

УДК 629.7

DOI: 10.34670/AR.2021.19.80.009

## Расчет вероятности отказа стартера самолета первоначального обучения Da40NG с использованием ПК «Арбитр»

**Назарова Ольга Николаевна**

Кандидат технических наук, доцент кафедры общепрофессиональных дисциплин,  
Ульяновский институт гражданской авиации,  
432071, Российская Федерация, Ульяновск, ул. Можайского, 8/8;  
e-mail: olga\_nazarova79@mail.ru

**Хорошавин Артем Алексеевич**

Курсант,  
Ульяновский институт гражданской авиации,  
432071, Российская Федерация, Ульяновск, ул. Можайского, 8/8;  
e-mail: horoshavin.temka@yandex.ru

**Шагарова Анна Александровна**

Кандидат технических наук, доцент кафедры авиационной техники,  
Ульяновский институт гражданской авиации,  
432071, Российская Федерация, Ульяновск, ул. Можайского, 8/8;  
e-mail: an\_shagarova73@mail.ru

**Золотопупов Данил Никитович**

Курсант,  
Ульяновский институт гражданской авиации,  
432071, Российская Федерация, Ульяновск, ул. Можайского, 8/8;  
e-mail: zolotopupov10@mail.ru

**Амадей Ансел**

Магистрант,  
Ульяновский институт гражданской авиации,  
432071, Российская Федерация, Ульяновск, ул. Можайского, 8/8;  
e-mail: shirdi90@bk.ru

### Аннотация

Актуальность расчета вероятности отказов составных частей сложных технических систем имеет крайне важное значение, так как данная процедура является основой

мониторинга для оценки состояния технических систем и принятия решения о продлении ресурса и обеспечения безопасной эксплуатации системы. Суть подхода к решению этих задач состоит в широком внедрении систем мониторинга состояния эксплуатируемых систем с целью своевременного получения информации о фактическом их состоянии и принятии решений о порядке их дальнейшей эксплуатации. Фактическое состояние систем оказывает влияние на безопасность их эксплуатации, обусловленная техническим состоянием и готовностью персонала обеспечить успешность их функционирования. В статье представлены данные и произведена оценка причин и динамики производственного травматизма по отраслям экономической деятельности и регионам Российской Федерации. С вероятностью 95% объем инновационных товаров, работ и услуг в 2023 году в Санкт-Петербурге будет находиться в промежутке от 403728,3 до 1008017,7 млн рублей, если будут сохраняться тенденции динамики этого показателя.

#### **Для цитирования в научных исследованиях**

Назарова О.Н., Хорошавин А.А., Шагарова А.А., Золотопупов Д.Н., Амадей А. Расчет вероятности отказа стартера самолета первоначального обучения Da40NG с использованием ПК «Арбитр» // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2021. Том 11. № 10А. С. 81-90. DOI: 10.34670/AR.2021.19.80.009

#### **Ключевые слова**

Мониторинг, эксплуатация, информация, риск, вероятность, безопасность.

## **Введение**

Актуальность расчета вероятности отказов составных частей сложных технических систем имеет крайне важное значение, так как данная процедура является основой мониторинга для оценки состояния технических систем и принятия решения о продлении ресурса и обеспечения безопасной эксплуатации системы. Суть подхода к решению этих задач состоит в широком внедрении систем мониторинга состояния эксплуатируемых систем с целью своевременного получения информации о фактическом их состоянии и принятии решений о порядке их дальнейшей эксплуатации. Фактическое состояние систем оказывает влияние на безопасность их эксплуатации, обусловленная техническим состоянием и готовностью персонала обеспечить успешность их функционирования [Соложенцев, 2006].

Применение логико-вероятностного метода при описании сценариев возникновения нежелательных событий, отказов, происшествий существенно упрощает оценку риска и, в свою очередь, анализ безопасности эксплуатируемых систем. Порядок анализа таким методом применительно к одному происшествию рассмотрен, в частности, в работах [Рябинин, 2000; Краснов, 2002].

## **Основная часть**

В настоящее время становится все более актуальным использованием автоматизированного структурно-логического моделирования и анализа риска, которые подразумевают построение

схем функциональной целостности (СФЦ) и логических и вероятностных моделей, реализованные в программном комплексе автоматизированного моделирования надежности, безопасности и риска систем ПК «Арбитр» [Можаев, Громов, 2000; Можаев, 1994-1995, 2008]. СФЦ являются графическими сценариями успешного функционирования или аварийного состояния сложной системы.

