

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Цейтлиной Татьяны Олеговны «Метод долгосрочного прогнозирования развития сети внутрироссийских магистральных авиалиний на основе технологий нечеткого моделирования и нейросетевого программирования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)» в диссертационный совет Д 212.125.12 при МАИ и выполненную в ФГУП «ЦАГИ».

Прогнозирование развития сети авиалиний представляет собой одну из **актуальных** задач в области исследования и формирования авиатранспортной системы страны. Результаты решения данной задачи необходимы, с одной стороны, для формирования стратегии развития наземной инфраструктуры авиатранспортной системы, а с другой – для обоснованного формирования типажа парка воздушных судов (ВС) для этой системы, а также для оценки эффективности новых технологий, предлагаемых для обеспечения конкурентоспособности образцов авиационной техники. Для решения этой проблемы необходимы модели, позволяющие сформировать сценарии развития пассажирских авиаперевозок, спрогнозировать интенсивность движения самолетов различных классов на сети авиалиний, причем делать это с учетом динамики развития сети. Основным элементом данной проблемы является прогнозирование пассажиропотоков, которое можно разделить на два этапа. На первом этапе формируется прогноз развития сети авиалиний, а на втором – решается задача распределения прогнозного спроса на пассажирские авиаперевозки по авиалиниям сформированной сети. Представленная диссертационная работа посвящена первой части указанной проблемы, а именно, в ней решается вопрос о существовании или отсутствии авиалиний. Решение ее осуществляется сочетанием эмпирических методов и современных вычислительных технологий (сложные сети, нейросетевая обработка данных, нечеткое моделирование), что обеспечивает возможность работать с моделями, обладающими размерностью, характерной для практических задач из рассматриваемой области.

При этом **целью** работы Т.О. Цейтлиной является повышение качества и обоснованности прогнозирования развития пассажирских авиаперевозок. Достижение этой цели осуществляется путем постановки и решения следующих задач: проанализировать принципы формирования существующей сети внутрироссийских магистральных авиалиний; выявить переменные, которые определяют наличие или отсутствие прямого авиасообщения между двумя городами/аэропортами; построить модель условий существования прямого авиасообщения между городами/аэропортами рассматриваемой сети; проанализировать полученную модель и найти границы ее применимости; получить прогноз развития сети внутрироссийских магистральных авиалиний, основываясь на данных социально-экономических и демографических прогнозов развития страны.

Решение перечисленных выше задач осуществлено с привлечением **методов** системного анализа, теории сложных сетей, нечеткой логики, нейросетевого моделирования, нечеткого моделирования и компьютерного моделирования.





## Содержание диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка использованной литературы и трех приложений. Общий объем диссертации – 164 страницы, в том числе 133 страницы основного текста и 31 страница в приложениях, список литературы содержит 81 источник.

**Во введении** дается обоснование актуальности исследования, формулируются цели и задачи диссертации, описана структура работы, перечислены новые результаты, полученные в диссертации.

**Первая глава** посвящена анализу развития сети магистральных авиалиний России в период с 1992 г. по 2008 г. Этот анализ позволил выявить принципы построения и развития авиатранспортной сети РФ и показать, что она по своей структуре и свойствам близка к безмасштабной (scale-free) сети, представляющей собой один из видов сложных сетей, теория и практика применения которых быстро развиваются в последние годы. Такого рода отождествление дало возможность привлечь к решению задачи анализа динамики развития авиатранспортной сети аппарат теории сложных сетей. На основе такого анализа проведена классификация авиалиний и определены этапы их развития. Рассмотрена сеть авиалиний, связывающих 123 города, аэропорты которых участвуют в магистральных авиаперевозках. Полученные данные позволяют получить прогноз развития сети на 10–15 лет при условии сохранения сложившейся политической и экономической ситуации в стране.

