются данные об изделиях-аналогах.

### 4. Результаты расчётов

Данная модель была реализована программно. С использованием разработанного программного обеспечения была проведена оценка характеристик самолетов. Для прогнозирования использованы ретроспективные данные о характеристиках истребителей, опубликованные в открытой печати [7]. В табл. 1 приведены результаты прогнозирования и данные о действительном значении оцениваемых величин.

Таблица 1  
Сравнение результатов

Характеристика	Прогноз	Действительное значение	Отклонение
Эффективность	0,65	0,75	0,10
Стоимость, млн. грн.	0,33	0,35	0,02

Сравнение результатов прогнозирования с действительными значениями показало, что расхождение не превышает 10%. Достаточно хорошее согласование между результатами расчётов и реальными данными говорит о целесообразности использования ИНС при прогнозировании характеристик сложных технических объектов.

Особо следует отметить, что при построении модели нам не пришлось делать никаких предположений относительно математической формы зависимости между ТТХ и ТЭП. В ходе обучения настройка на нужный вид зависимости происходит автоматически.

## 5. Перспективы дальнейших исследований

Несмотря на большие преимущества, предоставляемые аппаратом искусственных нейронных сетей, их использование связано с рядом проблем. Наибольшую сложность представляет собой формирование обучающей выборки. ЛА представляют собой уникальные технические объекты и наличие большого количества близких аналогов для них маловероятно. А увеличение объёма обучающей выборки за счёт недостаточно близких аналогов приводит к существенным искажениям. При использовании в качестве аналогов ЛА иностранного производства ситуация осложняется тем, что в разных странах могут применяться разные методы оценки технических характеристик, а по некоторым характеристикам информация может отсутствовать.

Таким образом, задача прогнозирования характеристик объектов авиационной техники часто выполняется в условиях неполных или искажённых исходных данных. Обычные сети прямого распространения в таких условиях не очень эффективны. В то же время известно, что ассоциативные ИНС типа сети Хопфилда и сети Хэмминга способны корректно работать даже в условиях неполной, искажённой и неточной информации. Кроме того, ассоциативные сети могут применяться для выполнения кластеризации, что позволит улучшить качество обучающей выборки, исключив из неё объекты, не являющиеся аналогами исследуемого [6].

Таким образом, использование ассоциативных ИНС позволит расширить возможности методов прогнозирования характеристик уникальных технических объектов.

## Заключение

В данной работе исследована зависимость между техническими характеристиками и технико-эконо-

мическими параметрами ЛА. Проведен анализ методов прогнозирования ТЭП ЛА. Построена математическая модель влияния ТТХ на ТЭП ЛА в форме многослойной ИНС прямого распространения. Проведены расчеты стоимости и эффективности самолетов. Результаты расчётов подтверждают целесообразность применения ИНС для прогнозирования характеристик объектов авиационной техники. Проанализированы перспективы использования ассоциативных ИНС для прогнозирования характеристик сложных технических объектов.

Построенная модель может применяться на ранних этапах проектирования ЛА при выполнении технико-экономического анализа проекта.

## Литература

1. Ильичёв А.В. Эффективность проектируемой техники: Основы анализа. – М.: Машиностроение, 1991. – 336 с.
2. Гличев А.В. Экономическая эффективность технических систем. – М.: Экономика, 1971 – 140 с.
3. Анцелиович Л.Н. Надёжность, безопасность и живучесть самолёта. – М.: Машиностроение, 1985. – 296 с.
4. Базазянц С.И., Меднов А.Н. Боевая живучесть летательных аппаратов. – М.: Воениздат, 1983. – 248 с.
5. Пшеничная Л.Э., Рылова Т.Н., Шрамко Л.М. Принципы и методика научно-технического прогнозирования. – К.: Эконом. институт, 1977. – 93 с.
6. Роберт Калан. Основные концепции нейронных сетей. – М.: Вильямс, 2001. – 288 с.
7. Современная военная авиация. – Смоленск: Русич, 2000. – 128 с.

*Поступила в редакцию 14.04.2004*

**Рецензент:** канд. техн. наук И.В. Калужин, Межотраслевой научно-исследовательский институт проблем физического моделирования режимов полёта самолётов, Харьков.