

ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЕРОЯТНОСТИ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАНЫХ ЛЕТНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И УЧЕТ ФАКТОРОВ РИСКОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОБЛИКА САМОЛЕТА

Клягин В.А. *, Лаушин Д.А. **

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ,
Волоколамское шоссе, 4, Москва, 125993, Россия*

** e-mail: kliagin@mail.ru*

*** e-mail: laushin.d@yandex.ru*

Статья поступила в редакцию 06.04.2021

Учет рисков создания авиационного комплекса (АК) является необходимым элементом при сравнении вариантов АК, а также при оценке реализации программы в целом. Как правило, на предварительном этапе проектирования рассматриваются несколько вариантов АК с различными вариантами объемно-весовой и аэродинамической компоновки, аэродинамической схемы, силовой установки. Каждому варианту АК свойственны свои прогнозируемые отклонения факторов риска, которые приводят к соответствующим отклонениям летно-технических характеристик, при этом необходимо количественно оценить риск невыполнения тактико-технического задания в части летно-технических характеристик. Описанный в статье подход позволяет комплексно сравнивать варианты АК на начальных этапах проектирования.

Ключевые слова: неопределенность, факторы риска, летно-технические характеристики, предварительное проектирование самолета.

Введение

Развитие больших и сложных технических систем, каковым является и АК, подвержено влиянию большого числа разнообразных факторов военно-стратегического, научно-технического, производственно-экономического и др. характера. Природа этих факторов может носить не только детерминированный (однозначные численные значения), но и случайный и неопределенный характер [1].

При рассмотрении целесообразности развертывания работ по выполнению того или иного проекта наряду с его финансовой или иной целесообразностью в обязательном порядке должна быть оценена возможность реализации этого проекта. Основные положения методик оценки АК на этапе внешнего проектирования подробно описаны в [1–4].

Под реализуемостью проекта понимается возможность решения необходимого комплекса научно-технических, проектно-конструкторских, производственно-технологических и организаци-

онных задач для выполнения в заданные сроки полного объема работ, обеспечивающего создание нового или модернизированного АК в соответствии с заданными техническими и эксплуатационными характеристиками в условиях ресурсных (в первую очередь финансовых) и временных ограничений.

Оценка реализуемости наукоемких проектов выполняется на основе оценок основных типов рисков, присутствующих при выполнении проектов. Уровни рисков реализации программы — это оцениваемая величина влияния факторов различного характера на итоговый результат программы с точки зрения достижения целевых показателей. Главным целевым показателем реализации программы является создание в установленный срок выбранного варианта АК, выполняющего требования тактико-технического задания (ТТЗ).

На реализуемость АК оказывают влияние множество факторов, среди них можно выделить следующие основные (рис. 1):

— техническая реализуемость;

