

**УДК 629.3.083**

**ББК 39.0163**

**Б261**

**А. Г. Барсуков**  
**Иркутск, Россия**

**ПРИМЕНЕНИЕ ДИАГРАММЫ ПАРЕТО ДЛЯ ВЫРАБОТКИ  
РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ  
АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

В статье рассматривается методика комплексного подхода к обоснованию и реализации рекомендаций по обеспечению надежности авиационной техники с применением диаграммы Парето.

**Ключевые слова:** безопасность полетов; воздушное судно; надежность; отказ; неисправность; диаграмма Парето.

**UDC 629.3.083**

**ВВК 39.0163**

**A.G. Barsukov**  
**Irkutsk, Russia**

**USE OF PARETO CHART FOR DEVELOPING RECOMMENDATIONS ON  
AIRCRAFT RELIABILITY**

The author considers a methodology of integrated approach to the rationale and implementation of recommendations on aircraft reliability with the use of Pareto chart.

**Key words:** flight safety; aircraft; reliability; failure; fault; Pareto chart.

В настоящее время общепризнано, что воздушный транспорт стал не только одним из самых востребованных видов транспорта, но и показателем социально-экономического развития государства. Эффективность гражданской

авиации, по мнению многих специалистов, складывается из четырёх составляющих: «бизнес – комфорт – регулярность – безопасность». Важнейшее место среди них занимает безопасность полётов. Несмотря на влияние различных факторов на безопасность полётов, обеспечение надежности (безотказности) авиационной техники продолжает оставаться одним из приоритетных направлений обеспечения безопасности полетов. Статистические данные свидетельствуют о том, что 20...30 % авиационных происшествий и инцидентов обусловлены отказами функциональных систем (ФС) воздушного судна (ВС). В общем случае маркером приемлемого уровня надежности ФС является отсутствие отказов, приводящих к возникновению опасных ситуаций, возможность диагностирования отказов и неисправностей, их устранения в процессе технической эксплуатации, отсутствие недопустимого риска для безопасности, который определяется сочетанием вероятности появления отказа и его последствий в виде материального ущерба авиапредприятию из-за вынужденных простоев (задержек) ВС.

Данное обстоятельство особенно актуально в настоящее время, когда поставщики авиатехники, эксплуатанты разрабатывают и устанавливают для ВС условия допуска к полетам, соответствующие Перечням: MMEL (Master Minimum Equipment List) – основной минимальный перечень оборудования, разрабатываемый разработчиком для типа ВС и MEL (Minimum Equipment List) – минимальный перечень оборудования, разрабатываемый авиакомпанией для каждого ВС [Приложение 6 к Конвенции о международной гражданской авиации, 2001]. Данные перечни санкционируют некоторые отклонения от требований сертификата типа, для того чтобы обеспечить непрерывную эксплуатацию ВС при выполнении коммерческих рейсов. Основной задачей Перечня MEL является установление для авиакомпании баланса между приемлемым уровнем безопасности полетов и рентабельностью при эксплуатации ВС с частично неисправным оборудованием. Перечень MEL позволяет авиакомпаниям более оперативно организовывать эксплуатацию (полеты) ВС и избегать излишних задержек или отмены рейсов, не ставя под угрозу безопасность полетов, в случаях, когда

самолет допускается к полетам с неисправным (незадействованным) оборудованием.

Поэтому разработка рекомендаций по обеспечению надежности авиационной техники в данных условиях должна учитывать диалектическую связь между безопасностью, рентабельностью и регулярностью полетов. Современные подходы к обеспечению надежности техники обусловили наличие разнообразных и доступных теоретических и практических работ в этой области. Особое место занимают работы по применению статистических методов контроля качества продукции и производственных процессов с использованием «7 инструментов качества» [Басовский, Протасьев, 2001], среди которых важное место принадлежит диаграмме (анализу) Парето. Диаграмма Парето – это инструмент, позволяющий распределить усилия для решения проблем и выявить основные причины, с которых необходимо предпринимать соответствующие действия. В большинстве случаев значительное число отказов и неисправностей и связанных с ними потерь возникают из-за относительно небольшого числа причин. Вследствие этого диаграмму Парето называют «соотношением 80:20», реализуя известный постулат Парето, заключающийся в том, что 80 % выпуска некачественной продукции (наличие отказов) обусловлено 20% возможных причин. Применение предлагаемого анализа с помощью диаграммы Парето позволяет в первом приближении устанавливать баланс интересов между приемлемым уровнем безопасности полетов, надежностью авиатехники и ее рентабельностью в процессе летной и технической эксплуатации.

