

УДК 004.415.25

ББК 39.5

DOI 10.51955/2312-1327\_2021\_3\_6

## РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ\*

*Людмила Геннадьевна Большедворская,  
orcid.org/0000-0002-1425-7398,  
доктор технических наук, доцент  
Московский государственный технический университет  
гражданской авиации,  
Кронштадтский б-р, 20,  
Москва, 125993, Россия  
l.bolshedvorskaya@mstuca.aero*

*Николай Дмитриевич Корягин,  
orcid.org/0000-0003-2097-5414,  
кандидат технических наук, профессор  
Московский государственный технический университет  
гражданской авиации  
Кронштадтский б-р, 20,  
Москва, 125993, Россия  
n.koryagin@mstuca.aero*

**Аннотация.** Доступность информационных образовательных ресурсов для получения новых и дополнительных профессиональных знаний приобрела повышенную актуальность в последние годы. Это обусловлено тем, что применение экспертных систем открывает серию преимуществ: расширение географических и временных возможностей; неограниченная доступность; повышение интенсивности обучения; оптимизация получения и передачи знаний. При этом возникает острая необходимость оценки эффективности и результативности экспертных систем при оценке уровня квалификации специалистов, обеспечивающих безопасность полетов (БП) в гражданской авиации. В настоящее время, в зависимости от сферы деятельности, понятия эффективность и результативность трактуются по-разному. Чаще всего результативность отражает степень достижения запланированного результата. Эффективность представляет собой сопоставление результата с затратами на его достижение. Практика применения балльных и рейтинговых оценок для оценки обучения инспекторов по надзору за безопасностью полетов в формате применения экспертных систем, как показали результаты ранее проводимого исследования, отражает только результативность и не дает возможности сравнить процессы обучения с позиции эффективности их реализации. В связи с этим, целью данной работы является разработка нового оценочного механизма, сочетающего в себе результативность и эффективность применения экспертных систем. Этим обусловлена актуальность представленной работы.

**Ключевые слова:** компетентность, гражданская авиация, экспертные системы.

\*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта № 19-08-00028 «Разработка концепции построения архитектуры и состава алгоритмов экспертной системы повышения эффективности подготовки инспекторов по надзору за безопасностью полетов воздушных судов гражданской авиации», выполняемого в Московском государственном техническом университете гражданской авиации (МГТУ ГА). Руководитель проекта –

кандидат технических наук, профессор, зав. кафедрой экономики и управления на воздушном транспорте МГТУ ГА Корягин Н.Д.

## DEVELOPMENT OF A MECHANISM FOR ASSESSING THE PERFORMANCE AND EFFICIENCY OF APPLICATION OF EXPERT SYSTEMS\*

*Ljudmila G. Bolshedvorskaya*

*orcid.org/0000-0002-1425-7398*

*Doctor of Technical Sciences, Associate Professor*

*Moscow State Technical University*

*of Civil aviation*

*20 Kronshtadtsky blvd*

*Moscow, 125993, Russian Federation*

*l.bolshedvorskaya@mstuca.aero*

*Nikolaj Dmitrievich Koryagin*

*orcid.org/0000-0003-2097-5414*

*Candidate of Technical Sciences, Professor*

*Moscow State Technical University*

*of Civil aviation*

*20 Kronshtadtsky blvd*

*Moscow, 125993, Russian Federation*

*n.koryagin@mstuca.aero*

**Abstract.** The availability of IT educational resources for obtaining new and additional professional knowledge has become increasingly relevant in recent years. This is due to the fact that the use of expert systems opens up a series of advantages: expansion of geographical and temporal possibilities; unlimited availability; increasing the intensity of training; optimization of the acquisition and transfer of knowledge. At the same time, there is an urgent need to assess the effectiveness and efficiency of expert systems when assessing the level of qualifications of specialists who ensure flight safety (FS) in civil aviation. Currently, depending on the field of activity, the concepts of efficiency and effectiveness are interpreted in different ways. More often than not, performance reflects the degree to which a planned result has been achieved. Efficiency is the comparison of the result with the cost of achieving it. The practice of using points and ratings to assess the training of safety oversight inspectors in the format of using expert systems, as shown by the results of a previous study, reflects only the effectiveness and does not provide an opportunity to compare the learning processes from the standpoint of the effectiveness of their implementation. In this regard, the purpose of this work is to develop a new evaluation mechanism that combines the effectiveness and efficiency of the use of expert systems. This explains the relevance of the presented work.