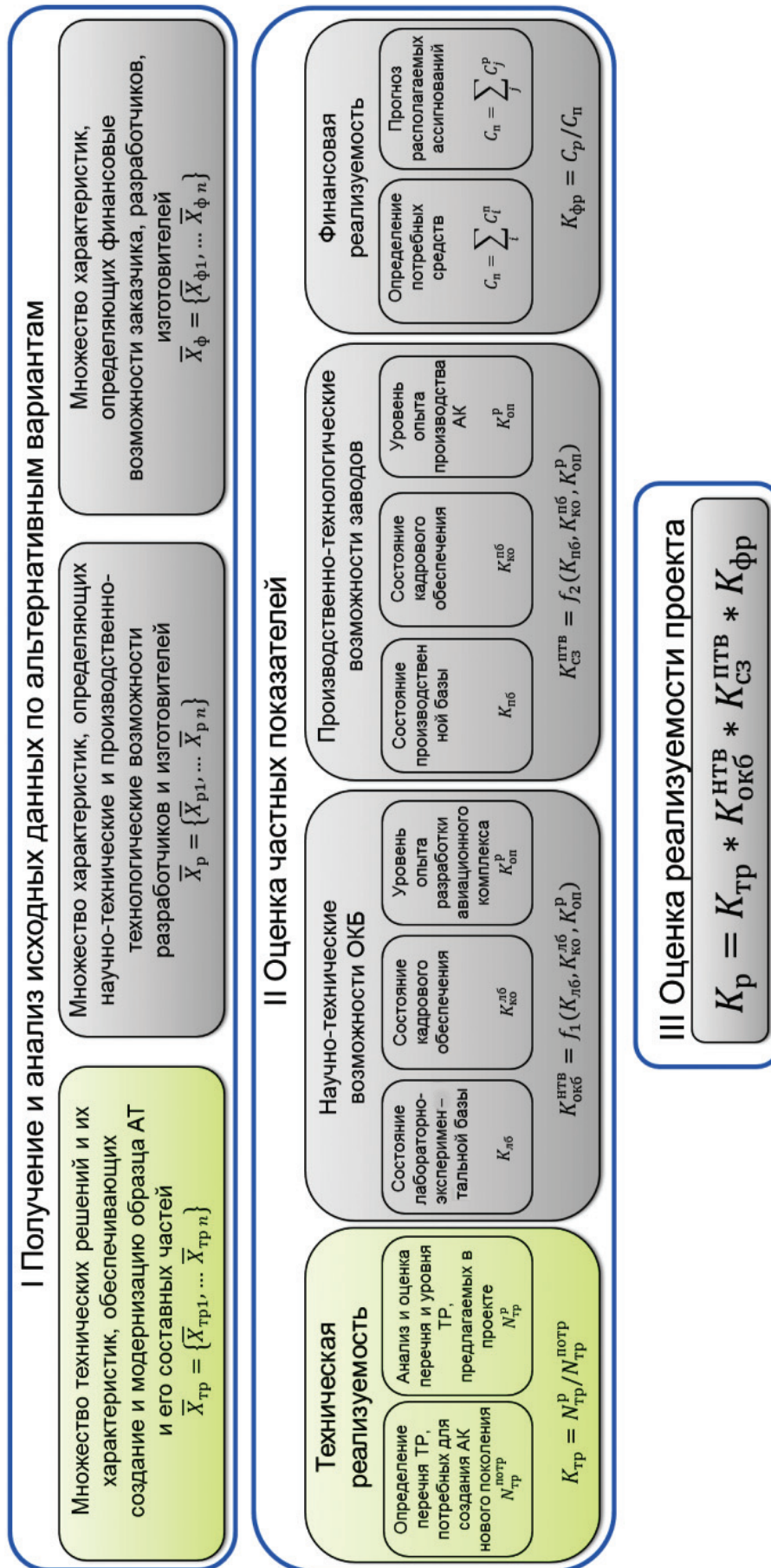


Рис. 1. Пример подхода к оценке реализуемости проекта

- научно-технические возможности конструкторского бюро (КБ) (организационно-техническая реализуемость проекта);
- производственно-технологические возможности;
- финансовая реализуемость.

Модель комплексной оценки научных проектов подробно описана в работах [5–9]. Она учитывает технологическую, организационную, финансовую и другие стороны проекта. В настоящее время для оценки уровня готовности технологии используется хорошо зарекомендовавший себя подход, основанный на применении 9-уровневой шкалы TRL (Technology Readiness Level) [10] или ее российского аналога УГТ (Уровень Готовности Технологии), позволяющей различным группам специалистов (руководителям, менеджерам, администраторам, исследователям, конструкторам, технологам и т.д.) понимать, насколько данная технология в своем развитии продвинулась от научной идеи до практического применения.

На основе метода TRL была разработана методология TPRL (Technology Project Readiness Level), учитывающая также технологическую (TRL), производственную (MRL), организационную (ORL), финансовую (рыночную) (CRL) готовность и т.д.

Преимущество этой методологии в том, что при оценке уровня готовности проектов используются не только критерии, характеризующие тот или иной уровень готовности (как это принято в методе TRL), но и документы, на основании которых подтверждается выполнение данных критериев, причем эта оценка делается независимыми экспертами.

Постановка задачи

Использование описанных выше методик при комплексном сравнении АК должно производиться совместно с учетом реализуемости летно-технических характеристик (ЛТХ) самолета. Например, одним из критериев Z при сравнении АК является критерий эффективность – стоимость (\mathcal{E}/C). Однако при наличии факторов, носящих не только детерминированный характер, но и случайный, этот критерий должен быть дополнен показателем реализуемости R заявленных параметров эффективности – в том числе и летно-технических характеристик:

$$Z = \frac{\mathcal{E}}{C} \cdot R.$$

Под реализуемостью ЛТХ понимается вероятность достижения заявленных в ТТЗ летно-технических характеристик, и этот критерий должен также учитываться при формировании облика летательного аппарата (ЛА).

Для определения вероятности достижения ЛТХ необходимо обладать законом распределения каждой характеристики, причем на этот закон оказывают влияние распределения входных параметров. В работе [9] описаны подходы к определению закона распределения ЛТХ. Учет влияния неопределенностей параметров ЛА на ЛТХ отражен в работах [11–23], что также подтверждает актуальность рассматриваемой задачи.

Методы решения

Решение поставленной задачи осуществляется с использованием математического аппарата теории вероятности, на основе которого необходимо получить формульные зависимости, связывающие частные изменения законов распределения параметров летательного аппарата с изменением законов распределения его ЛТХ. Полученные зависимости позволят составить механизм учета рисков реализации ЛТХ ЛА при формировании его облика.

Отклонение параметров проектируемых подсистем от заданных номинальных значений происходит в результате воздействия множества случайных факторов. В таких случаях закон распределения соответствующих параметров можно считать близким к нормальному, но с ограниченными пределами. Всегда можно установить границы, за пределы которых данный параметр ни при каких разумных условиях выйти не может.

Распределение входных параметров можно получить на основе статистических данных, математического моделирования, а также методом экспертных оценок, т. е. используя опыт специалистов подразделений КБ.

Так как на выделенные факторы риска воздействует множество случайных событий, закон распределения этих факторов примем нормальным. Главная особенность нормального закона распределения в том, что он является предельным законом, к которому приближаются другие законы распределения при весьма часто встречающихся типичных условиях.

Законы распределения входных параметров ограничим тремя среднеквадратическими отклонениями (по правилу трех сигм). В этом случае вероятность того, что случайная величина окажется внутри установленных границ, составляет

0,9973. То есть вероятность того, что случайная величина отклонится от своего математического ожидания на величину, большую чем утроенное среднее квадратичное отклонение, практически равна нулю.

