

Л. В. Мышкин

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
РАЗВИТИЯ
АВИАЦИОННОЙ
ТЕХНИКИ**

теория и практика

Издательский Дом «Наука»

Москва

2017

УДК 629.73

М 96

Мышкин, Л. В.

М 96 **Прогнозирование развития авиационной техники** [Текст] : 4-е издание, дополненное и переработанное / Мышкин Л. В. — М.: Издательский Дом «Наука», 2017. — 480 с.

ISBN 978-5-9902339-6-6

Приведены сведения о прогнозировании развития объектов авиационной техники. Изложены основы теории прогнозирования развития летательных аппаратов (ЛА) и систем (парка) ЛА. Рассмотрены статические и динамические математические модели определения оптимального облика ЛА и систем ЛА, достоверность и технология прогнозирования на примерах прогнозирования развития фронтовых истребителей, истребителей-перехватчиков и военнотранспортных самолетов, условия конкурентоспособности ЛА и последовательности внедрения их в авиационную систему. Сформулировано 60 задач с ответами или решениями наиболее сложных из них. Особенность книги: изложение теории и практики ее применения.

Книга адресована инженерам и научным работникам, занимающимся обоснованием направления развития авиационной техники и ее созданием, студентам и курсантам авиационных вузов и всем тем, кто желает повысить уровень знаний в области технологии поиска оптимального облика ЛА и систем ЛА.

УДК 629.73

ISBN 978-5-9902339-6-6

© Мышкин Л. В., 2017

© ИД «Наука» (оформление), 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Сокращения, обозначения, индексы	6
ПРЕДИСЛОВИЕ	9
РАЗДЕЛ 1. Основные сведения о прогнозировании развития авиационной техники	13
ГЛАВА 1. Общие положения научно-технического прогнозирования	13
1.1. Основные понятия	13
1.2. Характеристика методов прогнозирования	21
ГЛАВА 2. Объекты авиационной техники и процессы их развития	37
2.1. Характеристика объектов авиационной техники	37
2.2. Понятие об облике летательного аппарата	47
2.3. Техническое совершенство летательного аппарата, его комплектующих изделий и элементов и его показатели	48
2.4. Другие виды совершенства объектов авиационной техники и их показатели	58
2.5. Сравнение объектов авиационной техники по их совершенству	64
2.6. Процесс развития летательных аппаратов, боевых авиационных комплексов и их систем	66
2.7. Классификация моделей прогнозирования развития летательных аппаратов и систем летательных аппаратов	82
РАЗДЕЛ 2. Статические модели прогнозирования оптимального развития летательных аппаратов	84
ГЛАВА 3. Общая характеристика моделей прогнозирования оптимального развития летательных аппаратов	84
3.1. Периоды и процедура прогнозирования облика летательных аппаратов	84
3.2. Виды оптимизационных задач прогнозирования облика летательных аппаратов и их математическая формулировка	89
3.3. Некоторые особенности задач оптимизации параметров перспективных летательных аппаратов	95
3.4. Векторная оптимизация параметров летательных аппаратов по квадратичному критерию	99

3.5. Устойчивость решения задачи оптимизации параметров летательного аппарата и область целесообразности его создания	109
ГЛАВА 4. Характеристика зависимостей, используемых при прогнозировании оптимального облика летательного аппарата	111
4.1. Виды зависимостей	111
4.2. Уравнение существования летательного аппарата	112
4.3. Соотношения боевой эффективности	132
4.4. Экономические соотношения летательного аппарата	155
ГЛАВА 5. Достоверность прогнозирования оптимального облика летательного аппарата	161
ГЛАВА 6. Прогнозирование развития фронтовых истребителей	177
6.1. Ретроспективный анализ динамики развития фронтовых истребителей, требования к истребителям нового поколения и способы их реализации	177
6.2. Фронтовой истребитель с креслом летчика изменяемой геометрии	188
6.3. Фронтовой истребитель с разрезным крылом	206
6.4. Многофункциональный истребитель со сверхзвуковой крейсерской скоростью полета	231
ГЛАВА 7. Прогнозирование развития истребителей-перехватчиков	303
7.1. Ретроспективный анализ динамики развития истребителей-перехватчиков	303
7.2. Основные требования к истребителям-перехватчикам нового поколения и способы их реализации	305
7.3. Особенности методики определения оптимального облика гиперзвуковых самолетов на жидком водороде	309
РАЗДЕЛ 3. Динамические модели прогнозирования оптимального развития летательных аппаратов	341
ГЛАВА 8. Прогнозирование развития легких военно-транспортных самолетов	341
8.1. Ретроспективный анализ динамики развития легких военно-транспортных самолетов	341
8.2. Основные требования к легким военно-транспортным самолетам ..	342

