



大飞机出版工程
总主编 顾诵芬

雅克-42M和雅克-242 飞机草图设计

Design Sketch of ЯК-42 М and ЯК-242 Aircraft

【俄】А·Н·东杜科夫 В·Г·德米特里耶夫 А·Д·梁赞诺夫等 著
陈迎春 刘洪 万剑锋 司江涛 编译



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

大飞机出版工程
总主编 顾诵芬

雅克-42M和雅克-242 飞机草图设计

Design Sketch of Як-42 M and Як-242 Aircraft



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书以 ЯК-42М 和 ЯК-242 飞机的研制工作为例,说明了现代近程干线客机的草图设计方法在实际工作中的运用,阐述了在 ЯК-42М 和 ЯК-242 飞机方案基础上研制系列飞机的主要概念,研究了在草图设计阶段解决的空气动力学、强度和结构设计方面的实际问题。

本书可供航空专业的科研人员参考,也可作为航空专业本科生、研究生的教材。

© А. Н. Дондуков, В. Г. Дмитриев, А. Д. Рязанов и др.

This original Russian version of “Эскизное проектирование самолетов ЯК-42М и ЯК-242” is first published by МАШИНОСТРОЕНИЕ, МОСКВА in 2000.

图书在版编目(CIP)数据

雅克-42М 和雅克-242 飞机草图设计/(俄罗斯)东杜科夫,(俄罗斯)德米特里耶夫,(俄罗斯)梁赞诺夫等著;陈迎春等编译. —上海:上海交通大学出版社,2010

(大飞机出版工程)

ISBN 978-7-313-06768-5

I. ①雅… II. ①东…②德…③梁…④陈…

III. ①飞机—设计 IV. ①V22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 164905 号

雅克-42М 和雅克-242 飞机草图设计

(俄罗斯)东杜科夫 德米特里耶夫 梁赞诺夫 等著
陈迎春 等编译

上海交通大学 出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 韩建民

常熟市华通印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 6 字数: 112 千字

2010 年 10 月第 1 版 2010 年 10 月第 1 次印刷

印数: 1~1530

ISBN 978-7-313-06768-5/V 定价: 38.00 元

版权所有 侵权必究

丛书编委会

总主编：

顾诵芬（中国航空工业集团公司科技委副主任、两院院士）

副总主编：

金壮龙（中国商用飞机有限责任公司副董事长、总经理）

马德秀（上海交通大学党委书记、教授）

编 委：（按姓氏笔画排序）

王礼恒（中国航天科技集团公司科技委主任、院士）

王宗光（上海交通大学原党委书记、教授）

刘 洪（上海交通大学航空航天学院教授）

许金泉（上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院工程力学系主任、教授）

杨育中（中国航空工业集团公司原副总经理、研究员）

吴光辉（中国商用飞机有限责任公司副总经理、总设计师、研究员）

汪 海（上海交通大学航空航天学院副院长、研究员）

沈元康（国家民航总局原副局长、研究员）

陈 刚（上海交通大学副校长、教授）

陈迎春（中国商用飞机有限责任公司常务副总设计师、研究员）

林忠钦（上海交通大学副校长、教授）

金兴明（上海市经济与信息化委副主任、研究员）

金德琨（中国航空工业集团公司科技委委员、研究员）

崔德刚（中国航空工业集团公司科技委委员、研究员）

敬忠良（上海交通大学航空航天学院常务副院长、教授）

傅 山（上海交通大学航空航天学院研究员）

总 序

国务院在 2007 年 2 月底批准了大型飞机研制重大科技专项正式立项,得到全国上下各方面的关注。“大型飞机”工程项目作为创新型国家的标志工程重新燃起我们国家和人民共同承载着“航空报国梦”的巨大热情。对于所有从事航空事业的工作者,这是历史赋予的使命和挑战。