Отметим, что при расчете надежности функциональных систем парка самолетов эксплуатанта, определяется вероятность безотказной работы  $P(t)$  отказа  $Q(t)$  при налете  $t$ .

При этом нормируемая вероятность безотказной работы за 1 ч полета при рассматриваемом налете выражается формулой:

$$q = \frac{Q(t)}{T} \quad (1)$$

Для вычисления вероятностей безотказной работы элементов сложных систем авиационной техники эксплуатант ВС ведет сбор статистических материалов, куда заносятся все отказы и неисправности агрегатов и комплектующих изделий, потребовавшие их снятия или восстановления работоспособности (регулирования и т. п.). В связи с этим при определении оценок надежности агрегатов и влияния их отказов и неисправностей на надежность систем необходимо выполнять тщательный инженерный анализ [Медведев и др., 2006].

Исходными данными для расчета вероятности отказа рассматриваемого объекта с использованием программы «Арбитр» – стартера двигателя Da-40 являются вероятности агрегатов на 1 час.

Перечислим основные критерия надежности невосстанавливаемых изделий и приведем расчетные выражения для определения этих критериев статистическим методом.

Вероятность отказа  $Q(t)$ . Показывает вероятность того, что изделие откажет к моменту времени  $t$ .

$$Q(t) = \frac{n(t)}{N} \quad (2)$$

где  $N$  - число изделий, поставленных на испытание;

$n(t)$  - число изделий, отказавших к моменту времени  $t$ .

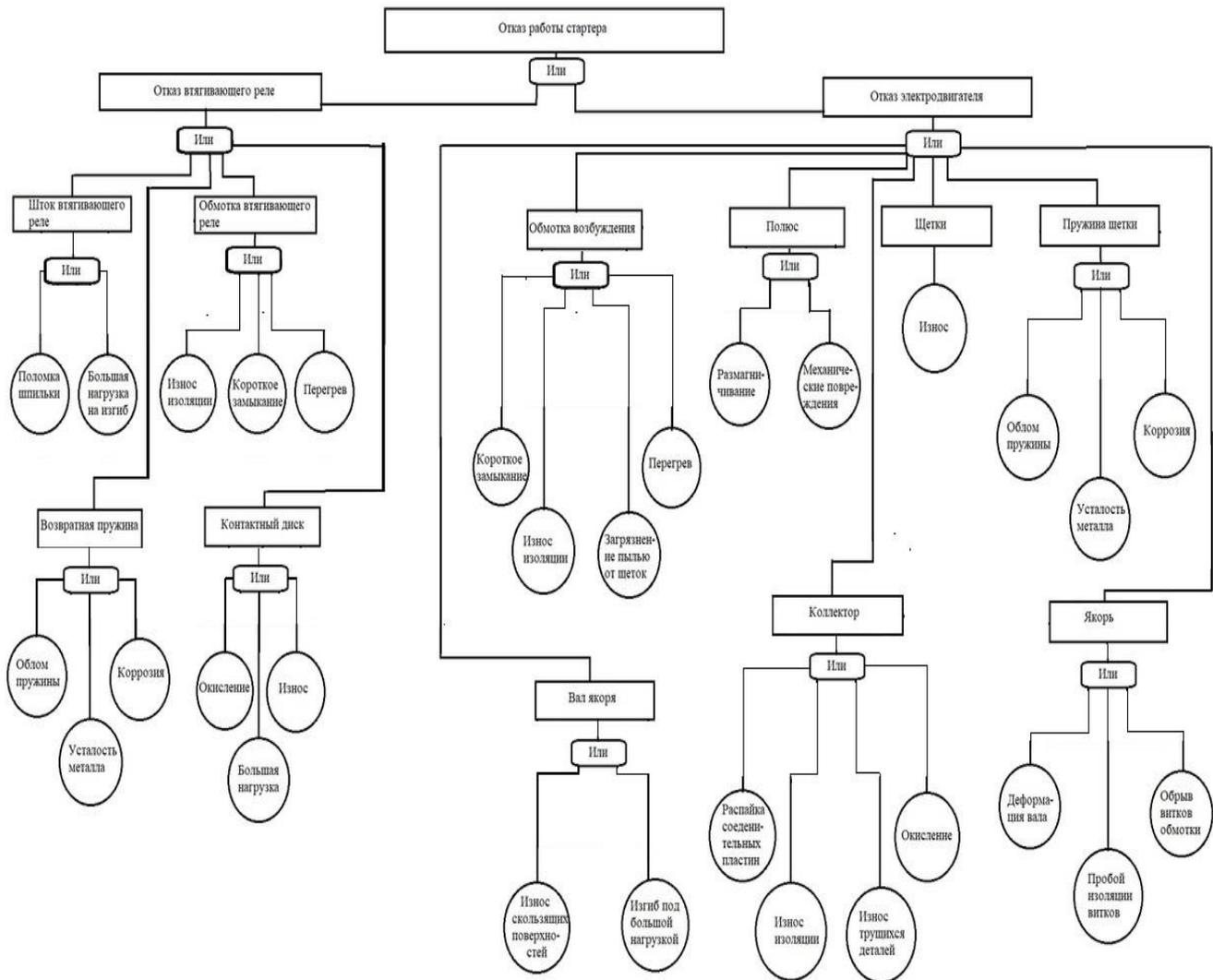
Вероятность безотказной работы  $P(t)$ . Показывает вероятность того, что изделие не откажет к моменту времени  $t$ .

