

УДК 629.015.681.3

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕТА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В РЕЙСОВЫХ УСЛОВИЯХ

Г.А. ВОЛКОВ, В.А. ДМИТРИЕВ, Н.Н. СУХИХ

Рассматриваются возможности повышения эффективности управления безопасностью рейсовых полетов воздушных судов на основе системного подхода в условиях нормальной эксплуатации. Эти новые возможности в рамках авиапредприятия основаны на интеграции системы управления безопасностью полетов с системой менеджмента качества. Однако до настоящего времени эти возможности практически не реализованы из-за ограниченного применения статистических методов. Необходимым условием реализации предлагаемого подхода является использование статистической полетной информации результатов контроля качества полетов. Анализируются свойства и особенности применения статистических показателей параметров полета при мониторинге полетных данных. Показано, что основными статистическими показателями контролируемого процесса являются средние величины и показатели вариации. Сформулированы отличительные особенности и главные условия практического применения различных показателей. Выявлены особенности применения теоретических моделей математической статистики при анализе полетной информации. Отмечается, что на практике теоретические модели часто не вписываются в рамки своего применения из-за нарушения исходных предпосылок. Даются рекомендации по комплексному применению статистических показателей в задачах текущего контроля качества полетов. В конечном итоге делается вывод о том, что рассмотренные возможности предлагаемого в статье подхода позволяют на основе знаний о динамике статистических показателей контролируемого процесса полетов выявлять опасные факторы и разрабатывать показатели безопасности полетов на новой информационной основе по данным летной эксплуатации воздушных судов.

Ключевые слова: безопасность полетов, полетная информация, показатели, мониторинг полетов.

В настоящее время общепризнано, что наиболее эффективным способом повышения безопасности полетов (БП) является внедрение системного подхода к управлению БП. Такой подход предусматривает, в частности, интеграцию различных систем управления в рамках авиапредприятия – наиболее актуальна интеграция системы управления безопасностью полетов (СУБП) с системой менеджмента качества (СМК) [1]. Эффективность интегрированной СУБП очевидна, так как при достижении целей СУБП могут быть использованы современные, хорошо развитые статистические методы в системах управления качеством [2, 3]. При этом на практике важнейшим информационным ресурсом становится статистическая полетная информация, получаемая в результате контроля качества рейсовых полетов – мониторинг процесса при постоянстве расчетных статистических показателей. Эти новые возможности выявления опасных факторов и контроля факторов риска реализуются до настоящего времени недостаточно, так как применение статистических методов и показателей в целом носит ограниченный характер.

В общей теории статистики имеется огромное число показателей статистических свойств контролируемого процесса [4, 5]. Однако далее будут рассмотрены только основные и чаще всего применяемые две большие группы показателей процесса мониторинга полетных данных: средние величины и показатели вариации. Эти показатели, как и любые другие со своими свойствами, являются обобщающими характеристиками рассматриваемой статистической совокупности данных (процесса).

Исходными данными для обеих групп служит статистический ряд наблюдений вида $x_1, x_2, \dots, x_n$, где x_i – наблюдаемые (измеряемые) значения контролируемого признака (параметра) x при $i = \overline{1, n}$, а n – число наблюдений. В литературе такой ряд может также иметь другие названия в зависимости от решаемых задач: выборка, временной (динамический) ряд, статистическая совокупность данных. Используя эти обозначения, рассмотрим далее следующие показатели.

СРЕДНИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Особую роль в применении средних играют аналитические средние, которые определяются по экспериментальным данным с помощью расчетных формул – степенные простые (невзвешенные), рассчитываемые по несгруппированным исходным данным. Общая формула степенной средней и различные виды этой средней в зависимости от значений степенного показателя k в общей формуле представлены в таблице. Здесь особо следует отметить, что все виды рассматриваемых средних подчиняются одной общей закономерности (правило мажорантности): $\bar{X}_{-1} \leq \bar{X}_0 \leq \bar{X} \leq \bar{X}_2 \leq \bar{X}_3 \leq \bar{X}_4 \leq \dots \leq \bar{X}_k$, то есть значения средних возрастают с ростом показателя k . В то же время каждая средняя обладает своими математическими свойствами, которые определяют ее применение.

Расчетные формулы для степенных простых средних величин

Общая расчетная формула степенной средней величины		
$\bar{X}_{cm} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right)^k$		
Значение k	Наименование средней	Расчетная формула
-1	гармоническая	$\bar{X}_{-1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}$
0	геометрическая	$\bar{X}_0 = \left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{1/n}$
1	арифметическая	$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
2	квадратическая	$\bar{X}_2 = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \right)^{1/2}$
3	кубическая	$\bar{X}_3 = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^3 \right)^{1/3}$
4	биквадратическая	$\bar{X}_4 = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^4 \right)^{1/4}$

Примечание. Вывод формулы $\bar{X}_0$ см., например, [5].