**Key words:** competence, civil aviation, expert systems.

\*Publication was prepared within the framework of project No. 19-08-00028, supported by a grant from the Russian Foundation for Fundamental Research (RFFI).

### Введение

Судя по результатам научных достижений в области применимости экспертных систем, оценка результативности и эффективности может рассматриваться в двух аспектах: оценка обучающих программ и оценка уровня профессиональной подготовленности [Большедворская и др., 2019, с. 13-26; Гусева и др., 2013; Кузькин, 2014, с. 67; Орлова, 2012, с. 199; Rodrigues-

Bachiller, 2000, с. 415-448].

Так, например, в работе, посвященной результативности и эффективности образовательных программ показано, что за основу результативности образовательной программы можно использовать набор индикаторов, значение которых оценивается по двоичной шкале (0,1). Теоретически такой подход оценки результативности экспертных систем профессиональной подготовки инспекторов по надзору за безопасностью полетов может быть адаптирован для получения пороговых значений уровня компетентности с учетом величины предотвращенного ущерба [Гусева и др., 2013].

$$P = x_k * \left[ 1 - \sum_{i=1}^{n-1} w_i \frac{(x_i - x_{фактi})}{x_i} \right] \quad (1)$$

Особенностью профессиональной подготовки инспекторов по надзору за безопасностью полетов является то, что она должна формироваться посредством реализации программ обучения, отражающих развитие компетенций, сформулированных в соответствии с оценкой риска безопасности полетов [Аксенов et al., 2009. с. 256-260]. Оценка риска учитывает вероятность возникновения опасного события и тяжесть его последствий (рис. 1).

На основании этого следует предположить, что, идентифицировав и классифицировав каждое опасное событие по вероятности возникновения и тяжести их последствий, можно выстроить принципиально новую интегральную оценку профессиональной подготовки, отражающую степень компетентности и профессиональной пригодности инспекторов с учетом ошибочных выводов и заключений, которые могут привести к опасному событию и дисбалансу выполнения основных ключевых показателей деятельности [Lehto, 1986; Ishikawa et al., 1996, с. 351-356].

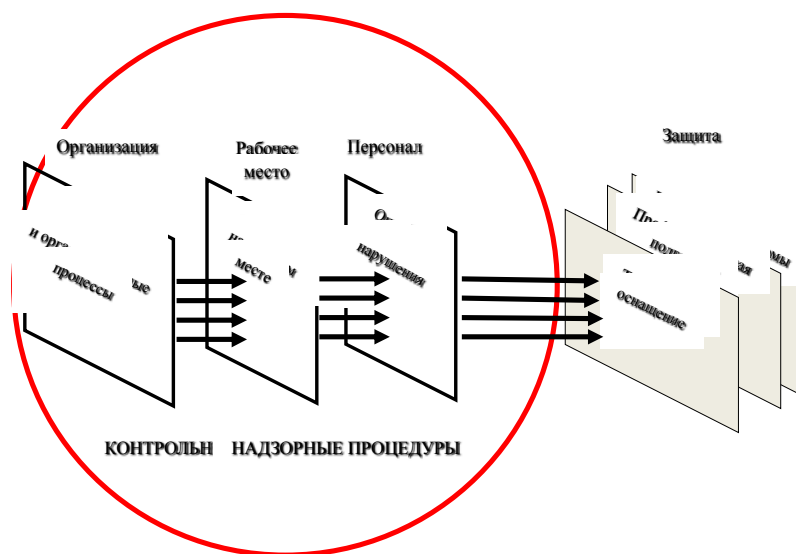


Рисунок 1 – Роль контрольно-надзорных процедур в обеспечении безопасности полетов

## Материал и методы

Решение задачи оценки обучения представлено в работе [Рухлинский и др., 2019], где была предложена классификация тяжести последствий опасных событий, состоящая из четырех групп: отсутствие существенного воздействия на результаты производственного процесса с периодичностью возникновения от 0 до 1 события; низкая степень воздействия, с периодичностью от 1 до 2 событий в отчетном периоде; средняя степень воздействия – от 2 до 3 событий; 3 и более событий при сильном воздействии компетентности на результаты подготовленности инспекторов (рис. 2).