$$P(t) = \frac{m(t)}{N} \quad (3)$$

где  $m(t)$  - число изделий, исправных к моменту времени  $t$

$$P(t) = 1 - Q(t) \quad (4)$$

Для автоматизированного расчета вероятности отказа стартера двигателя была составлено дерево отказов (рисунок 1), на основе которого была построена СФЦ в ПК «Арбитр».



**Рисунок 1 - Дерево отказов для расчета вероятности отказа стартера двигателя Da-40**

Рассмотрим расчет вероятности отказа некоторых элементов стартера.

Вероятность отказа возвратной пружины (облом пружины) рассчитаем по формуле (2). На примере 1000 случаев обламывается 5 при их работе в течении 1000 ч.:

$$Q(t) = \frac{n(t)}{N} = \frac{5}{10000} = 0,0005$$

Вероятность отказа обводного ремня. При увеличении числа экспериментов (от 100 в большую сторону) мы получим более точные результаты.

Зная вероятность отказа на 1000 часов, найдем вероятность отказа на один час по следующей формуле:

$$q = \frac{Q(t)}{T} = \frac{0,0005}{1000} = 0,0000005$$

$Q(t)$  - вероятность отказа;

$T$  - время наработки в часах.

Получили вероятность отказа пружины при ее обломе на 1 час работы  $q = 0,0000005$

Остальные расчеты производились при помощи таблицы Excel и были внесены в таблицу 1.

**Таблица 1 - Данные для расчета вероятности отказа стартера двигателя Da-40**

Наименование	T, ч	N	n(t)	Q(t)	q	Примечание
Втягивающее реле						
Возвратная пружина						
Облом пружины	1000	10000	5	0,0005	0,0000005	
Усталость металла	1000	10000	10	0,001	0,000001	До сильного растяжения
Эффект коррозии	1000	10000	11	0,0011	0,0000011	
Шток электромагнитного тягового реле						
Поломка шпильки	1000	10000	9	0,0009	0,0000009	
Большие нагрузки на изгиб	1000	10000	21	0,0021	0,0000021	
Обмотка тягового реле						
Перегрев обмотки	1000	10000	350	0,035	0,000035	
Износ изоляции	1000	10000	5	0,0005	0,0000005	
Короткое замыкание	1000	10000	17	0,0017	0,0000017	
Контактный диск						
Окисление	1000	10000	8	0,0008	0,0000008	
Большая нагрузка	1000	10000	12	0,0012	0,0000012	
Износ	1000	10000	23	0,0023	0,0000023	
Электродвигатель						
Обмотка возбуждения						
Короткое замыкание	1000	10000	19	0,0019	0,0000019	
Перегрев	1000	10000	600	0,06	0,00006	
Износ изоляции	1000	10000	38	0,0038	0,0000038	
Загрязнение пылью щеток	1000	10000	33	0,0033	0,0000033	
Полос						
Размагничивание	1000	10000	18	0,0018	0,0000018	
Механические повреждения	1000	10000	3	0,0003	0,0000003	
Щетка						
Износ	1000	10000	300	0,003	0,00003	
Пружины щетки						
Облом пружины	1000	10000	23	0,0023	0,0000023	
Усталость металла	1000	10000	27	0,027	0,0000027	
Коррозия	1000	10000	17	0,0017	0,0000017	
Вал якоря						
Износ скользящих поверхностей	1000	10000	34	0,0034	0,0000034	
Изгиб под большой нагрузкой	1000	10000	4	0,0004	0,0000004	

Calculation of the probability of starter...