1903 年 12 月 17 日,美国莱特兄弟制作的世界第一架有动力、可操纵、重于空气的载人飞行器试飞成功,标志着人类飞行的梦想变成了现实。飞机作为 20 世纪最重大的科技成果之一,是人类科技创新能力与工业化生产形式相结合的产物,也是现代科学技术的集大成者。军事和民生对飞机的需求促进了飞机迅速而不间断的发展,应用和体现了当代科学技术的最新成果;而航空领域的持续探索 and 不断创新,为诸多学科的发展和相关技术的突破提供了强劲动力。航空工业已经成为知识密集、技术密集、高附加值、低消耗的产业。

从大型飞机工程项目开始论证到确定为《国家中长期科学和技术发展规划纲要》的十六个重大专项之一,直至立项通过,不仅使全国上下重视起我国自主航空事业,而且使我们的人民、政府理解了我国航空事业半个世纪发展的艰辛和成绩。大型飞机重大专项正式立项和启动使我们的民用航空进入新纪元。经过 50 多年的风雨历程,当今中国的航空工业已经步入了科学、理性的发展轨道。大型客机项目其产业链长、辐射面宽、对国家综合实力带动性强,在国民经济发展和科学技术进步中发挥着重要作用,我国的航空工业迎来了新的发展机遇。

大型飞机的研制承载着中国几代航空人的梦想,在 2016 年造出与波音 B737 和

空客 A320 改进型一样先进的“国产大飞机”已经成为每个航空人心中奋斗的目标。然而,大型飞机覆盖了机械、电子、材料、冶金、仪器仪表、化工等几乎所有工业门类,集成了数学、空气动力学、材料学、人机工程学、自动控制学等多种学科,是一个复杂的科技创新系统。为了迎接新形势下理论、技术和工程等方面的严峻挑战,迫切需要引入、借鉴国外的优秀出版物和数据资料,总结、巩固我们的经验和成果,编著一套以“大飞机”为主题的丛书,借以推动服务“大型飞机”作为推动服务整个航空科学的切入点,同时对于促进我国航空事业的发展和加快航空紧缺人才的培养,具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

2008年5月,中国商用飞机有限公司成立之初,上海交通大学出版社就开始酝酿“大飞机出版工程”,这是一项非常适合“大飞机”研制工作时宜的事业。新中国第一位飞机设计宗师——徐舜寿同志在领导我们研制中国第一架喷气式歼击教练机——歼教1时,亲自撰写了《飞机性能捷算法》,及时编译了第一部《英汉航空工程名词字典》,翻译出版了《飞机构造学》、《飞机强度学》,从理论上保证了我们飞机研制工作。我本人作为航空事业发展50年的见证人,欣然接受了上海交通大学出版社的邀请担任该丛书的主编,希望为我国的“大型飞机”研制发展出一份力。出版社同时也邀请了王礼恒院士、金德琨研究员、吴光辉总设计师、陈迎春副总设计师等航空领域专家撰写专著、精选书目,承担翻译、审校等工作,以确保这套“大飞机”丛书具有高品质和重大的社会价值,为我国的大飞机研制以及学科发展提供参考和智力支持。

编著这套丛书,一是总结整理50多年来航空科学技术的重要成果及宝贵经验;二是优化航空专业技术教材体系,为飞机设计技术人员培养提供一套系统、全面的教科书,满足人才培养对教材的迫切需求;三是为大飞机研制提供有力的技术保障;四是将许多专家、教授、学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来,旨在从系统性、完整性和实用性角度出发,把丰富的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有我国特色的“大飞机”理论与实践相结合的知识体系。

“大飞机”丛书主要涵盖了总体气动、航空发动机、结构强度、航电、制造等专业方向,知识领域覆盖我国国产大飞机的关键技术。图书类别分为译著、专著、教材、工具书等几个模块;其内容既包括领域内专家们最先进的理论方法和技术成果,也