Рекомендуемая ИКАО стратегия проактивного управления безопасностью полетов [Руководство по управлению безопасностью полетов, 2013] требует, в частности, непрерывного мониторинга факторов опасности, что дает возможность располагать количеством отказов ФС ВС, причинами их обусловившими, временем вынужденного простоя ВС, необходимого для поиска и устранения последствий отказов, и соответствующими материальными затратами.

Исходя из этого, в рассматриваемом случае возможно и целесообразно использовать диаграммы Парето по результатам деятельности, по причинам и по

величине ущерба. Не детализируя известную методику построения диаграммы Парето, рассмотрим ее применение при выработке рекомендаций по обеспечению надежности авиационной техники со следующими исходными данными.

Допустим, что за определенный период эксплуатации ВС было зарегистрировано 53 отказа ФС, обозначенных соответственно латинскими буквами А, В, С, D, Е, F. Такими системами могут быть, например, гидравлическая, топливная, система управления, силовая установка и т. д. В *табл. 1* приведены количественные данные о распределении отказов по ФС, а в *табл. 2* представлены исходные данные, необходимые для построения диаграммы Парето (*рис. 1*) по результатам деятельности (числу отказов).

*Таблица 1*

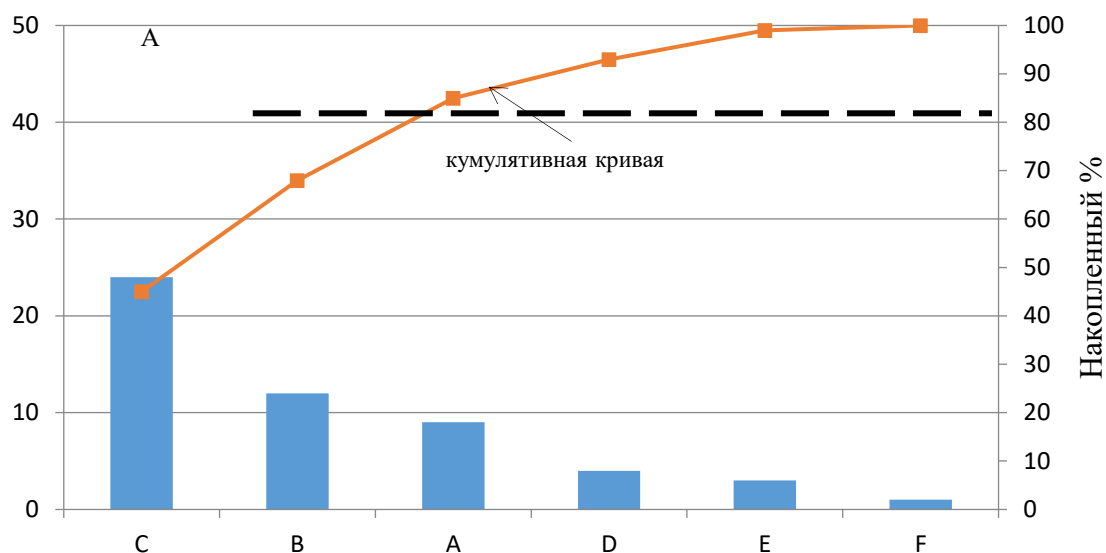
Распределение отказов по функциональным системам (ФС)

ФС	А	В	С	D	Е	F	Итого
Число отказов	9	12	24	4	3	1	53

*Таблица 2*

Исходные данные для диаграммы Парето по числу отказов

Отказы	Количество	Накопл. сумма	% числа отказов	Накопл.%
С	24	24	45	45
В	12	36	23	68
А	9	45	17	85
D	4	49	8	93
Е	3	52	6	99
F	1	53	1	100
Итого	53	-	100	-



$n_{отк}$

Рисунок 1. Диаграмма Парето по числу отказов ( $n_{отк}$ ).