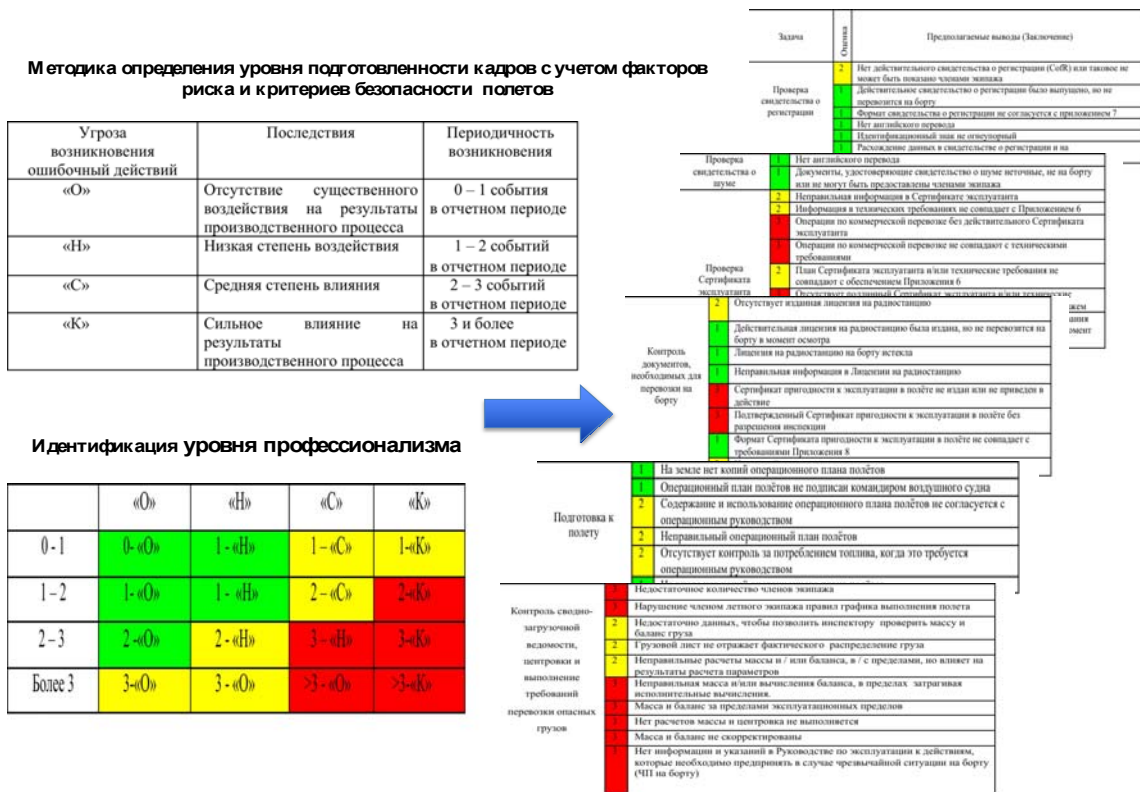


Рисунок 2 – Методический подход к оценке результативности обучения

Данная классификация отражает лишь результативность обучения в зависимости от проведения контрольно-надзорных процедур и риска возникновения авиационных событий. Для оценки эффективности обучения необходима разработка нового подхода к оценке уровня подготовки инспекторов по надзору за безопасностью полетов с учетом результативности и затрат на обучение [Diao et al., 2002, с. 801-817; Ariona Lopez et al., 2003, с. 95-101].