Наименование	T, ч	N	n(t)	Q(t)	q	Примечание
Коллектор						
Распайка соединительных пластинок	1000	10000	45	0,0045	0,0000045	
Окисление	1000	10000	15	0,0015	0,0000015	
Износ изоляции	1000	10000	55	0,0055	0,0000055	
Износ трущихся деталей	1000	10000	14	0,0014	0,0000014	
Якорь						
Деформация вала	1000	10000	12	0,0012	0,0000012	
Пробой изоляции витков	1000	10000	68	0,0068	0,0000068	
Обрыв витков обмотки	1000	10000	16	0,0016	0,0000016	

Для автоматизированного расчета вероятности отказа стартера на основе дерева отказов была сформирована СФЦ в ПК «Арбитр» (рисунок 2).

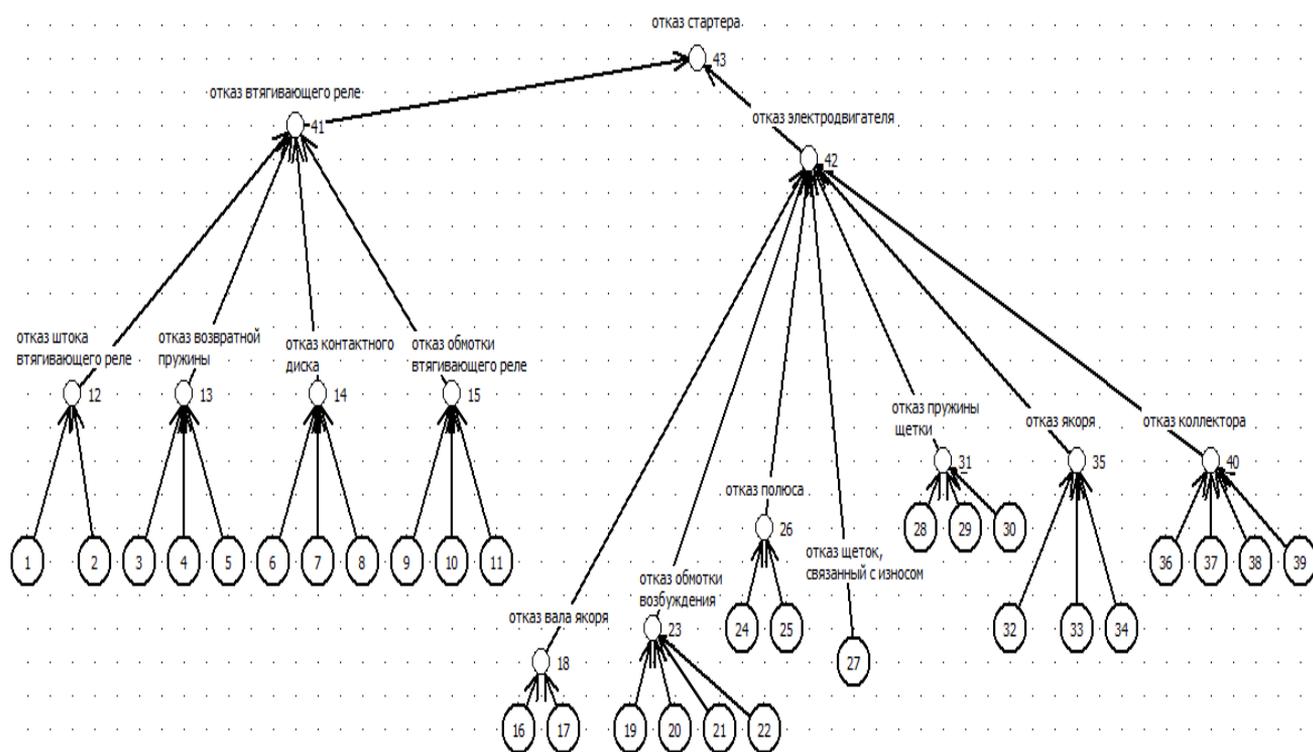


Рисунок 2 - СФЦ для расчета вероятности отказа стартера Da-40 в ПК «Арбитр»

Вероятности отказов элементов системы были подсчитаны с помощью программы Microsoft Excel и внесены в таблицу для расчета основного критерия – вероятности отказа стартера – у43 (рисунок 3).

