

Использование методов спектрального анализа при решении задач управления уровнем аварийности в авиации

Ю.В. Попов, старший научный сотрудник, д-р техн. наук¹

А.Е. Куменко, старший преподаватель, канд. техн. наук²

¹ Научно-исследовательский центр ремонта и эксплуатации авиационной техники, г. Люберцы, Московской области

² Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

e-mail: tov_popov@rambler.ru, kumenko@yandex.ru

Ключевые слова:

обеспечение безопасности полетов, периодограмма, уровень аварийности, авиация.

На основе анализа статистических данных о числе катастроф в авиации на 100 тыс. часов налета за период 1960–2012 год предложено использование инструмента периодограмм, как метода спектрального анализа для выявления циклов и определения наличия признаков управления системой обеспечения безопасности полетов в различные временные интервалы. Показано, что стратегические воздействия органов управления безопасностью полетов при наличии устойчивой и отлаженной структуры управления незначительно влияют на безопасность. В статье использованы периодограммы для отыскания периодичностей в статистическом индикаторе безопасности полетов. В результате временной ряд индикатора безопасности полетов был разделен на два интервала. Данные интервалы характеризуют различные экономические отношения в стране. В статье показаны различия данных интервалов. И на основе данных различий показано, что безопасность полетов зависит от организационно-стратегических решений без резких изменений самой структуры.

1. Введение

Обеспечение безопасности полетов (БП) всегда было и остается одной из важнейших проблем на пути развития авиации. В результате авиационных происшествий (АП) гибнут люди, наносится значительный материальный и моральный ущерб государству, подрывается вера в надежность авиационной техники, закрадывается сомнение в достаточном уровне подготовки авиационных кадров. В государственной авиации инциденты и катастрофы нарушают планы учебной подготовки, наносят материальный ущерб, задерживают освоение новой авиационной техники.

Сложность проблемы обеспечения БП состоит в том, что ее решение зависит от многочисленных факторов, реализуемых при разработке тактико-технического задания на воздушное судно (ВС), в процессе его проектирования, производства, заводских, госу-

дарственных и специальных испытаний и, наконец, в процессе эксплуатации и применения авиационной техники.

Недостатки и просчеты, допущенные на всех этих этапах, довольно часто вскрываются только на заключительном этапе — в процессе эксплуатации и применения ВС.

Современный этап развития авиации характеризуется большой информационной нагрузкой летного экипажа, быстротечностью процессов управления, значительным диапазоном изменения пилотажных характеристик ВС, разносторонним взаимодействием самолета с другими элементами авиационного комплекса. Все это ставит новые задачи на пути решения проблемы обеспечения безопасности полета.

Безопасность выполнения полета определяется надежным функционированием ВС, летного экипа-

жа, наземных технических средств и личного состава служб и подразделений, обеспечивающих полет, а также условиями внешней среды.

2. Индикаторы оценивания уровня безопасности полетов

Уровень БП оценивается определенными индикаторами. Индикаторы могут быть статистическими и аналитическими. Статистические индикаторы обычно выражаются в определенных физических величинах, получаемых в результате обработки данных эксплуатации. Аналитические индикаторы обычно имеют вероятностное выражение и вычисляются методами теории вероятностей.

Статистические индикаторы могут быть абсолютными и относительными. Абсолютные индикаторы зависят не только от состоянии БП, но и от численности парка авиационной техники, общего налета и других абсолютных данных. Относительные статистические индикаторы являются универсальными. Относительный показатель представляет собой результат деления двух абсолютных показателей друг на друга и выражает соотношения между количественными характеристиками БП. По относительным индикаторам можно оценить состояния БП во времени, представить уровень развития одного явления на фоне других взаимосвязанных с ним явлений, выполнить пространственно-территориальные сравнения. Значения ежегодных относительных показателей помогает обнаружить тенденции состояния безопасности полетов.

В государственной авиации основным индикатором БП является количество катастроф на 100 тыс. часов налета, который определяется по формуле

$$K_K = \frac{n_K}{t_\Sigma} 10^5,$$

где: n_K — количество катастроф; t_Σ — общее время налета ВС.

Индикатор K_K достаточно универсальный, потому что может использоваться для оценки уровня аварийности при различных видах применения авиации, вместе с тем не взаимозаменяемы при различной структуре полетов (дальние и короткие полеты) и не отражает специфику вида авиации.

На рис. 1 представлен относительный индикатор число катастроф на 100 тыс. часов налета (K_K) за период 1960–2012 гг. в государственной авиации.