Реализуемость летно-технических характеристик

Вероятность достижения заданного в ТТЗ значения равна определенному интегралу в пределах от $X_{ТТЗ}$ до X_{max} для ЛТХ, определяемых по прин-

$$P = \int_{X_{min}}^{X_{ТТЗ}} f(x)d(x);$$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_F \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_F)^2}{2\sigma_F^2}},$$

где $f(x)$ – нормальный закон распределения летно-технической характеристики.

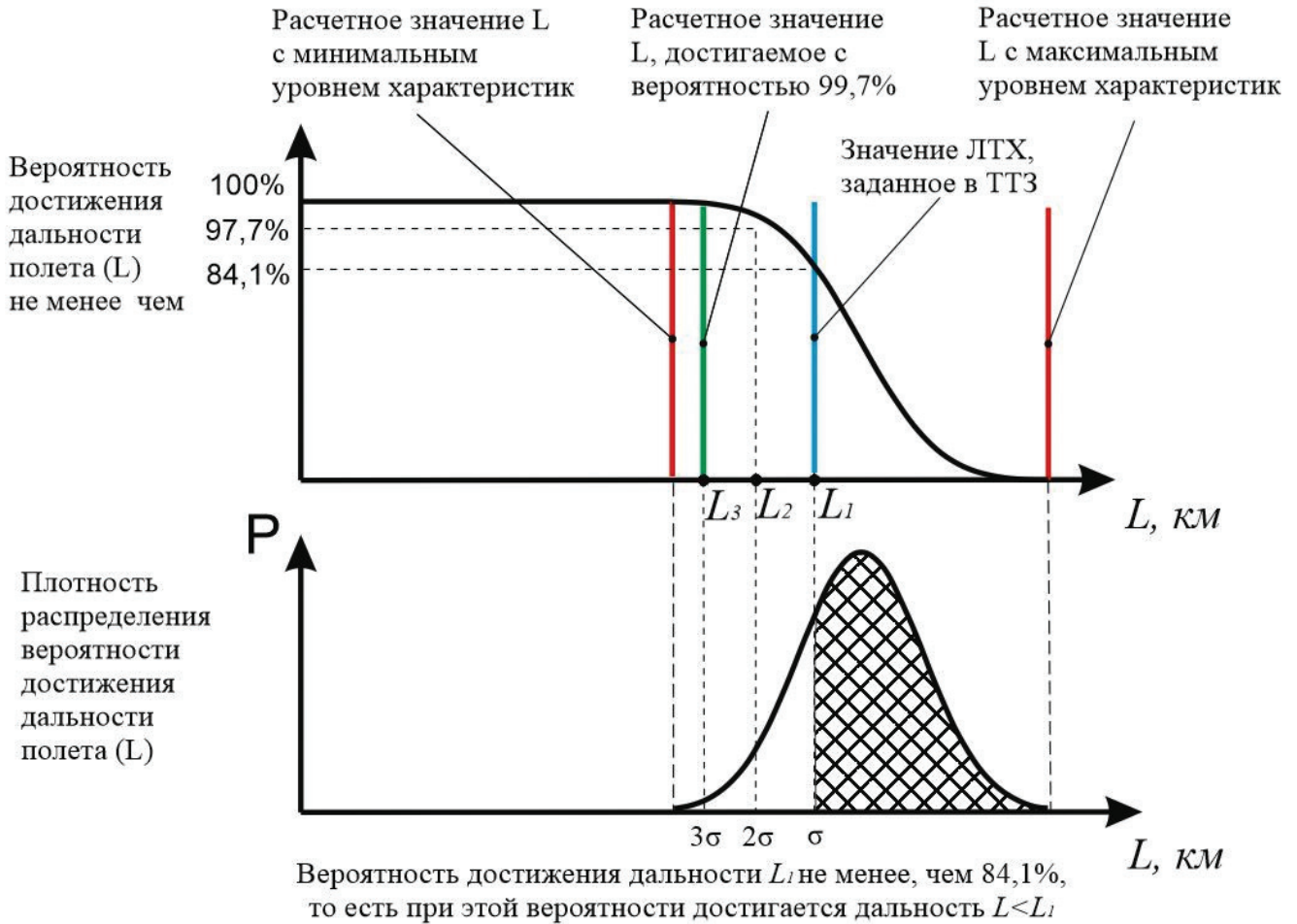


Рис. 2. Вероятность достижения заданной дальности полета

ципу больше-лучше (потолок, скороподъемность, время барражирования и т.д. (рис. 2 и 3):

$$P = \int_{X_{ТТЗ}}^{X_{max}} f(x)d(x).$$

Для ЛТХ, основанных на принципе меньше-лучше (время разгона, длина разбега и т.д.), вероятность рассчитывается в пределах от X_{min} до $X_{ТТЗ}$:

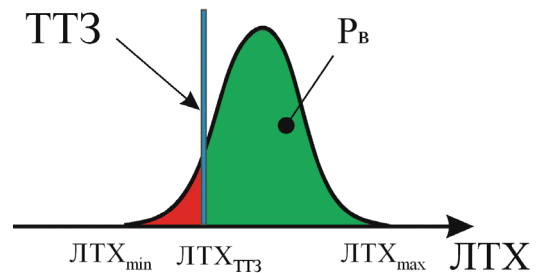


Рис. 3. Определение вероятности достижения значения ЛТХ, заданного в ТТЗ

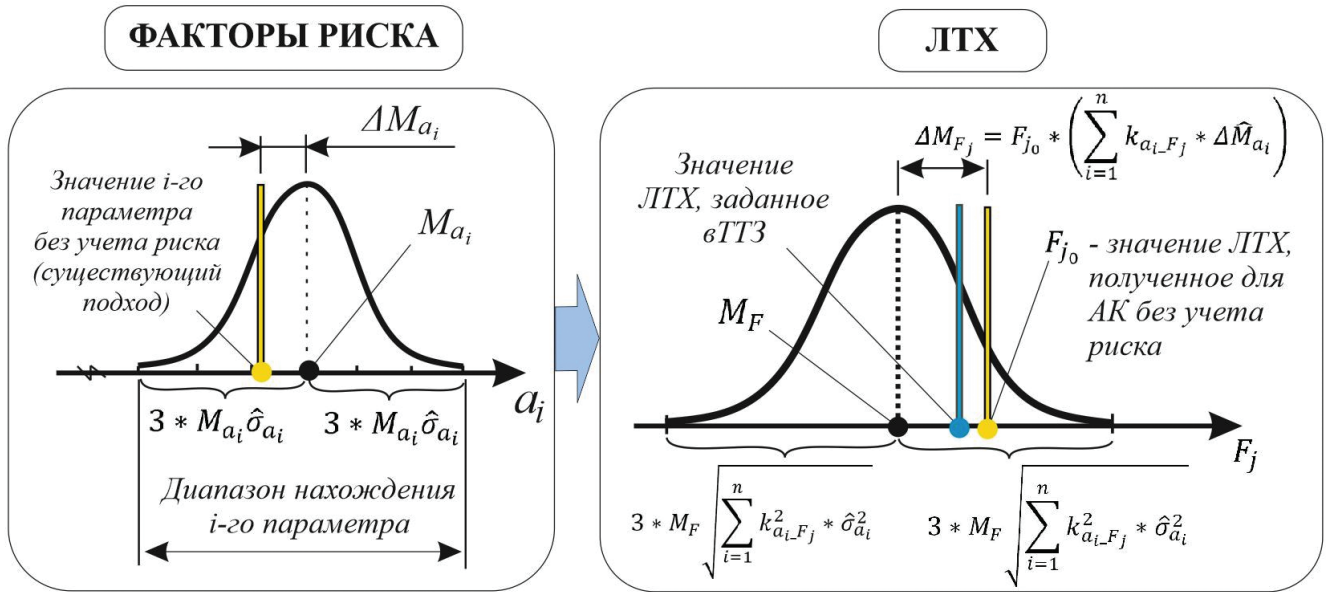


Рис. 4. Параметры нормального закона распределения факторов риска и ЛТХ

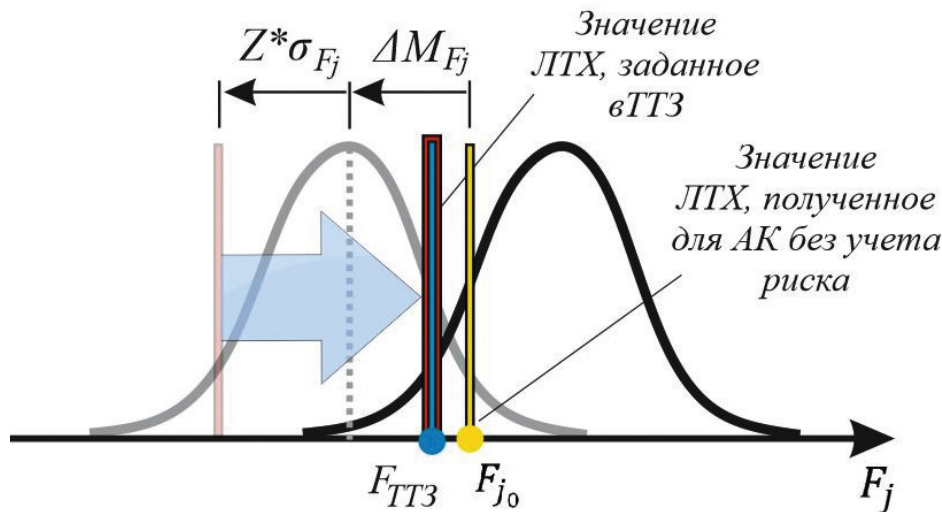


Рис. 5. Необходимое расположение закона распределения ЛТХ для соответствия требованиям ТТЗ

Δa_i — приращения независимых друг от друга параметров ЛА (факторы риска).

Решением системы неравенств является множество $\Delta a_1, \Delta a_2, \dots, \Delta a_n$, позволяющее определить оптимальное направление доработки при несоответствии заявленных ЛТХ требуемым (рис. 5), а также выделить при проектировании необходимые запасы на значения параметров.

Потребное изменение ЛТХ в относительном виде будет равно:

$$\Delta \hat{F}_j = \frac{\Delta F}{F_{j_0}} = \frac{F_{TT3} - F_{j_0} - \Delta M_{F_j} - Z \sigma_{F_j}}{F_{j_0}}, \quad (2)$$

где F_{TT3} — значение j -й ЛТХ, заданное в ТТЗ;

Z — количество средних квадратических отклонений (СКО).

Количество СКО (рис. 6) характеризует значение установленного уровня вероятности. Некоторые значения Z и соответствующие им уровни вероятности приведены в таблице.