8.3. Методика определения оптимального облика легкого военно-транспортного самолета двойного назначения	342
РАЗДЕЛ 4. Модели прогнозирования оптимального развития систем летательных аппаратов	370
ГЛАВА 9. Статические модели прогнозирования оптимального развития системы летательных аппаратов	370
9.1. Прямая задача прогнозирования оптимального развития системы летательных аппаратов	370
9.2. Прямая игровая задача прогнозирования оптимального развития системы летательных аппаратов	372
ГЛАВА 10. Динамические модели прогнозирования оптимального развития системы летательных аппаратов	373
10.1. Виды моделей и их формулировка	373
10.2. Дифференциальные уравнения развития систем летательных аппаратов	381
10.3. Вариационная прямая задача прогнозирования развития боевых систем летательных аппаратов	387
10.4. Вариационная прямая задача прогнозирования развития транспортных систем летательных аппаратов	404
10.5. Вариационная прямая задача прогнозирования развития комбинированной системы летательных аппаратов	417
10.6. Вариационная прямая задача прогнозирования развития боевых систем летательных аппаратов с переменными параметрами	420
10.7. Вариационная обратная задача прогнозирования развития боевых систем летательных аппаратов	435
10.8. Дифференциальная игровая прямая задача прогнозирования развития боевых систем летательных аппаратов противоборствующих сторон	448
10.9. Динамический критерий определения оптимальных параметров летательного аппарата и формулировка задачи оптимизации	456
10.10. Достоверность прогнозирования динамики оптимального развития системы летательных аппаратов	458
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	472

СОКРАЩЕНИЯ

АВ	– авиационное вооружение
АО	– авиационное оборудование
АТ	– авиационная техника
БАК	– боевой авиационный комплекс
БЖ	– боевая живучесть
БРЛС	– бортовая радиолокационная станция
ВВС	– Военно-воздушные Силы
ВПП	– взлетно-посадочная полоса
ВЦ	– воздушная цель
ГЗС	– гиперзвуковой самолет
ГИП	– гиперзвуковой истребитель-перехватчик
ДРЛО	– дальнее радиолокационное обнаружение и наведение
ЗРК	– зенитный ракетный комплекс
И	– истребитель
ИБ	– истребитель-бомбардировщик
ИМБ	– истребитель маневренного воздушного боя
ИП	– истребитель-перехватчик
КИГ	– кресло летчика изменяемой геометрии
ККС	– конструктивно-компоновочная схема летательного аппарата
КМ	– композиционные материалы
ЛА	– летательный аппарат
ЛВТС	– легкий военно-транспортный самолет
МК	– монопланное крыло
МО	– Министерство обороны
МФИ	– многофункциональный истребитель
МФЛА	– многофункциональный летательный аппарат
НАР	– неуправляемая авиационная ракета
НИОКР	– научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа
ОАТ	– объект авиационной техники
ОТТ	– общие технические требования ВВС к ОАТ
ОФИ	– однофункциональный истребитель
ОФЛА	– однофункциональный летательный аппарат
П	– параметр
$P_v, P_{нв}, P_n$	– варьируемый, неварьируемый и неопределенный параметры

ПВО	– противовоздушная оборона
ПВРД	– прямоточный воздушно-реактивный двигатель
РК	– разрезное крыло
РЭО	– радиоэлектронное оборудование
РЭП	– радиоэлектронное противодействие
СБАК	– система боевых авиационных комплексов
СЛА	– система летательных аппаратов
СКО	– среднее квадратическое отклонение
СНОП	– средства наземного обеспечения полетами
ТБ	– топливный бак
ТЗ	– теплозащита
ТИ	– теплоизоляция
ТМ	– традиционные материалы
ТО	– технический облик
ТРД	– турбореактивный двигатель
ТРДДФ	– турбореактивный двухконтурный двигатель с форсажем
ТС	– топливная система
ТТЗ	– тактико-техническое задание
ТТО	– тактико-технический облик ЛА
ТТП	– тактико-технический параметр
ТТТ	– тактико-технические требования
УР	– управляемая ракета
ФИ	– фронтовой истребитель
Ц	– центроплан