Визуальный анализ графика числа катастроф на 100 тыс. часов налета показывает, что выделить повторяющиеся циклы не представляется возможным. Визуально трудно выделить циклы, так как суще-

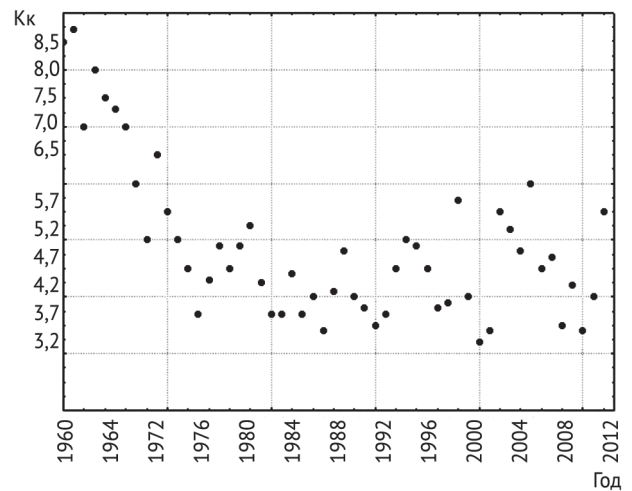


Рис. 1. Индикатор числа катастроф на 100 тыс. часов налета

ствуют комбинации нескольких наложенных друг на друга периодических колебаний с разными периодами.

3. Спектральный анализ индикаторов уровня безопасности полетов

В каждой сфере деятельности встречаются явления, которые интересно и важно изучать в их развитии, так как они эволюционируют и флуктуируют во времени. С течением времени изменяются цены, экономические условия, режим обучения пилотов и техническое обслуживание ВС. Как показано на рис. 1, индикатор числа катастроф изменяется во времени. Проведем оценку механизма, лежащего в основе формирования индикатора числа катастроф.

Для точной количественной оценки присутствующих в индикаторе числа катастроф колебаний воспользуемся спектральным анализом. Метод спектрального анализа заключается в том, что наблюдаемая зависимость изменения исследуемой величины (в нашем случае — индикатор числа катастроф) от времени представляется в виде суммы гармонических колебаний с разными частотами. Одним из методов спектрального анализа для выявления циклов является метод периодограмм. Периодограмму используют для отыскания периодичностей во временном ряде [1]. Периодограмма один из наиболее известных и наиболее важных инструментов исследования цикла. Главное преимущество периодограммы в том, что она предоставляет простой метод идентификации всех возможных циклов, присутствующих в данных. Функции синусов и косинусов независимы (или ортогональны), поэтому можно просуммировать квадраты коэффициентов

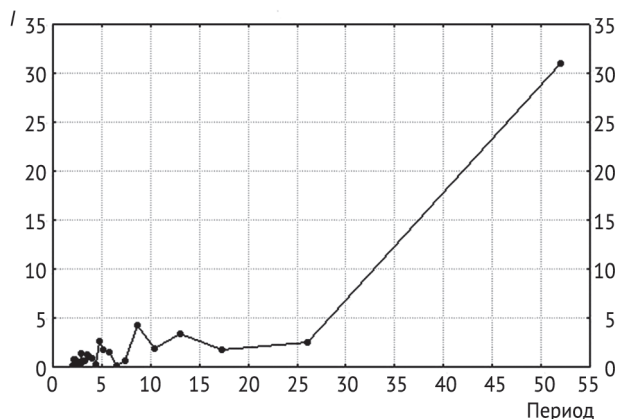


Рис. 2. Периодограмма индикатора числа катастроф на 100 тыс. часов налета

для каждой частоты, чтобы вычислить периодограмму. Периодограмма временного ряда K_{K_i} , $t = 1, 2, \dots, n$ согласно [2], — это

$$I(f_i) = \frac{2}{n} \left[\left(\sum_{t=1}^n K_{K_i} \cos 2\pi f_i t \right)^2 + \left(\sum_{t=1}^n K_{K_i} \sin 2\pi f_i t \right)^2 \right],$$

где: $f_i = \frac{i}{n}$ — частота; I — значения периодограммы

на частоте f_i .

Таким образом, это результат корреляции K_{K_i} с синусоидами и косинусоидами различных частот. На рис. 2 приведена периодограмма количества катастроф на 100 тыс. часов налета за 1960–2012 гг. Она выглядит нерегулярной. Следовательно, периодическая компонента во временном ряде количества катастроф за 1960–2012 гг. отсутствует.

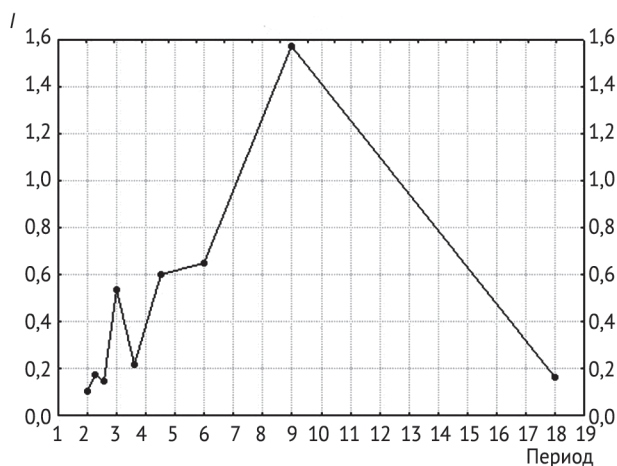


Рис. 3. Периодограмма индикатора числа катастроф на 100 тыс. часов налета для интервала с 1973 г. по 1990 г.