包括来自飞机设计第一线的理论和实践成果。如:2009年出版的荷兰原福克飞机公司总师撰写的 *Aerodynamic Design of Transport Aircraft* (《运输机气动设计》),由美国堪萨斯大学2008年出版的 *Aircraft Propulsion* (《飞机推进》)等国外最新科技的结晶;国内《民用飞机总体设计》等总体阐述之作和《涡量动力学》、《民用飞机气动设计》等专业细分的著作;也有《民机设计500问》、《英汉航空双向词典》等工具类图书。

该套图书得到国家出版基金资助,体现了国家对“大型飞机项目”以及“大飞机出版工程”这套丛书的高度重视。这套丛书承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命,凝结了国内外航空领域专业人士的智慧和成果,具有较强的系统性、完整性、实用性和技术前瞻性,既可作为实际工作指导用书,亦可作为相关专业人员的学习参考用书。期望这套丛书能够有益于航空领域里人才的培养,有益于航空工业的发展,有益于大飞机的成功研制。同时,希望能为大飞机工程吸引更多的读者来关心航空、支持航空和热爱航空,并投身于中国航空事业做出一点贡献。

顾诵芬

2009年12月15日

前 言

20 世纪 80 年代末到 90 年代初可以说是新一代飞机的转型期。这一时期研制出了伊尔-96 飞机和图-204 远程和中程干线客机。90 年代有了设计和制造新型飞机的设想,用于逐步替换近程干线使用的飞机机队。

这种飞机由雅克设计局集体设计。其研制基础是 1990 年 1 月 23 日由民用航空部部长批准的配装三台涡喷发动机 $\Pi-436M1$ 的近程干线改型客机技术任务书。

迫切需要研制该飞机,是因为近程干线使用的喷气飞机雅克-42、图-134 和图-154 燃油效率低($29\sim 46\text{ g/人}\cdot\text{km}$),因而飞机的使用费用很高,使用费用因航空燃油生产量缩减和价格上涨而增加。

首先研制的飞机叫雅克-42M,后来,过渡到更完善的双发布局时,改名为雅克-242。

雅克-42M 是考虑了其以后的发展而设计的,它成了新系列飞机的基础。

基础飞机打算装备单台推力 $7\,500\text{ kgf}$ 的三台发动机 $\Pi-436M1$ 。两台发动机布置在机翼下,一台在垂直安定面根部。这种布局对于三发飞机重心、重量效率、布局密度等都是合理的。但是,从所有参数(包括成本和使用)上来说,更合理的是双发布置在机翼下面的布局。因此,该飞机系列的下一种飞机(在设计过程中取名雅克-242)打算装备单台推力 $12\,000\text{ kgf}$ 的发动机,并按此布局布置。使用俄罗斯国产发动机 $\Pi C-90A12$ (或者国外的 $CFM-56-5A3$)时,飞行速度应提高 25 km/h ,燃油效率达到 $18.8\text{ g/人}\cdot\text{km}$ 。

设想未来雅克-46 飞机会成为效率最高的,它在雅克-242 基础上研制,并装备两台发动机 $\Pi-627$ 。这些发动机是在 $\Pi-27$ 发动机的基础上研制的,有超

高涵道比($m=22$)。在计算大气条件下,单位耗油量低($0.5 \text{ kg}(\text{kgf}/\cdot \text{h})$)和推力等于 $11\,000 \text{ kgf}$ 时,发动机应能够在雅克-46 飞机上达到每乘客公里最低的耗油率—— $15 \text{ g}/\text{人} \cdot \text{km}$ 。

156~174 座的雅克-42 飞机燃油效率为 $21 \text{ g}/\text{人} \cdot \text{km}$,比现有俄罗斯同类国产飞机好 $33\%\sim 50\%$ 。

如果在燃油效率方面将雅克-42 飞机与该级别的国外产飞机(140 座的 B-737-300 和 179 座的 A-320)进行比较,则可见雅克-42M 飞机达到了世界水平(B-737-300 和 A-320 的燃油效率分别为 21 和 $19 \text{ g}/\text{人} \cdot \text{km}$)。