ОБОЗНАЧЕНИЯ

V, L, H	– скорость, дальность и высота полета самолета
V_y^*	– энергетическая скороподъемность самолета
n_y и n_x	– нормальная и тангенциальные перегрузки самолета
m_0	– нормальная взлетная масса ЛА
$m_{пл}$ и $\xi_{пл}$	– масса и относительная масса планера
m_{cy} и ξ_{cy}	– масса и относительная масса силовой установки
m_t и ξ_t	– масса и относительная масса топлива
m_c и ξ_c	– масса и относительная масса систем
$m_{эов}$	– масса экипажа, оборудования и вооружения
ρ_0	– удельная нагрузка на крыло

μ_0	– тяговооруженность самолета
C_y	– коэффициент подъемной силы самолета
C_x	– коэффициент лобового сопротивления самолета
P	– тяга силовой установки
$\gamma_{дв}$	– удельная масса двигателя
$C_{уд}$	– удельный расход топлива
\mathcal{E}	– критерий боевой эффективности (боевой потенциал) ЛА
$C_{ЛА}, C$	– стоимость жизненного цикла и создания ЛА
$C^{\mathcal{E}}, C_{\mathcal{E}}$	– стоимость довой эксплуатации и эксплуатации за срок службы ЛА

ИНДЕКСЫ

гп	– горизонтальный полет
дв	– двигатель
к	– конструкция
кр	– крыло
кмк	– композиционные материалы конструкции
мф	– многофункциональный истребитель
оп	– оперение
оф	– однофункциональный истребитель
пл	– планер
с	– системы ЛА
смф	– система многофункциональных истребителей
соф	– система однофункциональных истребителей
су	– силовая установка
т	– топливо
тмк	– традиционные материалы конструкции
ф	– фюзеляж
ш	– шасси
э	– эксплуатация

*Посвящается
Военно-воздушной инженерной академии
имени профессора Н. Е. Жуковского*

ПРЕДИСЛОВИЕ

К объектам авиационной техники относятся летательный аппарат (ЛА) и его комплектующие изделия (двигатель, вооружение, радиолокационная станция и т. п.), система (группировка, парк) летательных аппаратов (СЛА), средства наземного (воздушного, космического) обеспечения полетов ЛА и другие.

Основными объектами являются ЛА (самолет, вертолет, крылатая ракета класса «поверхность–поверхность», баллистическая ракета и т. п.) и СЛА, поскольку именно они способны выполнить целевую задачу: перехватить воздушные цели, выйти в зону расположения наземных (морских) целей и уничтожить их, перевезти грузы, пассажиров и т.д. Поэтому главное внимание в книге уделяется этим объектам, хотя общие положения теории прогнозирования развития техники справедливы и для других авиационных объектов.

Процесс развития ЛА определенного назначения (истребитель, бомбардировщик, военно-транспортный самолет, многофункциональный вертолет, баллистическая ракета и т. п.) характеризуется заменой старого (серийного) ЛА на новый (модификация старого, перспективный) ЛА. Процесс развития СЛА характеризуется созданием и внедрением новых ЛА, увеличением их количества и количества серийных ЛА, а также совершенствованием средств наземного обеспечения полетов.

Процесс развития ЛА и СЛА – управляемый. Одна из его составных частей состоит в определении (предсказании – прогнози-

ровании) оптимального облика ЛА и оптимальной последовательности внедрения в систему новых ЛА, то есть в формировании оптимальной системы ЛА на некотором будущем отрезке времени. Эти перманентные задачи на стадиях до принятия решения на разработку объектов авиационной техники и при ее разработке решают военные и гражданские специалисты научно-исследовательских учреждений, высших учебных заведений и опытно-конструкторских бюро. Литературы по прогнозированию развития ЛА и СЛА, необходимой для подготовки и повышения квалификации таких специалистов, недостаточно. Предлагаемая книга в определенной степени компенсирует этот недостаток. Она содержит все основные методологические положения формирования облика ЛА и СЛА, включая неизвестные, например, вариационные и дифференциальные игровые модели прогнозирования развития СЛА, в компактном виде и этим может быть полезна.