Средняя арифметическая $\bar{X}$. Широкое применение средней основано главным образом на использовании ее следующих свойств:

– алгебраическая сумма линейных отклонений признака x_i от его среднего значения равна нулю: $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}) = 0$;

– сумма квадратов отклонений значений x_i от средней $\bar{X}$ есть число минимальное: $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 = \min$, то есть меньше, чем от любого другого числа. Эти свойства используются, в частности, при анализе закономерностей изменения уровней временных рядов, а также для определения параметров уравнения регрессии при анализе корреляционных связей между признаками. Важно также отметить, что средняя $\bar{X}$ является центром тяжести совокупности варь-

ирующих значений признака x_i . Чем более однородной является статистическая совокупность, тем надежнее, устойчивее средняя, тем она более типична.

Средняя гармоническая $\bar{X}_{-1}$. Главное условие ее применения – неизменной должна оставаться сумма обратных значений признака x_i в совокупности данных. Практика показала, что это требование при решении задач является обоснованным, если в размерности признака есть, как правило, время, которое по условиям задачи должно быть неизменной величиной. В качестве примера рассмотрим простую задачу. Были выполнены прямой и обратный рейсы ВС с разными скоростями V_1 и V_2 при общем летном времени $t = const$ и дальности полета L . Требуется определить среднюю скорость V_{cp} . В соответствии с условиями задачи имеем: $t = \frac{L}{V_1} + \frac{L}{V_2} = \frac{L}{V_{cp}} + \frac{L}{V_{cp}} = \frac{2L}{V_{cp}}$, то есть вы-

полняется условие гармонической средней. В результате получим конечную формулу $V_{cp} = \frac{2}{\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2}}$. Проверка расчета с числовыми значениями t, L, V_1, V_2 показывает, что арифметиче-

ская средняя скорости будет неверна ($\bar{X} > \bar{X}_{-1}$), так как в результате получается другое время, отличное от реального. При этом характерно, что дальность L в расчете V_{cp} никакой роли не играет.

Средняя геометрическая $\bar{X}_0$ используется при условии, если необходимо сохранить неизменным произведение значений x_i . Поэтому основное применение $\bar{X}_0$ – определение средних темпов изменения признака в динамических рядах. В этом случае $\bar{X}_0$ является одним из средних показателей тенденций в динамике процесса. При этом необходимо учитывать, что формальное применение средней $\bar{X}_0$ возможно, если имеется только непрерывный рост значений x_i , либо непрерывное убывание его значений – рост цен на авиатопливо, рост скоростей полета и другие примеры, когда объем совокупности формируется не суммой, а произведением значений признака.

Средняя квадратическая $\bar{X}_2$ чаще всего применяется в статистических расчетах при определении среднего квадратического отклонения – основного показателя оценки степени вариации. Главное свойство средней $\bar{X}_2$ – сохранение неизменной суммы квадратов исходных величин. Следовательно, она применяется и в тех случаях, когда необходимо осреднять исходные данные в виде квадратичных функций.

Средняя кубическая $\bar{X}_3$ используется, если необходимо сохранить неизменной сумму кубов значений признака при их замене средней величиной. При этом средняя $\bar{X}_3$ всегда дает одно действительное значение независимо от значений признака в совокупности данных.

Средняя биквадратическая $\bar{X}_4$. Особенность ее использования, в отличие от средней $\bar{X}_3$, состоит в следующем. Если совокупность данных содержит как положительные, так и отрицательные значения признака, то средняя $\bar{X}_4$ может иметь два значения. Поэтому на практике принято, что значение $\bar{X}_4$ берется равным абсолютному значению радикала со знаком арифметической $\bar{X}$ совокупности.

В заключение, обобщая анализ средних, отметим еще одну особенность их применения: средние $\bar{X}, \bar{X}_2, \bar{X}_3, \bar{X}_4$ используются также в расчетных формулах при определении числовых характеристик свойств распределения случайной величины – показателей асимметрии и эксцесса распределения [4].

ПОКАЗАТЕЛИ ВАРИАЦИИ

В основе любых статистических методов и показателей лежит понятие вариации (изменчивость, колеблемость) – различие индивидуальных значений признака в статистиче-

ской совокупности. Числовые показатели вариации, оценивая размер и характер вариации, позволяют оценить однородность исходных данных, а также – надежность и типичность средней.