Следуя методике известного «ABC анализа» диаграммы Парето из рис. 1 видно, что наиболее значимыми по числу отказов (80 %) и требующими принятия первоочередных мер являются отказы систем С и В. Данный вывод является необходимым, но недостаточным, т. к. возникает проблема установления причин отказов, которые потребуют и трудозатрат, и материальных средств для их поиска и устранения. Известно, что при диагностировании сложных технических систем в большинстве случаев при обнаружении отказа фиксируется лишь «следствие», за которым скрывается истинная «причина». Для обеспечения качественного диагностирования ФС нужно представлять связь между причинами и следствием, т. е. неисправностью и отказом соответственно, при этом конкретному единичному отказу может предшествовать несколько причин в виде неисправностей и дефектов. Это обстоятельство наглядно можно представить с помощью причинно-следственной диаграммы Исикавы. Причинно-следственная диаграмма Исикавы, являясь также одним из инструментов качества, позволяет выявить причины и следствия. На рис. 2 представлена диаграмма Исикавы для отказа гидравлической системы ВС.

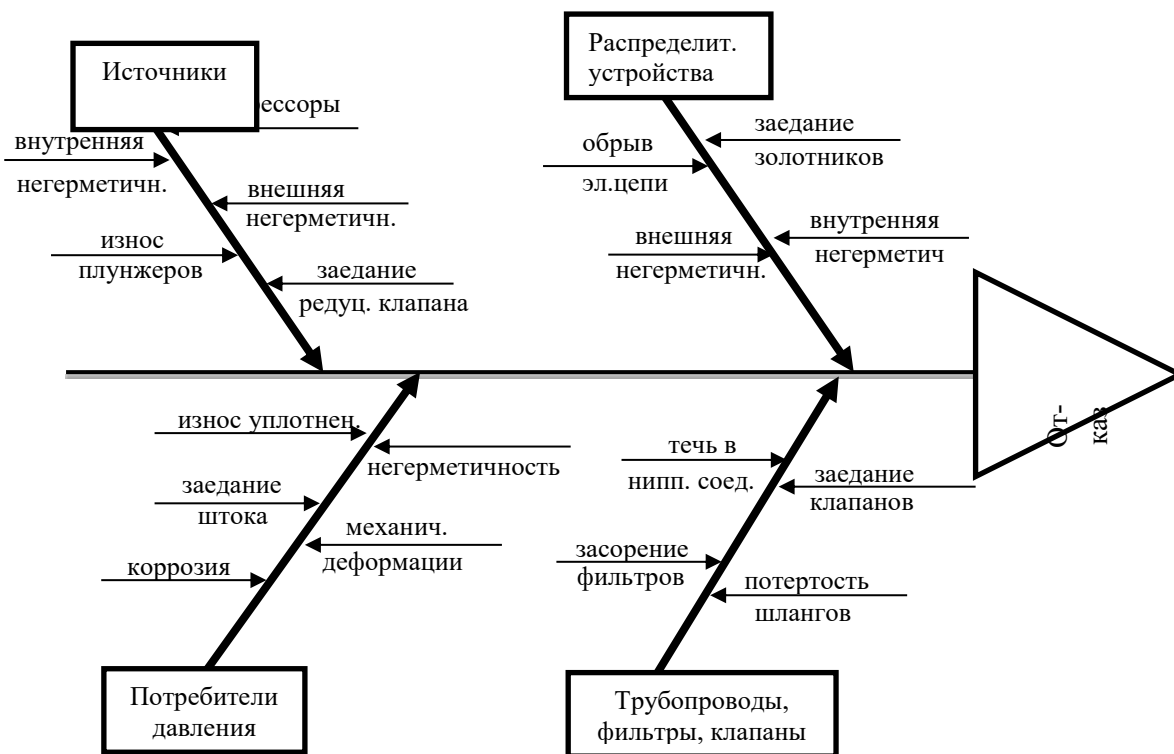


Рис. 2. Причинно-следственная диаграмма Исикавы для анализа отказов гидросистемы ВС

В рассматриваемом контексте причины (неисправности) ФС, в качестве примера, количественно представлены в табл. 3, из которой следует, что отказам ФС D предшествовало 6 неисправностей. Исходные данные, необходимые для построения диаграммы Парето по причинам, представлены в табл. 4, а диаграмма Парето для этой задачи – на рис. 3.