Подставив параметры законов распределения факторов риска, получим следующую формулу:

$$\Delta \hat{F}_j = \frac{F_{TT3} - F_{j_0} - M_F \cdot \sum_{i=1}^n (k_{a_i, F_j} \cdot \Delta \hat{M}_{a_i})}{F_{j_0}}$$

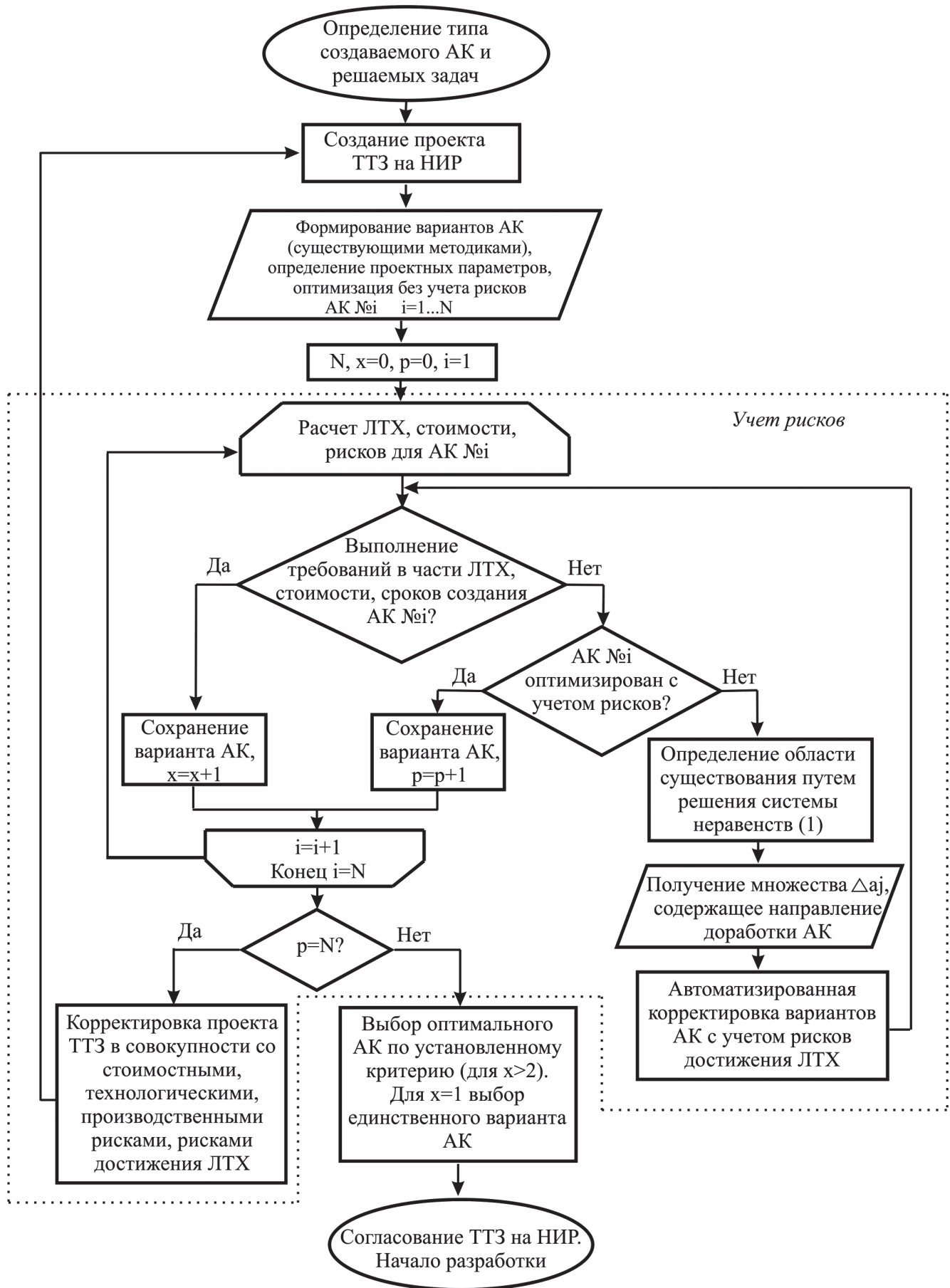


Рис. 6. Блок-схема формирования облика АК

Значения числа Z и соответствующие им уровни вероятности

Заданная вероятность P , %	70	75	80	85	90	95	97,7	99,9
Число Z для ЛТХ «меньше-лучше» (время разгона, длина разбега, ...)	0,54	0,67	0,85	1,05	1,3	1,65	2	3
Число Z для ЛТХ «больше-лучше» (практический потолок, дальность полета, ...)	-0,54	-0,67	-0,85	-1,05	-1,3	-1,65	-2	-3

$$\frac{Z \cdot M_F \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n k_{a_i-F_j}^2 \cdot \hat{\sigma}_{a_i}^2}}{F_{j_0}} \quad (3)$$

Получив множество значений Δa_n , лицо, принимающее решение (конструкторский коллектив, главный конструктор), выбирает рациональное направление для доводки рассматриваемых вариантов АК. Общая схема последовательности действий показана на рис. 6.