Размах вариации R – разность между максимальным и минимальным значениями признака в ряду наблюдения (абсолютный показатель). Опыт применения малых выборок показал, что точность оценки дисперсии выборки по размаху практически совпадает с оценкой по обычной формуле для дисперсии. Это свойство R нашло применение, в частности, в задачах предупредительного контроля качества технической продукции.

Дисперсия σ^2 и *среднеквадратическое отклонение* σ – общепринятые и наиболее распространенные показатели (меры) вариации. Дисперсия σ^2 – средний квадрат отклонений значений признака x_i от средней арифметической $\bar{X}$ признака: $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2$, а величина σ – корень квадратный из дисперсии. При расчете дисперсии может быть использована также другая формула: $\sigma^2 = (\overline{x_i^2}) - (\bar{X})^2$, которая позволяет исключить расчет отклонений значений x_i от средней $\bar{X}$, и, следовательно, исключается ошибка, связанная с округлением отклонений.

При использовании статистических методов исследования дисперсия по-прежнему является главным показателем вариации, так как обобщающие показатели вариации вторых степеней отклонений обладают рядом свойств, особенно важных для решения практических задач. Поэтому показатели σ^2 и σ входят в большинство теорем теории вероятностей, а на дисперсии основаны практически все методы математической статистики [4].

Коэффициент вариации W – относительный показатель вариации, который на практике определяется либо как относительный размах вариации $W = \frac{R}{\bar{X}} \cdot 100\%$, либо показатель W определяется по среднеквадратическому отклонению $W = \frac{\sigma}{\bar{X}} \cdot 100\%$. При этом решаются две основные задачи:

- сравнение интенсивности вариации различных совокупностей, в которых значения признака выражены в разных единицах измерения;
- оценка надежности и типичности средней $\bar{X}$: совокупность данных считается однородной при условии $W \leq 33\%$.

ВЫВОДЫ

Таким образом, приведенный аналитический обзор статистических показателей и их свойств, а также анализ литературных источников показывает, что при практическом использовании статистических методов и показателей в СУБП важными являются следующие особенности и рекомендации.

1. Общая особенность применения показателей в расчетах – тесная взаимосвязь между ними в различных формулах при построении других показателей. Покажем это на примере. В первом случае дисперсия σ^2 используется для сравнения всех средних относительно средней арифметической $\bar{X}$ по формуле [7] $\bar{X}_k = \bar{X} + \frac{(k-1)\sigma^2}{2\bar{X}}$, где k – степенной показатель средних (см. табл.). Тогда, например, при $k = 1$ получим $\bar{X}_k = \bar{X}$, а при $k = -1$: $\bar{X}_k = \bar{X}_{-1} = \bar{X} - \frac{\sigma^2}{\bar{X}}$ ($\bar{X}_1 < \bar{X}$ – см. правило мажорантности средних). Во втором случае средняя $\bar{X}$ используется

для определения максимально возможных значений показателей вариации [4]: $\sigma_{\max} = \bar{X}\sqrt{n-1}$ и

$$W = \frac{\sigma_{\max}}{\bar{X}} = \sqrt{n-1}.$$

2. Как показывает практика [6], статистические методы часто не вписываются в рамки своего применения, так как не выполняются многие важные предпосылки: законы больших чисел не выполняются (особенно для малых выборок), закон распределения нельзя достоверно определить по выборочным данным, вероятность часто вводится необоснованно, а средние величины при использовании часто не являются фактическими характеристиками совокупности данных.

Так, например, принято считать, что увеличение числа наблюдений всегда повышает точность выводов. Однако на практике имеются свои ограничения [8]. Во-первых, при оценке точности выводов в формулы входит число наблюдений n в виде $\sqrt{n}$. Поэтому для увеличения точности выводов в m раз требуется увеличение объема выборки в m^2 раз – необходимый объем выборки растет как квадрат точности. Во-вторых, опыт применения показателей показывает, что чаще всего нарушается однородность исходных данных из-за изменения во времени условий получения информации. В связи с этим более обоснованным, чем использование случайных выборок, является формирование однородных статистических совокупностей полетных данных по малым выборкам – построение контрольных карт процесса (см., например, [2]).

3. Для повышения эффективности использования полетной информации в СУБП необходимо учитывать также следующее. При решении ряда задач выбор статистической модели, с одной стороны, неизбежен. Однако, как уже отмечалось, модели теоретической статистики часто не вписываются в рамки своего применения, создавая ненужные ограничения. Поэтому необходим расчет показателей, прежде всего, по экспериментальным данным контроля полетов. Тогда при накоплении такой информации сам процесс выполнения полетов может стать самостоятельной эмпирической моделью. При таком подходе, в отличие от стандартных процедур, предлагается комплексное применение показателей – сравнительный анализ совокупностей (выборок) с использованием обобщенного показателя в виде набора четырех числовых характеристик: $\{\bar{X}, \sigma^2, R, W\}$.