**Во второй главе** решается задача прогнозирования развития сети внутрироссийских магистральных авиалиний. Решение данной задачи призвано дать ответ на вопрос о будущем составе сети, т.е. определить те пары городов, которые будут связаны прямым авиационным сообщением в прогнозируемый период времени. В основе реализованного подхода лежит гипотеза о том, что существуют некоторые, не зависящие явным образом от времени и конкретной пары городов, правила существования/отсутствия авиалинии между двумя городами, определяемые значениями ограниченного числа наблюдаемых (измеряемых) переменных (генерационные возможности города, целевой потенциал города, возможности транспортной инфраструктуры пары городов). Эти правила в работе получили наименование «условия существования авиалинии» (УСА). Если в будущем значения наблюдаемых переменных меняются, то, соответственно, изменяются и условия существования авиалиний, что, в свою очередь, ведет к изменению структуры авиатранспортной сети. Решение данной задачи осуществляется путем формирования информационной модели типа «черный ящик» для УСА на основе доступных статистических данных о расписаниях полетов ВС, а также о значениях соответствующих наблюдаемых переменных для соответствующих пар городов. Выходом модели УСА является лингвистическая переменная, принимающая нечеткие значения. Такой подход дает возможность получать модели УСА с учетом неопределенностей, имеющих в условиях задачи, в частности, при нечеткости или неточности значений измеряемых переменных. Реализация данного подхода осуществлена в рамках адаптивной системы нейро-нечеткого вывода (ANFIS).

**Третья глава** посвящена разработке нечеткой нейросетевой модели условий существования авиалинии. Процесс разработки включает в себя такие этапы, как формирование обучающей выборки, формирование структуры нейронной сети (НС), обучение НС, анализ точности и адекватности полученной модели. Обобщающие свойства НС, т.е. способность давать ответы с приемлемым уровнем точности для любых допустимых входов, зависят от ее архитектуры и определяются размером обучающей выборки и ее информативностью (репрезентативностью). Исходное множество обучающих данных в решаемой задаче состоит из 6963 элементов. Для формирования обучающей выборки и ее оценки в работе используется одна из популярных нейросетевых моделей – самоорганизующаяся карта Кохонена (SOM – Self-



Organizing Map), которая позволила получить выборку из сравнительно небольшого числа элементов (564 из 6963). Остальные элементы исходного набора были разделены между тестовой (3222) и проверочной (3177) выборками. Модель УСА реализована в работе с помощью нечеткой нейронной продукционной сети типа ANFIS (сеть Такаги-Сугэно-Канга). Правила продукционной системы имеют вид ЕСЛИ *предпосылка* ТО *заключение*, где предпосылка является нечетким высказыванием, а заключение – четким значением, заданным функцией. При анализе результатов моделирования было выявлено наличие зоны нечувствительности модели УСА, представляющей собой диапазон значений выходной переменной, при которых авиалиния моделируется неоднозначно. Модель УСА обладает высокой прогностической ценностью, показанная ею точность моделирования составила 88%. Она достаточно корректно выявляет как существующие авиалинии (85%), так и несуществующие (92%).

**В четвертой главе** формируется прогноз развития сети внутрироссийских магистральных авиалиний, который опирается на данные прогнозов более высокого уровня – макроэкономических, социально-экономических, демографических. В соответствии с Концепцией долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года рассматриваются три основных сценария долгосрочного социально-экономического развития страны: инерционный, энерго-сырьевой и инновационный. Согласно этим сценариям, в работе сформированы три варианта развития коммуникационного ядра сети внутрироссийских магистральных авиалиний к 2020 г. Полученные данные показывают ожидаемый значительный рост количества авиалиний для всех трех вариантов, но в целом структура анализируемой сети не претерпит существенных изменений. В ней будет по-прежнему доминировать ядро сильносвязанных концентраторов авиалиний – городов, которые являются крупными административными или курортными центрами.

**В приложениях** приводятся справочные данные, использовавшиеся в качестве исходных при формировании модели и в компьютерных экспериментах: список аэропортов РФ, значения используемых параметров для рассматриваемых городов РФ, определение значений параметра «численность населения».

### **Общая оценка диссертационной работы**

Диссертационная работа Т.О. Цейтлиной является **целостным исследованием**, содержащим как новый концептуальный подход к решению задачи долгосрочного прогнозирования развития сети магистральных авиалиний, так и результаты его применения для решения конкретной прикладной задачи – формирование вариантов прогноза для трех различных сценариев социально-экономического развития РФ.