Книга содержит основные понятия научно-технического прогнозирования и сведения о прогнозировании объектов авиационной техники, статические и динамические математические модели прогнозирования оптимального развития летательных аппаратов и систем летательных аппаратов по схеме «функциональная эффективность–затраты» и технологии их применения.

Технология прогнозирования развития летательных аппаратов с использованием статических моделей рассматривается на примерах обсуждения облика перспективного фронтового истребителя с креслом летчика изменяемой геометрии, фронтового истребителя с разрезным (замкнутым) крылом, многофункционального истребителя со сверхзвуковой крейсерской скоростью полета, гиперзвукового истребителя-перехватчика на жидком водороде и легкого военно-транспортного самолета, с использованием динамических моделей – на примерах определения облика МФИ и ЛВТС

Технология прогнозирования развития систем летательных аппаратов с использованием динамических моделей иллюстрируется примерами определения оптимального облика системы гиперзвуковых истребителей-перехватчиков на жидком водороде, а также системы дозвуковых транспортных самолетов на керосине

и гиперзвуковых транспортных самолетов на жидком водороде, а также системы истребителей с переменными параметрами.

Естественно, вместо, скажем, фронтового истребителя с креслом летчика изменяемой геометрии или фронтового истребителя с разрезным крылом, или многофункционального истребителя, или гиперзвукового истребителя-перехватчика на жидком водороде можно было бы рассмотреть какие-либо и другие перспективные летательные аппараты. Однако схема рассуждений, связанных с прогнозированием развития техники, и в этих случаях осталась бы прежней. Выбор указанных объектов обусловлен возможностью совместить обсуждение вопросов прогнозирования развития летательных аппаратов с познавательной информацией о малоизвестных вариантах самолетов.

Для привития навыков по применению теоретических положений книга содержит 60 задач. Книжное решение наиболее сложных из них демонстрируют, как надо применять теоретические положения. Характер очень сложной задачи имеет §6.4 «Многофункциональный истребитель со сверхзвуковой крейсерской скоростью полета». Он содержит все основные рассуждения и численные решения по поиску оптимальных летно-технических параметров ЛА (высоты и сверхзвуковой крейсерской скорости полета, перегрузки установившегося виража, максимальной эксплуатационной перегрузки и удельной нагрузки на крыло). Для сокращения расчетов в качестве оптимизируемых параметров выбраны только летно-технические. В общем случае оптимизируются и другие: параметры боевой живучести, долговечности (см. §8.3.), дальность обнаружения цели бортовой РЛС, количество бортовых ракет и т.п.

Особенность книги: сочетание теории с иллюстрацией ее применения.

Из теоретических результатов следует отметить:

- формирование статических и динамических моделей определения оптимального облика перспективных ЛА с использованием в том числе векторного критерия оптимизации, с учетом и без учета неопределенных параметров, оценкой устойчиво-

сти решения оптимизационных задач и области целесообразности создания ЛА;

- описание процесса изменения количества ЛА на будущем отрезке времени дифференциальными уравнениями;
- формирование вариационных и дифференциальных игровых задач прогнозирования систем ЛА и их решение методом Понтрягина;
- установление на основе решения вариационных и дифференциальных игровых задач принципа последовательного формирования СЛА конкурирующими ЛА (определения оптимальной траектории развития СЛА) и использование этого принципа для формулировки второго способа определения оптимальной траектории развития СЛА в форме задачи направленного поиска экстремума функционала;
- достоверность прогнозирования облика ЛА и СЛА.

Книга выпускается в 4-м издании; каждое последующее издание отличалось новыми научными материалами и, как следствие, бóльшими объемами:

- 1-е изд.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1998, уч.изд.л. 13
- 2-е изд.: ФИЗМАТЛИТ, 2005, уч.изд.л. 20;
- 3-е изд.: ФИЗМАТЛИТ, 2008, уч.изд.л. 21,7.

Новыми материалами в 4-м изд.: Издательский Дом «Наука», 2016 являются: §2.7, Глава 8, §10.3.3, §10.6, §10.7, §10.8, уч. изд. л.30.