雅克-42M 飞机的草图设计于 1992 年完成,而且获得了航空工业院所的良好结论。但是,做出了不进行下一步设计,转向更合理的双发方案的决策。

制订了配装 ПС-90А12 发动机的双发客机雅克-242 方案。它在飞机巡航速度($Ma = 0.8$,而不是 0.75)和燃油效率($18\sim 19 \text{ g}/\text{人} \cdot \text{km}$,而不是 $21 \text{ g}/\text{人} \cdot \text{km}$)方面都超过了基础型雅克-42M。雅克-242 的草图设计在基础型飞机雅克-42M 的基础上完成,而且主要变化在于从结构中去尾部的第三台发动机,以及采用新的更为完善的机翼。雅克-242 的草图设计于 1993 年顺利完成。样机委员会做出了继续研制该飞机的决策,在 1993~1995 年期间进行了详细设计。后来,由于我国发生的众所周知的大事件,停止了雅克-242 的研制经费拨款,飞机的研制工作也就停止了。在这种情况下,在样机委员会的决定和航空工业和民航工业院所的结论中指出,总的来说,雅克-242 飞机期望的技术经济特性处于正在使用的、比较好的俄罗斯国内外同类飞机相应的特性水平上。

本书介绍了雅克-42M、雅克-242 和雅克-46 系列飞机设计时完成的工作。该书的基础是雅克设计局和俄罗斯中央空气流体动力研究院工作人员的雅克-42M、雅克-242 飞机草图设计资料和正式的文件。

在雅克设计局的工作人员当中,在这些飞机的设计工作中做出贡献最大的有:Н·Н·多尔任科夫、А·И·马特维耶夫、А·С·安德烈耶夫、В·Ю·С波拉夫斯基、С·И·波尔德列夫、А·А·马特洛索夫、И·В·克里沃路兹基、В·В·普里瓦洛夫、Б·О·克拉萨夫泽夫、Е·А·塔拉索夫、В·М·曲斯洛夫、Н·С·波戈莫洛夫、Г·А·马尔科夫、М·Л·利斯、Ю·С·库基明、В·А·西罗京、С·В·涅乌尼洛夫、В·М·科贝洛夫、Н·А·阿历山大洛夫、В·А·

卡留金、А·К·柯瓦列夫斯基、В·В·马祖尔、В·А·斯拉雪夫。

在俄罗斯中央空气流体动力研究院的工作人员当中,在具体计算和方案科学跟踪工作中做了大量工作的人员有:А·Л·波尔苏诺夫斯基、А·Н·维斯科夫、К·С·尼古拉耶夫、Е·И·索波列夫、А·Е·奥尔洛夫、В·И·叶麦利亚诺夫、В·М·曲若夫、Г·И·涅斯杰连科、А·А·阿塔马诺夫、В·А·杜比尼亚、В·П·季莫辛、А·Н·姆辛、М·Н·姆拉托夫斯卡娅。

作者对雅克设计局和俄罗斯中央空气流体动力研究院的以下人员表示特别的感谢,他们在本书进行准备工作时给予了很大的帮助,他们是:А·С·安德烈耶夫、А·Е·奥尔洛夫、В·А·斯拉雪夫和 В·П·季莫辛。

现在,客机的设计是一门复杂的科学,它依赖空气动力学、强度、材料学、结构设计、工艺所取得的现代成就。应当注意的是近年来出版的与雅克-42M和雅克-242飞机设计时设计员们有效利用的一些著作。这就是关于解决干线客机研制一般问题的专著[1],以及阐述这些客机设计的主要问题的著作[2,3,30]。在研制雅克-42M和后来研制雅克-242飞机时,在所有的阶段,主要遵循的文件是统一的飞机适航规范和航空条例(АП-25)^[24,25],广泛地使用了各期《设计员手册》中包含的方法和软件^[12~14,17,26,32]。在飞机设计的与某些独特问题相关的大量文献当中,应当选取雅克-42M和雅克-242飞机设计时采用过的一些著作[4~11,21,33]。