Таблица 3

Распределение причин (неисправностей) отказов

ФС	A	B	C	D	E	F	Итого
Количество неисправностей	18	10	9	6	3	1	47

Таблица 4

Исходные данные для диаграммы Парето по причинам

ФС	Количество неисправностей	Накопл. сумма	% числа неисправностей	Накопл. %
А	18	18	38	38
В	10	28	21	59
С	9	37	19	78
Д	6	43	13	91
Е	3	46	6	97
Ф	1	47	3	100
Итого	47	-	100	-

Из рис. 2 следует, что в этом случае первоочередными мероприятиями должны быть мероприятия, направленные на выявление и устранение неисправностей уже в системах А, В и С.

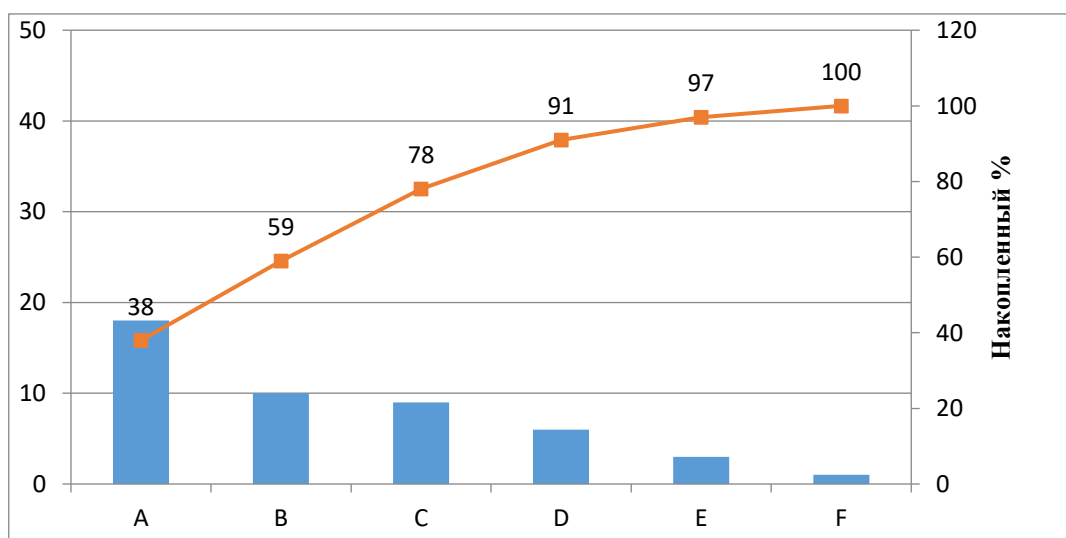


Рис. 3. Диаграмма Парето по причинам



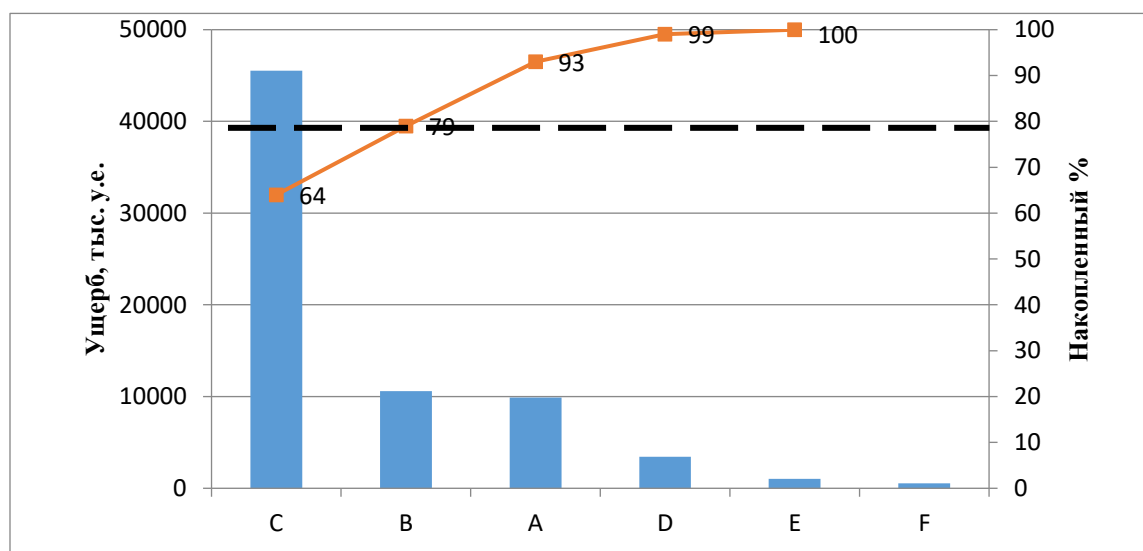


Анализ *табл. 5* показывает, что для планирования мероприятий по устранению неисправностей ФС с минимально возможными экономическими потерями для авиапредприятия можно указать два пути устранения неисправностей, приносящих в сумме наибольший суммарный материальный ущерб (ФС С); или устранение неисправности, приносящей наибольший материальный ущерб, от единичной неисправности (ФС D). В *табл. 6* приведены данные для решения задачи по устранению неисправностей, по наибольшему суммарному ущербу. Диаграмма для этого случая – на *рис. 4*.

Таблица 6

Исходные данные для диаграммы Парето по величине ущерба

ФС	Ущерб по виду неисправ. у.е.	Накопленный ущерб, у.е.	Ущерб по виду неисправ., %	Накопленный ущерб, %
С	45450	45540	43	64
D	36600	82050	35	78
A	9900	66040	10	88
B	10600	56140	9	97
E	1020	70540	2.9	99.9
F	530	71070	0.1	100
	70980		100	



#### *Рис. 4. Диаграмма Парето по величине ущерба*

Из диаграммы видно, что из-за отказов ФС С, В, ущерб составляет почти 80 %. На эти же ФС приходится 68 % всех отказов.