Параметры моделирования и расчетов

Признак полных вычислений

Вывод явной ФРС     Вывод имен

Вывод явной ВФ

Расчет полной ФРС

Размер ФРС и ВФ    5000

Статический расчет    ◀ ▶

---

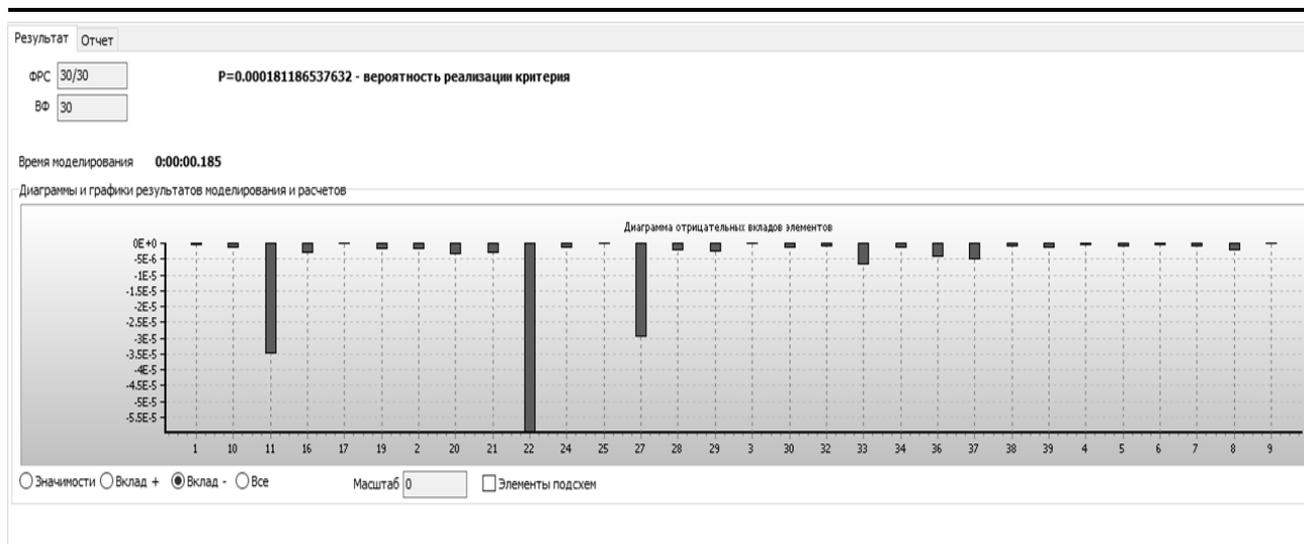
Критерий

у43

i	Pi	Toi	Twi	Закон	...	Наименование элемента
1	9E-7	0	-1	1	0	поломка шпильки
2	2.1E-6	0	-1	1	0	большая нагрузка на изгиб
3	5E-7	0	-1	1	0	облом пружины
4	1E-6	0	-1	1	0	усталость металла
5	1.1E-6	0	-1	1	0	коррозия
6	8E-7	0	-1	1	0	окисление
7	1.2E-6	0	-1	1	0	большая нагрузка
8	2.3E-6	0	-1	1	0	износ
9	5E-7	0	-1	1	0	износ изоляции
10	1.7E-6	0	-1	1	0	короткое замыкание
11	3.5E-5	0	-1	1	0	перегрев обмотки
16	3.4E-6	0	-1	1	0	износ скользящих поверхностей
17	4E-7	0	-1	1	0	изгиб под большой нагрузкой
19	1.9E-6	0	-1	1	0	короткое замыкание
20	3.8E-6	0	-1	1	0	износ изоляции
21	3.3E-6	0	-1	1	0	загрязнение пылью щеток
22	6E-5	0	-1	1	0	перегрев
24	1.8E-6	0	-1	1	0	размагничивание
25	3E-7	0	-1	1	0	механические повреждения
27	3E-5	0	-1	1	0	отказ щеток, связанный с износом
28	2.3E-6	0	-1	1	0	облом пружины
29	2.7E-6	0	-1	1	0	усталость металла
30	1.7E-6	0	-1	1	0	коррозия
32	1.2E-6	0	-1	1	0	деформация вала
33	6.8E-6	0	-1	1	0	пробой изоляции витков
34	1.6E-6	0	-1	1	0	обрыв витков обмотки
36	4.5E-6	0	-1	1	0	распайка соединительных пластин
37	5.5E-6	0	-1	1	0	износ изоляции
38	1.4E-6	0	-1	1	0	износ трущихся деталей
39	1.5E-6	0	-1	1	0	окисление