目 录

所研制飞机方案的分析 1

雅克-42M 飞机综述 7

雅克-42M 飞机概述 9

雅克-42M 飞机的发展情况 13

雅克-42M 和雅克-242 飞机的气动力设计问题 17

机翼气动布局的形成 17

飞机的气动布局 23

飞机的气动特性 25

飞行性能与起飞着陆特性 29

操纵性和稳定性 33

雅克-42M 和雅克-242 飞机的气弹问题 39

雅克-42M 和雅克-242 飞机强度设计 45

草图设计阶段的寿命保障 46

材料和半成品 48

典型飞行中飞机承载能力分析 51

指定允许计算应力 55

按疲劳强度条件计算允许应力 55

按保证耐久性条件计算允许应力 58

机身 59

机翼 59

水平安定面(垂直安定面) 60

飞机机体主要结构检查周期 63

按噪声强度条件评估飞机寿命 66

静强度计算 68

有限元法 68

机身计算 70

后机身计算 72

用有限元法进行机翼计算 73

参考文献 78

所研制飞机方案的分析

为了加大客容量、航程和提高燃油效率,于 1984 年开始了批生产的雅克-42 飞机改型工作。在 1990 年获得了近程干线客机的技术任务书后,制订了装三台 Д-436M1 发动机的雅克-42M 飞机技术建议书。在技术建议书中,尝试保持已用的在后机身中布置三台发动机的飞机布局方案,但建议安装新机翼,新机翼的展弦比更大,面积更小,并给出了一组改型的超临界翼型。新机翼要求采用新尾翼,而为了获得更高的巡航状态升阻比,在垂直安定面中布置了平衡的燃油箱。