Сравнивая диаграммы (*рис. 1...3*) можно заметить: что если использовать диаграмму по числу отказов (*рис. 1*), то после устранения 80 % отказов были бы устранены около 68 % проблем, в то время как дополнительный экономический выигрыш от применения анализа по диаграмме Парето по величине ущерба равен почти 80 % (*рис. 3*) является предпочтительнее. В случае, если авиапредприятие ставит целью реализовать мероприятия по выявлению причин каждого вида отказа, то экономически выгоднее начать с ликвидации причин отказов по ФС – D, как наиболее затратного. Что касается причин отказов ФС Е и F (см. *табл. 5*), то может оказаться, что ущерб, наносимый за счёт этих отказов, окажется меньше, чем затраты на ликвидацию причин их вызвавших.

Таким образом, являясь эффективным инструментом по анализу и оценке качества продукции, в том числе и надежности авиатехники, диаграммы Парето требуют от соответствующих специалистов комплексного подхода к выработке соответствующих рекомендаций по обеспечению эффективности использования ВС.

#### **Библиографический список**

1. *Басовский Л. Е.* Управление качеством: учебник / Л. Е. Басовский, В. Б. Протасьев. М.: ИНФРА-М, 2001. 212 с.
2. Приложение 6 к Конвенции о международной гражданской авиации. «Эксплуатация воздушных судов, часть 1. Международный коммерческий воздушный транспорт. Самолеты». Изд 8. ИКАО, 2001. 260 с.
3. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). Изд. 3 ИКАО, 2013. 300 с.

#### **References**

1. Annex 6 to Convention on International Civil Aviation. "Operation of Aircraft, Part I. International Commercial Air transport. Airplanes". Is. 8. ICAO, 2001. 260 p. (in Russian)
2. *Basovskij L. E. (2001).* Quality control: coursebook / L. E. Basovskij, V. B. Protas'ev. M.: INFRA-M, 2001. 212 p. (in Russian)
3. Safety Management Manual (SMM). Is. 3 ICAO, 2013. 300 p. (in Russian)