Число элементов в схеме = 30    Число вершин в схеме = 43

Рисунок 3 - Данные для расчета вероятности отказа стартера Da-40



**Рисунок 4 - Диаграммы отрицательных вкладов элементов СФЦ**

Можно сделать вывод, что, проводя периодический мониторинг показателей, влияющих на отказ стартера, можно корректировать состояние системы путем предотвращения перегрева и периодической замены щеток, не допуская их критического износа.

Следует отметить, что в рассмотренном подходе не учитывается влияние человека на надежность работы тех или иных устройств, а в нашем случае целой системы – стартера самолета нашего первоначального обучения DA-40 NG. Поэтому оценки надежности тех или иных устройств, найденные с помощью традиционного инженерного подхода, могут вызвать недоверие: по этим оценкам аварии практически невозможны, а в действительности они происходят. Даже чисто технические причины этих аварий определяются совпадением крайне маловероятных событий, для которых нет надежной статистики.

## Заключение

Таким образом, использование деревьев отказа определяется тем, за какими причинно-следственными связями необходимо проследить. Когда требуется понять, что может стать причиной нарушения работы системы, строится дерево отказов.

## Библиография

1. Краснов О.В. Безопасность эксплуатации сложных технических систем. СПб., 2002. 230 с.
2. Медведев В.Л. и др. Методика оценки надежности функциональных систем самолетов гражданской авиации по статистическим материалам эксплуатанта // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. Академика М.Ф. Решетнева. 2006. № 5 (12). С. 159-164.
3. Можаяв А.С. Аннотация программного средства «АРБИТР» (ПК АСМ СЗМА) // Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика ядерных реакторов». 2008. Вып. 2. С. 105-116.
4. Можаяв А.С., Громов В.Н. Теоретические основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем. СПб., 2000. 145 с.
5. Можаяв А.С. Современное состояние и некоторые направления развития логико-вероятностных методов анализа систем // Теория и информационная технология моделирования безопасности сложных систем. СПб., 1994-95. Вып. 1-5.
6. Рябинин И.А. Надежность и безотказность структурно-сложных систем. СПб.: Политехника, 2000. 248 с.
7. Соложенцев Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. СПб.: Бизнес-пресса, 2006. 530 с.

---

## Calculation of the probability of starter failure of the initial training aircraft Da40NG using the Arbiter software package

### **Ol'ga N. Nazarova**

PhD in Technical Science, Associate Professor,  
Department of General Professional Disciplines,  
Ulyanovsk Institute of Civil Aviation,  
432071, 8/8, Mozhaiskogo str., Ulyanovsk, Russian Federation;  
e-mail: olga\_nazarova79@mail.ru

### **Artem A. Khoroshavin**

Cadet,  
Ulyanovsk Institute of Civil Aviation,  
432071, 8/8, Mozhaiskogo str., Ulyanovsk, Russian Federation;  
e-mail: horoshavin.temka@yandex.ru

### **Anna A. Shagarova**

PhD in Technical Science, Associate Professor,  
Department of Aviation Technology,  
Ulyanovsk Institute of Civil Aviation,  
432071, 8/8, Mozhaiskogo str., Ulyanovsk, Russian Federation;  
e-mail: an\_shagarova73@mail.ru

### **Danil N. Zolotopupov**

Cadet,  
Ulyanovsk Institute of Civil Aviation,  
432071, 8/8, Mozhaiskogo str., Ulyanovsk, Russian Federation;  
e-mail: zolotopupov10@mail.ru