## Анализ и результаты

Предположим, что существует необходимость проведения переподготовки  $n$ -го количества инспекторов по надзору за безопасностью. Программы переподготовки состоят из девяти модулей. По программе каждого модуля могут пройти обучение не менее  $b_{j2}$ , но не более  $b_{j1}$  инспекторов по

надзору за безопасностью полетов. Причем, каждый из обучающихся может пройти подготовку только по одной программе.

$$b_{j2} \leq \sum_{i=1} x_{ij} \leq b_{j1} \quad (2)$$

По каждому из модулей запланирована минимальная численность обучающихся и максимально необходимая. Эффективность обучения обусловлена оценкой затрат.

$$\sum_i \sum_j d_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (3)$$

В настоящее время известны результаты научных достижений отечественных и зарубежных исследователей, посвященных решению подобных задач [Lvovich et al., 2019, с. 33079; Aksyonov et al., 2009, с. 256-260].

Для решения задачи предлагается метод последовательной сепарации [Петрунин, 2006]. На основе этого метода на языке Fox-Pro разработана программа, результаты расчетов по которой представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Варианты моделирования экспертной системы обучения инспекторов по надзору за безопасностью полетов с учетом результативности и эффективности обучения

Итерация 1										Итерация 2									
	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4	Модуль 5	Модуль 6	Модуль 7	Модуль 8	Модуль 9		Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4	Модуль 5	Модуль 6	Модуль 7	Модуль 8	Модуль 9
А	46	32	41	32	54	46	74	18	93	А	46	32	41	32	54	46	74	18	93
Б	50	22	48	32	76	16	50	34	36	Б	50	22	48	32	76	16	50	34	36
В	27	68	15	32	30	27	85	89	70	В	27	68	15	32	30	27	85	89	70
Г	20	16	33	26	60	36	68	37	40	Г	20	16	33	26	60	36	68	37	40
Д	25	20	24	29	56	60	66	53	80	Д	25	20	24	29	56	60	66	53	80
Е	15	29	29	10	59	37	70	50	12	Е	15	29	29	10	59	37	70	50	12
Ж	23	13	28	38	45	61	53	70	80	Ж	23	13	28	38	45	61	53	70	80
З	42	29	34	65	72	19	66	49	13	З	42	29	34	65	72	19	66	49	13
И	55	43	29	78	65	11	33	47	63	И	55	43	29	78	65	11	33	47	63
К	60	29	13	48	30	65	48	52	47	К	60	29	13	48	30	65	48	52	47
Л	40	14	30	25	59	24	55	69	35	Л	40	14	30	25	59	24	55	69	35
М	26	20	40	31	53	26	70	58	10	М	26	20	40	31	53	26	70	58	10
Н	12	18	15	33	25	60	36	78	33	Н	12	18	15	33	25	60	36	78	33
О	80	13	7	34	44	51	26	88	19	О	80	13	7	34	44	51	26	88	19
П	40	33	62	21	80	10	11	13	15	П	46	32	41	32	54	46	74	18	93
План	2-4	1-3	1-4	2-5	1-4	2-3	2-6	2-5	2-4	План	2-4	1-3	1-4	2-5	1-4	2-3	2-6	2-5	2-4
Факт	3	3	2	2	0	1	1	2	1	Факт	4	2	2	2	0	2	1	2	3

Итерация 3									
	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4	Модуль 5	Модуль 6	Модуль 7	Модуль 8	Модуль 9
А	46	32	41	32	54	46	74	18	93
Б	50	22	48	32	76	16	50	34	36
В	27	68	15	32	30	27	85	89	70
Г	20	16	33	26	60	36	68	37	40
Д	25	20	24	29	56	60	66	53	80
Е	15	29	29	10	59	37	70	50	12
Ж	23	13	28	38	45	61	53	70	80
З	42	29	34	65	72	19	66	49	13
И	55	43	29	78	65	11	33	47	63
К	60	29	13	48	30	65	48	52	47
Л	40	14	30	25	59	24	55	69	35
М	26	20	40	31	53	26	70	58	10
Н	12	18	15	33	25	60	36	78	33
О	80	13	7	34	44	51	26	88	19
П	46	32	41	32	54	46	74	18	93
План	2-4	1-3	1-4	2-5	1-4	2-3	2-6	2-5	2-4
Факт	2	2	1	2	1	2	1	2	2

Построение экспертной системы обучения инспекторов на основе метода последовательной сепарации доказывает практическую применимость и эффективность такого подхода, поскольку оценка результативности предлагаемого метода может быть осуществлена на основе результатов целевой функции, представленных в трех итерациях (табл. 2).