在设计时,出现了保证重心(大范围)方面的困难,既包括飞行时的重心,也包括在地面停机和工作时的重心。通过采用后舷梯作为在地面的支点,成功地解决了这一问题。

在发动机改型过程中,其重量和推力都大大增加了,这又加大了解决重心问题的难度。

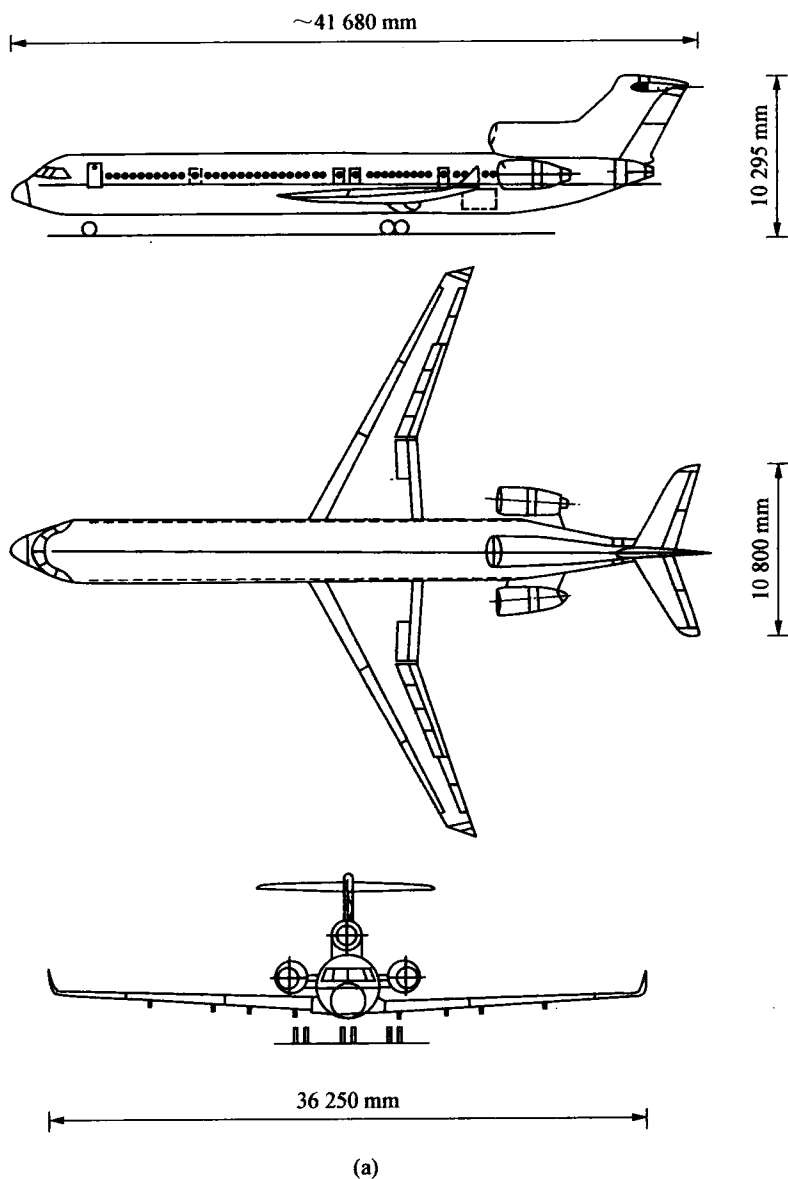
在 1991 年收到雅克-42M 飞机草图研制和飞机样机技术任务书时,担心能否保证规定的燃油效率,特别是机组人员和乘客的舒适条件。机身直径 3.8 m 不能保证安装不降低乘客舒适度的标准座椅组件,座椅组件位置在客舱侧边,而 450 mm 的过道使乘客难以走动。

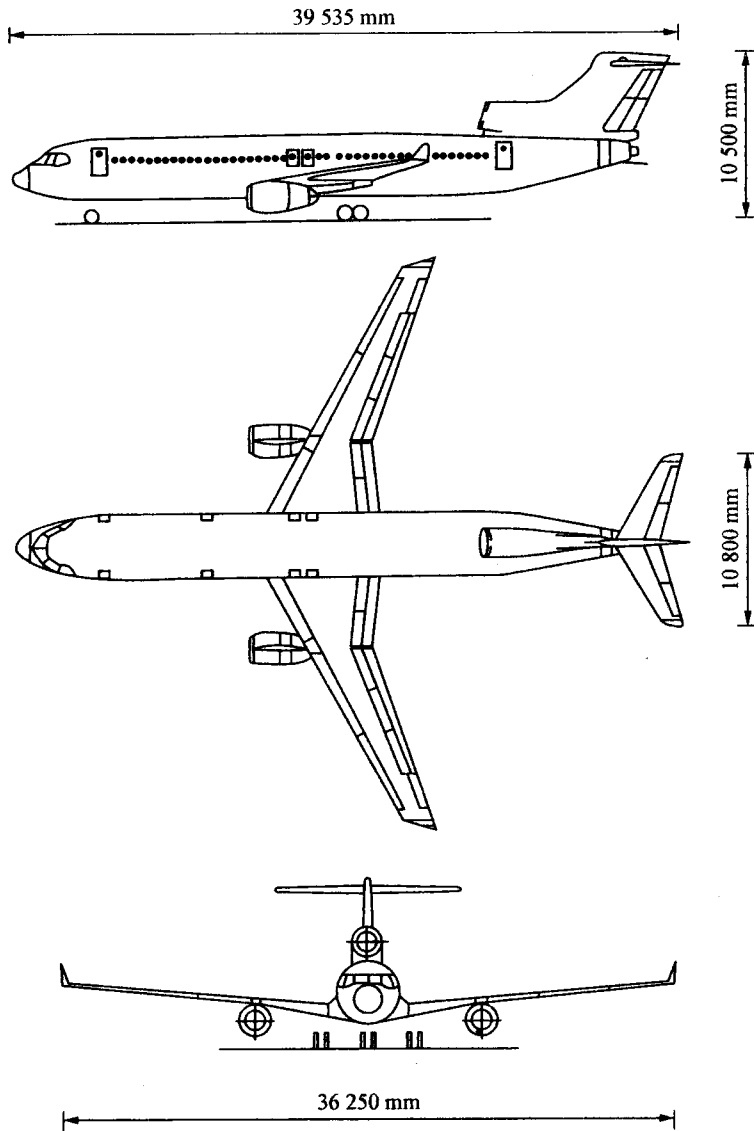
对于 150 座及超过 150 座的飞机,后机身布置三台发动机的布局有以下不足:

- 空机和装客后飞机的重心之间相差很大,这就需要安装后支承,但这又会导致增重;
- 因发动机布置区的绕流干扰而带来附加损失,这又会降低巡航状态的升阻比;
- 因发动机带来的机身载荷而增加机体重量;
- 因布置中间的发动机和 S 型的进气道而加长机身;
- T 型尾翼,垂直安定面因水平安定面而承受载荷;
- 机翼后移,造成水平尾翼和垂直尾翼的气动力臂小,从而造成其面积和重量加大;
- 因发动机(左、右、中)不同的固定情况而使动力装置的维护变得复杂。

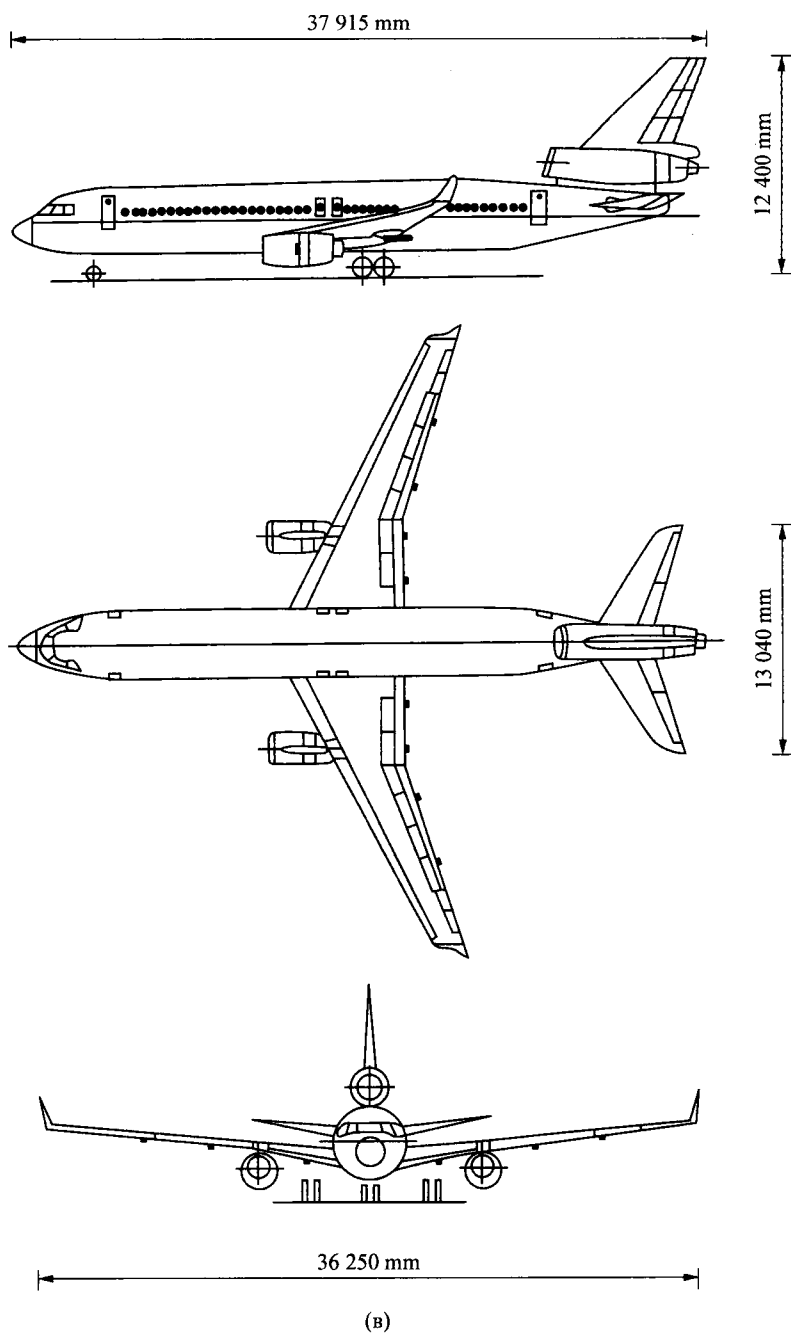
上述几点都要求改变雅克-42M飞机的布局概念。进行过三种研究和计算方案的对比分析:

- 三台发动机布置在后机身(图 1(a));
- 两台发动机布置在机翼下,第三台布置在后机身(图 1(б));
- 两台发动机布置在机翼下,第三台布置在垂直尾翼根部(图 1(в)).





(6)



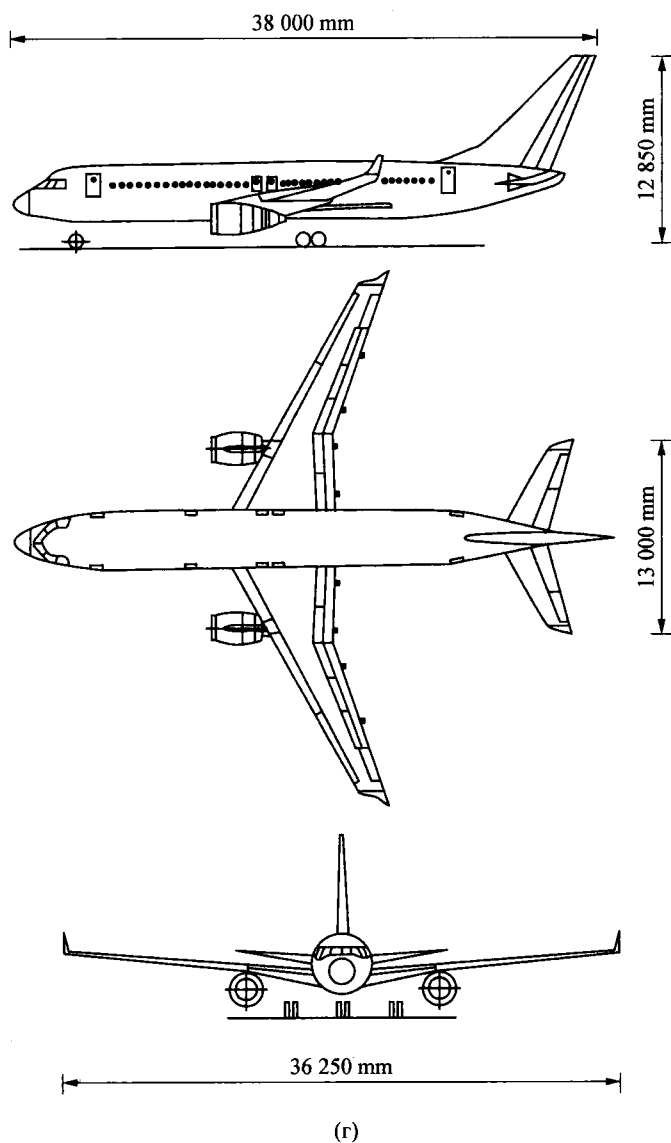


图1 雅克-42M和雅克-242飞机的布局

(a)~(b)—雅克-42M; (Г)—雅克-242