### **Ansel Amadeus**

Graduate Student,  
Ulyanovsk Institute of Civil Aviation,  
432071, 8/8, Mozhaiskogo str., Ulyanovsk, Russian Federation;  
e-mail: shirdi90@bk.ru

### **Abstract**

The relevance of calculating the probability of failure of the components of complex technical systems is extremely important, since this procedure is the basis for monitoring to assess the state of technical systems and decide on extending the resource and ensuring the safe operation of the system. The essence of the approach to solving these problems is the widespread introduction of

monitoring systems for the state of operating systems in order to timely obtain information about their actual state and make decisions on the procedure for their further operation. The actual state of the systems affects the safety of their operation, due to the technical condition and the readiness of personnel to ensure the success of their operation. The article presents the data and assesses the causes and dynamics of industrial injuries by sectors of economic activity and regions of the Russian Federation. With a 95% probability, the volume of innovative goods, works and services in 2023 in St. Petersburg will be in the range from 403,728.3 to 1,008,017.7 million rubles, if the dynamics of this indicator continues. It should be noted that the considered approach does not consider the human influence on the reliability of the operation of certain devices, and in our case the whole system, the starter of the aircraft of our initial training DA-40 NG. Therefore, estimates of the reliability of certain devices, found using the traditional engineering approach, can cause mistrust: according to these estimates, accidents are practically impossible, but in reality, they do occur.

### For citation

Nazarova O.N., Khoroshavin A.A., Shagarova A.A., Zolotopupov D.N., Amadeus A. (2021) Raschet veroyatnosti otkaza startera samoleta pervonachal'nogo obucheniya Da40NG s ispol'zovaniem PK «Arbitr» [Calculation of the probability of starter failure of the initial training aircraft Da40NG using the Arbitr software package]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 11 (10A), pp. 81-90. DOI: 10.34670/AR.2021.19.80.009

### Keywords

Monitoring, operation, information, risk, probability, safety.

### References

1. Krasnov O.V. (2002) *Bezopasnost' ekspluatatsii slozhnykh tekhnicheskikh sistem* [Operational safety of complex technical systems]. St. Petersburg.
2. Medvedev V.L. et al. (2006) Metodika otsenki nadezhnosti funktsional'nykh sistem samoletov grazhdanskoi aviatsii po statisticheskim materialam ekspluatanta [Methodology for assessing the reliability of functional systems of civil aviation aircraft on the basis of the operator's statistical materials]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. Akademika M.F. Reshetneva* [Bulletin of Reshetnev Siberian State Aerospace University], (12), pp. 159-164.
3. Mozhaev A.S. (2008) Annotatsiya programmnoy sredstva «ARBTR» (PK ASM SZMA) [Annotation of the ARBITR software package]. *Voprosy atomnoi nauki i tekhniki. Seriya «Fizika yadernykh reaktorov»* [Problems of Atomic Science and Technology. Series: Physics of Nuclear Reactors], 2, pp. 105-116.
4. Mozhaev A.S., Gromov V.N. (2000) *Teoreticheskie osnovy obshchego logiko-veroyatnostnogo metoda avtomatizirovannogo modelirovaniya sistem* [Theoretical foundations of the general logical-probabilistic method of automated systems modeling]. St. Petersburg.
5. Mozhaev A.S. (1994-1995) Sovremennoe sostoyanie i nekotorye napravleniya razvitiya logiko-veroyatnostnykh metodov analiza sistem [The current state and some directions of development of logical-probabilistic methods of systems analysis]. In: *Teoriya i informatsionnaya tekhnologiya modelirovaniya bezopasnosti slozhnykh sistem* [Theory and information technology for modeling the security of complex systems]. St. Petersburg. Vols 1-5.
6. Ryabinin I.A. (2000) *Nadezhnost' i bezotkaznost' strukturno-slozhnykh sistem* [Reliability and reliability of structurally complex systems]. St. Petersburg: Politekhnik Publ.
7. Solozhentsev E.D. (2006) *Stsenarnoe logiko-veroyatnostnoe upravlenie riskom v biznese i tekhnike* [Scenario-based logic-probabilistic risk management in business and technology]. St. Petersburg: Biznes-prensa Publ.