Анализируя полученный результат, следует отметить низкий уровень эффективности и результативности при втором варианте моделирования процесса обучения посредством применения экспертной системы, поскольку не выполняется план по планируемой численности обучаемых (красная и желтая зоны). Благополучнее выглядит по выполнению плана подготовки инспекторов по надзору первый вариант по сравнению со вторым, но и он уступает по совокупным затратам на обучение.

Результативное и эффективное решение представлено в третьем варианте, отражающем моделирование процесса посредством применения экспертных систем обучения с высоким уровнем выполнения плана подготовки при минимальных затратах.

Таблица 2 – Оценка эффективности и результативности подготовки инспекторов по надзору за безопасностью полетов

Программы	Планируемая численность		Решение		
	Минимальная	Максимальная	Итерация 1	Итерация 1	Итерация 3
Модуль 1	2	4	3	1	2
Модуль 2	1	3	3	2	2
Модуль 3	1	4	2	2	1
Модуль 4	2	5	2	2	2
Модуль 5	1	4	0	0	1
Модуль 6	2	3	1	2	2
Модуль 7	2	6	1	1	1
Модуль 8	2	5	1	2	2
Модуль 9	2	4	1	3	2
Оценка целевой функции			294	297	288

## Резюме

На основании проведенного исследования конкретизированы важные понятия эффективности и результативности экспертных систем в процессе применения экспертных систем и получены следующие результаты.

Разработка нового оценочного механизма, сочетающего в себе оценку результативности и эффективности применения экспертных систем при подготовке инспекторов по надзору за безопасностью полетов может стать эффективным инструментарием для построения архитектуры экспертных систем.

Методика моделирования процесса обучения с учетом параметров результативности и эффективности позволит расширить возможности применения экспертных систем, отражающих степень компетентности и

профессиональной пригодности инспекторов при ограниченности затрат на обучение.

### Библиографический список

*Большедворская Л. Г.* Анализ применения экспертных систем для диагностирования проблемных зон в системе подготовки летных кадров для гражданской авиации / Л. Г. Большедворская, Н. Д. Корягин // *Инновации в гражданской авиации*. 2019. Т. 4. № 4. С. 4-12.

*Гусева А. И.* Оценка результативности и эффективности сетевых образовательных программ / А. И. Гусева, Е. Б. Весна // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 6. С. 259.

*Кузькин, А. А.* Оценивание показателей эффективности и результативности ИТ-процессов с использованием гибридных нейро-нечетких сетей // *Интернет-журнал Науковедение*. 2014. № 1 (20). С. 67.

*Орлова Л. Н.* Корреляционный анализ сходства параметров экспертной оценки профессиональных умений студентов химико-педагогического факультета Омского государственного педагогического университета // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 2. С. 199.

*Петрунин С. В.* Организационные и логистические методы повышения эффективности производственной деятельности авиакомпаний. М.: АвиаБизнес Групп, 2006. 164 с.

*Рухлинский В. М.* Обеспечение безопасности полетов самолетов нового поколения: монография / В. М. Рухлинский, Л. Г. Большедворская. М.: МГТУ ГА, 2019. 370 с.

*Aksyonov K. A.* Development of decision support and simulation system BPSIM.DSS: integration of simulation, expert, situational and multi-agent modeling / K. A. Aksyonov, E. A. Bykov, O. P. Aksyonova, W. Kai, A. V. Popov, E. F. Smoliy, E. M. Sufrygina, I. A. Spitsina, A. A. Sheklein. In the collection: *ESM 2009 – 2009 European Simulation and Modelling Conference: Modelling and Simulation 2009*. Pp. 256-260.

*Ariona Lopez, M. A., Hernandez Fiores, C., Gleason Garca, E.* Expert Systems with Applications // 2003. Т. 24. № 1. Pp. 95-101.