Решения, принимаемые для выполнения требований ТТЗ в части ЛТХ, касаются не только ЛТХ. Они могут оказывать влияние на финансовую, временную, технологическую стороны проекта. Например, уменьшение массы может привести к увеличению стоимости конструкции и сроков ее создания, доводка аэродинамических характеристик – стоимости и сроков научно-исследовательской работы в целом и так далее.

Если после доработки рассматриваемых вариантов АК требования ТТЗ в части ЛТХ не выполняются с приемлемым уровнем вероятности (и при этом синтез альтернативных вариантов АК невозможен по причине финансовых, технологических, временных или других ограничений), то на защите этапа АП должно быть принято решение о внесении корректировок в ТТЗ, так как в противном случае его требования будут не выполнимы. Эти корректировки могут касаться как ЛТХ АК, так и других требований.

Полученные на основе аппарата теории вероятности формулы (2) и (3) устанавливают связь между потребным изменением ЛТХ и параметрами законов распределения факторов риска.

Представленная методика содержит в своем алгоритме существующие методики формирования облика, а учет рисков достижения заданных в ТТЗ ЛТХ является дополнительным модулем к имеющимся методикам, который позволяет оце-

нивать риск реализации ЛТХ и учитывать эти риски непосредственно при формировании облика ЛА.

Выводы

Учет рисков создания АК является необходимым элементом при сравнении вариантов АК, а также при оценке реализации программы в целом. Описанный в статье подход учета рисков создания АК на ранних этапах разработки позволяет оценить вероятность реализации программы в части достижения авиационным комплексом летно-технических характеристик. Предложенный алгоритм позволяет учитывать риски достижения заданных ЛТХ непосредственно при формировании облика АК.

Применение результатов данного исследования для дополнения общей методики позволяет комплексно сравнить варианты АК при воздействии вероятностных (случайных) факторов.

Библиографический список

1. *Мышкин Л.В.* Прогнозирование развития авиационной техники. - 4-е изд., доп. и перераб. – М.: Наука, 2017. – 480 с.
2. *Барковский В.И., Скопец Г.М., Степанов В.Д.* Методология формирования технического облика экспортно ориентированных авиационных комплексов. – М.: Физматлит, 2008. – 244 с.
3. *Скопец Г.М.* Внешнее проектирование авиационных комплексов. Методологические аспекты. – М.: Лепанд, 2017. – 344 с.
4. *Платунов В.С.* Методология системных военно-научных исследований авиационных комплексов. – М.: Дельта, 2005. – 344 с.
5. *Комаров А.В., Петров А.Н., Сартори А.В.* Модель комплексной оценки технологической готовности инновационных научно-технологических проектов // Экономика науки. 2018. Т. 4. № 1. С. 47–57. DOI: 10.22394/2410-132X-2017-4-1-47-57
6. *Петров А.Н., Сартори А.В., Филимонов А.В.* Комплексная оценка состояния научно-технических проектов через уровень готовности технологий //

- Экономика науки. 2016. Т. 2. № 4. С. 244-260. DOI: 10.22394/2410-132x-2016-2-4-244-260
7. Мантуров Д.В., Калачанов В.Д., Клочков В.В. Методический подход к обеспечению реализуемости авиастроительных программ // Организатор производства. 2012. № 1. С. 49-53.
 8. Проценко Е.В. Методика оценки рисков инновационных проектов научно-производственного предприятия авиационного машиностроения // Вестник Московского авиационного института. 2016. Т. 23. № 3. С. 200-207.
 9. Фомкина В.И., Шатловская К.В. Анализ и оценка инвестиционных рисков авиационных предприятий // Вестник Московского авиационного института. 2012. Т. 19. № 1. С. 180-187.
 10. ISO 16290:2013. Space systems – Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment. URL: <https://www.iso.org/standard/56064.html>
 11. Денисов В.Е., Исаев В.К., Рябов А.М., Шкадов Л.М. Статистическая оценка характеристик проектируемого самолета с помощью метода Монте-Карло // Ученые записки ЦАГИ. 1973. Т. IV. №2. С. 137–142.
 12. Ravachol M., Deremeaux Y., Dinh Q.V., Herbin E. Uncertainties at the conceptual stage: Multilevel multidisciplinary design and optimization approach // 26th International Congress of the Aeronautical Sciences ICAS-2008 (14-19 September 2008; Anchorage, Alaska).
 13. Pfeiffer T., Moerland E., Böhnke D., Nagel B., Gollnick V. Aircraft configuration analysis using a low-fidelity, physics based aerospace framework under uncertainty considerations // 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences ICAS 2014 (7-12 September 2014; St. Petersburg, Russia).
 14. Neufeld D., Chung J., Behdinan K. Aircraft Conceptual Design Optimization with Uncertain Contributing Analyses // AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference (10–13 August 2009; Chicago, Illinois). DOI: 10.2514/6.2009-6237
 15. Kirby M.R., Mavris D.N. Forecasting Technology Uncertainty in Preliminary Aircraft Design // AIAA, World Aviation Conference (19-21 October 1999; San Francisco, CA). DOI:10.4271/1999-01-5631
 16. Mavris D.N., DeLaurentis D.A. A Stochastic Design Approach for Aircraft Affordability // 21st Congress of the International Council on the Aeronautical Sciences ICAS (September 1998. Melbourne, Australia). URI: <http://hdl.handle.net/1853/6278>
 17. Hosseini M., Nosratollahi M., Sadati H. Multidisciplinary Design Optimization of UAV under Uncertainty // Journal of Aerospace Technology and Management. 2017. Vol. 9. No. 2, pp. 169-178. DOI: 10.5028/jatm.v9i2.725
 18. Mavris D.N., DeLaurentis D.A., Soban D.S. Probabilistic Assessment of Handling Qualities Characteristics in Preliminary Aircraft Design // 36th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (12-15 January 1998; Reno, NV, U.S.A.). DOI: 10.2514/6.1998-492
 19. Campbell A., Cheng A. Uncertainty Limits for an Aircraft-Based Runway Friction Assessment Method. - Aviation Research Division FAA William J. Hughes Technical Center Atlantic City, USA, 2016. URI: http://www.icrat.org/icrat/seminarContent/2016/papers/51/ICRAT_2016_paper_51.pdf
 20. Mavris D.N., DeLaurentis D.A. A Stochastic Design Approach for Aircraft Affordability // 21st Congress of the International Council on the Aeronautical Sciences ICAS (September 1998; Melbourne, Australia). GA 30332-0150, 1998. URI: <http://hdl.handle.net/1853/6278>
 21. DeLaurentis D.A., Mavris D.N., Schrage D.P. Schrage System Synthesis in Preliminary Aircraft Design Using Statistical Methods // 20th International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS) Congress (8-13 September 1996; Sorrento, Italy). URI: <http://hdl.handle.net/1853/6282>
 22. Veresnikov G.S., Pankova L.A., Pronina V.A. et al. Determining maneuverable aircraft parameters in preliminary design under conditions of uncertainty // 21st International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information & Engineering Systems KES-2017 (6-8 September 2017; Marseille, France). DOI: 10.1016/j.procs.2017.08.143
 23. Журавлев П.В. Проектирование пассажирских самолетов с учетом факторов неопределенности их функционирования в составе парка // Вестник Московского авиационного института. 2009. Т. 16. № 3. С. 5-14.
 24. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. –576 с.