4. В конечном итоге, при наличии знаний о статистических закономерностях процесса выполнения полетов, становится возможным построение различных показателей БП на новой информационной основе – выявление опасных факторов и контроля факторов риска с учетом динамики показателей статистического мониторинга рейсовых полетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по управлению безопасностью полетов. (Doc. 9859 – AN/474). ИКАО, 2013.
2. Уиллер Д., Чамберс Д. Статистическое управление процессами. Оптимизация бизнеса с использованием контрольных карт Шухарта: пер. с англ. / Предисл. Ю.П. Адлера. М.: Альпина Бизнес Букс, 2009.
3. Ефимов В.В. Статистические методы в управлении качеством продукции: учебное пособие / В.В. Ефимов, Т.В. Барт. М.: Кнорус, 2014.
4. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики: учебник / под ред. И.И. Елисеевой. М.: Финансы и статистика, 2004.
5. Годин А.М., Русин В.М., Соколин В.П. Статистические средние и другие величины и их применение в различных отраслях деятельности: учебное пособие. М.: Издательско-торговая корпорация «Данилов и К^о», 2007.
6. Горелова Г.В. Теория вероятностей и математическая статистика в примерах и задачах с применением Excel / Г.В. Горелова, И.А. Кацко. Ростов н/Д: Феникс, 2006.

7. Джини К. Средние величины: пер. с итал. М.: Статистика, 1970.
8. Тюрин Ю.Н. Что такое математическая статистика. М.: Знание, 1975.

FEATURES OF THE APPLICATION OF STATISTICAL INDICATORS OF SCHEDULED FLIGHTS OF AIRCRAFT

Volkov G.A., Dmitriev V.A., Suhii N.N.

The possibilities of increasing the effectiveness of management of safety of regular aircraft operations on the basis of systematic approach, under normal operating conditions are considered. These new opportunities within the airline are based on Flight Safety Management System integration with quality management system. So far, however, these possibilities are practically not implemented due to the limited application of statistical methods. A necessary condition for the implementation of the proposed approach is the use of statistical flight data results of the quality control flight. The properties and peculiarities of application of statistical indicators of flight parameters during the monitoring of flight data are analyzed. It is shown that the main statistical indicators of the controlled process are averages and variations. The features of the application of theoretical models of mathematical statistics in the analysis of flight information are indicated. It is noted that in practice the theoretical models often do not fit into the framework of its application because of the violation of the initial assumptions. Recommendations are given for the integrated use of statistical indicators of the current quality control of flights. Ultimately, the article concludes that the capabilities of the proposed approach allows on the basis of knowledge about the dynamics of statistical indicators of controlled flight process to identify hazards and develop safety indicators for the new information based on data flight operation aircraft.

Key words: flight safety, flight information, indicators, flight monitoring.

REFERENCES

1. Safety management manual. (Doc. 9859-AN/474). ICAO, 2013.
2. Uiller D., Chambers D. Statistical management of processes: business optimization with use of Shu-khart control cards. Moscow, Alpina Business Books, 2009. [In Russian].
3. Efimov V., Bart T. Statistical methods in quality management: Training manual. Moscow, Knorus, 2014. [In Russian].
4. Eliseeva I., Uzbashev M. General Theory of Statistics: Tutorial. Moscow, Finance and statistics, 2004. [In Russian].
5. Godin A., Rusin V., Sokolin V. Statistical averages and other values and their application in different branches of activity: Training manual. Moscow, Publishing trade company "Danilov and Co", 2007. [In Russian].
6. Gorelova G., Kachko I. Probability Theory and Mathematical statistics in the examples and Excel tasks application. Rostov-on-Don, Feniks, 2006. [In Russian].
7. Jinny K. Averages. Moscow, Statistics, 1970. [In Russian].
8. Turin U. What is mathematical statistics. Moscow, Znanie, 1975. [In Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Волков Геннадий Анатольевич, профессор кафедры безопасности полетов СПбГУГА.

Дмитриев Владимир Алексеевич, к.т.н., доцент кафедры летной эксплуатации и профессионального обучения авиационного персонала СПбГУГА.

Сухих Николай Николаевич, д.т.н., профессор, первый проректор – проректор по учебной работе СПбГУГА, зав. каф. систем автоматизированного управления, электронный адрес: snn251@mail.ru.