*Diao, Y., Passino, K. M.* Intelligent fault-tolerant control using adaptive and learning methods // *Control Engineering Practice*. 2002. Т. 10. № 8. Pp. 801-817.

*Ishikawa, T., Terano, T.* Analogy by abstraction: case retrieval and adaptation for inventive design expert systems // *Expert Systems with Applications*. 1996. Т. 10. № 3-4. Pp. 351-356.

*Lehto, M. R.* A structured methodology for expert system development with application to safety ergonomics (human factors, artificial intelligence, modeling, systems safety). 1986. 119 p.

*Lvovich, Ya. E., Preobrazhenskiy, A. P., Preobrazhenskiy, Yu. P., Choporov, O. N.* Modelling of information systems with increased efficiency with application of optimization-expert evaluation // *Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference "Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering - APITECH-2019"*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. 2019. Pp. 33-79.

*Rodrigues-Bachiller, A.* Part II: Expert systems and decision support systems // *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*. 2000. Т. 2. № 3. Pp. 415-448.

### References

*Aksyonov K. A.* Development of decision support and simulation system BPSIM.DSS: integration of simulation, expert, situational and multi-agent modeling / K. A. Aksyonov, E. A. Bykov, O. P. Aksyonova, W. Kai, A. V. Popov, E. F. Smoliy, E. M. Sufrygina, I. A. Spitsina, A. A. Sheklein. In the collection: *ESM 2009 – 2009 European Simulation and Modelling Conference: Modelling and Simulation 2009*. Pp. 256-260.

*Ariona Lopez, M. A., Hernandez Fiores, C., Gleason Garca, E.* Expert Systems with Applications //

2003. T. 24. № 1. Pp. 95-101.

*Bolshedvorskaya L. G., Koryagin N. D.* (2019). Analysis of the use of expert systems for diagnosing problem areas in the training system of flight personnel for civil aviation. *Innovations in civil aviation*, T. 4. No. 4: 13-26. [in Russian]

*Diao, Y., Passino, K. M.* Intelligent fault-tolerant control using adaptive and learning methods // *Control Engineering Practice*. 2002. T. 10. № 8. Pp. 801-817.

*Guseva A. I., Vesna E. B.* (2013). Evaluation of the effectiveness and efficiency of network educational programs. *Modern problems of science and education*. No. 6: 259. [in Russian]

*Ishikawa, T., Terano, T.* Analogy by abstraction: case retrieval and adaptation for inventive design expert systems // *Expert Systems with Applications*. 1996. T. 10. № 3-4. Pp. 351-356.

*Kuzkin A. A.* (2014). Evaluation of indicators of efficiency and effectiveness of IT-processes using hybrid neuro-fuzzy networks. *Internet journal Science Studies*. No. 1 (20): 67. [in Russian]

*Lehto, M. R.* A structured methodology for expert system development with application to safety ergonomics (human factors, artificial intelligence, modeling, systems safety). 1986. 119 p.

*Lvovich, Ya. E., Preobrazhenskiy, A. P., Preobrazhenskiy, Yu. P., Choporov, O. N.* Modelling of information systems with increased efficiency with application of optimization-expert evaluation // *Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference "Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering - APITECH-2019"*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. 2019. Pp. 33-79.

*Orlova L. N.* (2012). Correlation analysis of the similarity of parameters of expert assessment of professional skills of students of the chemical-pedagogical faculty of Omsk State Pedagogical University. *Modern problems of science and education*. No. 2: 199. [in Russian]

*Petrinin S. V.* (2006). Organizational and logistic methods of increasing the efficiency of airlines' production activities. *Petrinin*. Moscow: AviaBusiness Group, 164 p. [in Russian]

*Rodrigues-Bachiller, A.* Part II: Expert systems and decision support systems // *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*. 2000. T. 2. № 3. Pp. 415-448.

*Rukhlinsky V. M., Bolshedvorskaya L. G.* (2019). Ensuring the flight safety of new generation aircraft. Monograph. Moscow: Moscow State Technical University of Civil Aviation, 370 p. [in Russian]