AN APPROACH TO THE PROBABILITY DETERMINING OF THE SPECIFIED FLIGHT PERFORMANCE ACHIEVING, AND ACCOUNT FOR RISK FACTORS WHILE AN AIRCRAFT APPEARANCE FORMING

Klyagin V.A.^{*}, Laushin D.A.^{**}

*Moscow Aviation Institute (National Research University), MAI,
4, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125993, Russia*

** e-mail: kliagin@mail.ru*

*** e-mail: laushin.d@yandex.ru*

Abstract

When considering practicality of works unfurling on one or another project implementation, the possibility of this project realization should be assessed mandatory along with its financial or other feasibility assessing.

The project realizability is understood as the capability of solving the necessary set of scientific and technical, planning and design, production and technological and organizational tasks to fulfill due-by-date the full scope of works, ensuring creation of a new or modernized aviation complex (AC).

A great variety of factors affects the AC realizability. The following basic factors can be outlined among them:

- Technical realizability;
- Scientific and technical capabilities of the design bureau (organizational and technical realizability of the project);
- Production and technological capabilities;
- Financial feasibility.

The realizability assessment of science-intensive projects is performed on the based on assessments of the main types of risks present while the projects implementation. Risk levels of a program implementation are the estimated value of the factors of various nature impact on the end result of the program in terms of the target indicators achieving. The main target indicator for the program implementation is of the selected version of the AC timely creation, meeting the requirements of the tactical and technical assignment (TTA).

The state-of-the-art techniques application for the complex comparison of the aircraft should be performed in conjunction with the aircraft flight performance (AP) realizability. The flight performance realizability is understood as the probability of achieving the flight performance characteristics declared in the design specifications. To determine the probability of the AP achieving, knowledge of a distribution law for each characteristic is necessary,

and these laws are affected herewith by the distribution of the input parameters. The input parameters distribution can be obtained based on statistical data, mathematical modeling, as well as by the expert assessments method. As far as the highlighted risk factors are being affected by many random events, the distribution law of these factors is assumed to be normal. The main feature of the normal distribution law is that it is a limiting law, which is being approached by other distribution laws under rather frequently encountered typical conditions. The presented technique includes in its algorithm the first technique for the appearance forming, and accounting for the risks of the AP achieving specified in the design specifications is an additional module to the existing techniques. This module allows assessing the risk of flying performance realization and account for these risks directly while the aircraft appearance forming. The obtained formulas establish interrelation between the required flight performance changes and parameters of distribution laws of the risk factors.

The account for the risks of the AC creating is a necessary element when comparing the AC options, as well as while assessing the program implementation as a whole. The approach described in the article to the accounting for the risks of an aircraft creating at the early stages of development allows assessing the likelihood of the program implementation in terms of achieving flight performance by the aviation complex.

This study results application to supplement the general technique allows complex comparison of the AC options under the impact of the probabilistic (random) factors.

Keywords: uncertainty, risk factors, flight performance, aircraft preliminary design.

References

1. Myshkin L.V. *Prognozirovanie razvitiya aviatsionnoi tekhniki* (Forecasting the aviation technology development), Moscow, Nauka, 2017, 480 p.