В процессе выполнения работы был получен ряд результатов, характеризующихся **научной новизной**. А именно, предложен и обоснован подход к решению задачи прогнозирования сети магистральных авиалиний; выявлены закономерности развития сети внутрироссийских магистральных авиалиний, обнаружено, что она обладает основными свойствами, характерными для одного из классов сложных сетей (безмасштабных сетей); построена модель условий существования авиалинии, созданная как система нечеткого вывода; получен метод долгосрочного прогнозирования развития сети внутрироссийских магистральных авиалиний, учитывающий динамику изменения социально-экономических параметров регионов страны и целевые параметры развития инфраструктуры наземного и воздушного транспорта.

**Практическая значимость** результатов диссертационной работы заключается в возможности использования полученного метода долгосрочного прогнозирования развития сети внутрироссийских магистральных авиалиний при различных сценариях социально-экономического развития страны для оценки эффективности новых авиационных техноло-



гий, формирования технических требований к перспективным ВС, сравнительного анализа различных концепций перспективных ВС, прогнозирования потребного парка ВС.

**Достоверность** результатов, полученных в диссертационной работе, обеспечивается соответствующим использованием аппарата математической статистики, проверкой адекватности модели на данных, не вовлекавшихся в процесс ее формирования, непротиворечивостью полученных результатов моделирования в сравнении с существующими представлениями о функционировании и развитии авиатранспортных сетей.

Результаты, представленные в диссертационной работе, прошли на протяжении ряда лет соответствующую **апробацию**. Они докладывались и обсуждались на ряде конференций и семинаров, включая международные, всероссийские и отраслевые. Основные результаты опубликованы в 15 работах. В их числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ и 1 публикация в издании, индексируемом в международной базе цитирования Scopus.

Диссертация по своей тематике соответствует **специальности** 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)», поскольку все основные составляющие паспорта данной специальности в достаточной степени отражены в тексте представленной работы.

**Автореферат диссертации** полностью отражает основные научные, методические и практические результаты представленной к защите работы. Её содержание полностью раскрыто в публикациях автора.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В работе используется дословный перевод «безмасштабная сеть» для исходного англоязычного термина "scale-free network". Представляется, что более корректно было бы использование варианта «масштабно-инвариантная сеть», что более точно отражает суть данного вида сложных сетей.

2. В работе не приводится аргументация в пользу выбора самоорганизующихся карт Кохонена для формирования обучающей выборки модели УСА. Не объясняется, почему были отвергнуты другие возможные методы формирования сбалансированной выборки.

3. В диссертации не описана процедура нормирования значений выходных переменных модели, а также не указаны диапазоны возможных значений для них. По тексту работы можно восстановить значения коэффициентов нормировки и процедуру их вычисления (см. с.88 и 115, а также табл.3.6–3.11), однако в явном виде эти данные не вводятся и не обсуждаются.

Указанные замечания не носят, однако, принципиального характера и не снижают общей положительной оценки рассматриваемой диссертационной работы.

### **Заключение**

Диссертационная работа Цейтлиной Татьяны Олеговны «Метод долгосрочного прогнозирования развития сети внутрироссийских магистральных авиалиний на основе технологий нечеткого моделирования и нейросетевого программирования» представляет собой законченное научное исследование, содержащее решение актуальной задачи. Это исследование характеризуется теоретической новизной и практической значимостью. Проведенный вычислительный эксперимент базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Основные результаты и выводы диссертационной работы отражены в автореферате. Диссертационная работа и ее автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК РФ.

Представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ, а ее автор, Цейтлина Татьяна Олеговна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (авиационная и ракетно-космическая техника)».

Официальный оппонент,  
ведущий научный сотрудник  
кафедры динамики и управления  
летательных аппаратов МАИ,  
кандидат технических наук, доцент



Ю.В. Тюменцев

Подпись Тюменцева Ю.В. заверяю:

Декан факультета авиационной техники  
Московского авиационного института  
(национального исследовательского университета)



А.В. Ефремов

125993, А-80, ГСП-3,  
г. Москва, Волоколамское ш., д. 4  
Тел.: +7 (499) 158-43-33, 158-58-70, 158-00-02  
Факс: +7 (499) 158-29-77  
Электронная почта: mai@mai.ru\

М. П.