2. Barkovskii V.I., Skopets G.M., Stepanov V.D. *Metodologiya formirovaniya tekhnicheskogo oblika eksportno orientirovannykh aviatsionnykh kompleksov* (Methodology of export-oriented aviation complexes technical appearance forming), Moscow, Fizmatlit, 2008, 244 p.
3. Skopets G.M. *Vneshnee projektirovanie aviatsionnykh kompleksov. Metodologicheskie aspekty* (External design of aviation complexes: Methodological aspects), Moscow, Lenand, 2017, 344 p.
4. Platunov V.S. *Metodologiya sistemnykh voenno-nauchnykh issledovaniy aviatsionnykh kompleksov* (Methodology of system military-scientific research of aviation complexes), Moscow, Del'ta, 2005, 344 p.
5. Komarov A.V., Petrov A.N., Sartori A.V. *Ekonomika nauki*, 2018, vol. 4, no. 1, pp. 47–57. DOI: 10.22394/2410-132X-2017-4-1-47-57
6. Petrov A.N., Sartori A.V., Filimonov A.V. *Ekonomika nauki*, 2016, vol. 2, no. 4, pp. 244–260. DOI: 10.22394/2410-132x-2016-2-4-244-260
7. Manturov D.V., Kalachanov V.D., Klochkov V.V. *Organizator proizvodstva*, 2012, no. 1, pp. 49–53.
8. Protsenko E.V. Aviation mechanical engineering scientific production enterprise innovative projects risks assessment method. *Aerospace MAI Journal*, 2016, vol. 23, no. 3, pp. 200–207.
9. Fomkina V.I., Shatlovskaya K.V. Analysis and assessment of investment risks of aviation enterprises. *Aerospace MAI Journal*, 2012, vol. 19, no. 1, pp. 180–187.
10. *ISO 16290:2013. Space systems – Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment*. URL: <https://www.iso.org/standard/56064.html>
11. Denisov V.E., Isaev V.K., Ryabov A.M., Shkadov L.M. *Uchenye zapiski TsAGI*, 1973, vol. IV, no. 2, pp. 137–142.
12. Ravachol M., Deremeaux Y., Dinh Q.V., Herbin E. Uncertainties at the conceptual stage: Multilevel multidisciplinary design and optimization approach. *26th International Congress of the Aeronautical Sciences ICAS-2008 (14-19 September 2008; Anchorage, Alaska)*.
13. Pfeiffer T., Moerland E., Böhnke D., Nagel B., Gollnick V. Aircraft configuration analysis using a low-fidelity, physics based aerospace framework under uncertainty considerations. *29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences ICAS 2014 (7-12 September 2014; St. Petersburg, Russia)*.
14. Neufeld D., Chung J., Behdinan K. Aircraft Conceptual Design Optimization with Uncertain Contributing Analyses. *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference (10–13 August 2009; Chicago, Illinois)*. DOI: 10.2514/6.2009-6237
15. Kirby M.R., Mavris D.N. Forecasting Technology Uncertainty in Preliminary Aircraft Design. *AIAA, World Aviation Conference (19-21 October 1999; San Francisco, CA)*. DOI:10.4271/1999-01-5631
16. Mavris D.N., DeLaurentis D.A. A Stochastic Design Approach for Aircraft Affordability. *21st Congress of the International Council on the Aeronautical Sciences ICAS (September 1998, Melbourne, Australia)*. URI: <http://hdl.handle.net/1853/6278>
17. Hosseini M., Nosratollahi M., Sadati H. Multidisciplinary Design Optimization of UAV under Uncertainty. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 2017, vol. 9, no. 2, pp. 169–178. DOI: 10.5028/jatm.v9i2.725
18. Mavris D.N., DeLaurentis D.A., Soban D.S. Probabilistic Assessment of Handling Qualities Characteristics in Preliminary Aircraft Design. *36th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (12-15 January 1998; Reno, NV, USA)*. DOI: 10.2514/6.1998-492
19. Campbell A., Cheng A. *Uncertainty Limits for an Aircraft-Based Runway Friction Assessment Method*. Aviation Research Division FAA William J. Hughes Technical Center Atlantic City, USA, 2016. URI: http://www.icrat.org/icrat/seminarContent/2016/papers/51/ICRAT_2016_paper_51.pdf
20. Mavris D.N., DeLaurentis D.A. A Stochastic Design Approach for Aircraft Affordability. *21st Congress of the International Council on the Aeronautical Sciences ICAS (September 1998; Melbourne, Australia)*. GA 30332-0150, 1998. URI: <http://hdl.handle.net/1853/6278>
21. DeLaurentis D.A., Mavris D.N., Schrage D.P. Schrage System Synthesis in Preliminary Aircraft Design Using Statistical Methods. *20th International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS) Congress (8-13 September 1996; Sorrento, Italy)*. URI: <http://hdl.handle.net/1853/6282>
22. Veresnikov G.S., Pankova L.A., Pronina V.A. et al. Determining maneuverable aircraft parameters in preliminary design under conditions of uncertainty. *21st International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information & Engineering Systems KES-2017 (6-8 September 2017; Marseille, France)*. DOI: 10.1016/j.procs.2017.08.143
23. Zhuravlev P.V. Design of passenger airplanes taking into account operational uncertainty factors related to aircraft fleet structure. *Aerospace MAI Journal*, 2009, vol. 16, no. 3, pp. 5–14.
24. Venttsel' E.S. *Teoriya veroyatnostei* (Probability theory), Moscow, Nauka, 1969, 576 p.