Данная периодограмма, подтверждает вывод, сделанный в [3], о том, что асимптотическая независимость периодограмм достигается путем разделения данных на непересекающиеся сегменты. Поэтому разделим временной ряд индикатора числа катастроф на два интервала:

- первый интервал с 1973 по 1990 г.;
- второй интервал с 1991 по 2012 г.

Данные интервалы характеризуют различные экономические отношения в стране.

На рис. 3 приведена периодограмма индикатора числа катастроф на 100 тыс. часов налета интервала с 1973 г. по 1990 г.

Анализ периодограммы необходимо проводить по всем направлениям человеческой деятельности, оказывающих влияние на безопасность полетов. В качестве исходных данных целесообразно рассмотреть основные события в областях: организационно-структурной, финансовой, технической, антропогенной. Кроме того системные изменения обладают эффектом запаздывания и возникновение периодичности с определенной длительностью нельзя однозначно объяснить и привязать точно к событиям в государственной авиации, однако некоторые из них мы проследить можем, особенно на глобальном стратегическом уровне.

Период с 1973 по 1990 г. характеризуется стабилизацией организационной авиационной структуры, в которой происходят планомерные изменения, а периоды характеризуют переходы на новые типы техники, между тем управление системой обеспечивается принятием и выполнением концептуальных решений, направленных на создание многоуровневой системы обеспечения безопасности полетов, заложенных в Постановлении ЦК КПСС и Совмина СССР от 23.10.1965 г. №836–298 «Об аварийности в авиации Вооруженных Сил Союза СССР», что наиболее сильно повлияло на сокращение авиационных происшествий. Так как изменение было стратегическое, период запаздывания (вхождения в зону управления) составил около 6–8 лет. Например, точно такое время понадобилось при перестроении государственной модели управления в 1985–1993 гг. Рассмотрим основные системообразующие факторы в периодах.

Период 1973–1976 — принятие специальной программы развития авиации в СССР и переход на нее, в результате которой удалось обеспечить производство новых материалов, заготовок и полуфабрикатов с высокими характеристиками, термообработка титана.

В 1975 г. был образован ЦНИИМВ, который активно подключился к испытаниям сплавов и мате-

риалов для формирования надежной и легкой конструкции самолетов.

Период 1976–1983 гг. — активное старение авиационного парка, разгар холодной войны, резкое увеличение финансирования, разработка новых типов техники.

Период 1983–1991 гг. — поступление на вооружение новых типов техники (Су-27, МиГ-29, Ту-22М3, Ту-160), ведение активных действий в Афганистане, начало перестройки. Отсутствие резких изменений в финансировании, в функционально-структурных элементах, планомерное замещение авиационного парка и технологий позволило в этот период управлять системой безопасности полетов.

На рис. 4 приведена периодограмма индикатора числа катастроф на 100 тыс. часов налета интервала с 1991 по 2012 г.

Периодограмма индикатора числа катастроф на рис. 4 берет свое начало с момента изменения государственного строя и экономики России, что сопровождалось разрушением практически всех институтов, связанных с обеспечением нормального функционирования авиационной системы. Число катастроф в первые годы переходного периода возросло более чем в 2 раза. Дальнейшее снижение общего количества авиационных происшествий возникло из-за уменьшения налета в государственной авиации. В 1998–2002 гг. ежегодный налет по сравнению с 1992 г. сократился в 3,2 раза, поэтому мы видим большие скачки относительного показателя на уменьшенной выборке. Конец 1994 г. — начало сложного периода на Северном Кавказе в Чеченской республике, что тоже оказало значительное влияние на периодограмму. Между тем, начиная с конца 1990-х, делаются попытки адаптировать систему в организационно — функциональном отношении. Однако вместе с образованием новых структур, системность в управлении и финансировании отсутствует. Объединение ВВС и ПВО в 2003 году снизило финансирование в 2 раза, возникла проблема с поставками новых запчастей и деталей из-за нарушения кооперации и отсутствия заштатных самолетов-доноров.

С 2003 по 2006 год происходит интеграция компаний в крупные холдинги. И только в 2010 году начинают системно рассматриваться вопросы, связанные с взаимодействием органов безопасности полетов государственной авиации в Российской Федерации. Соответствующие приказы министерств, с регистрацией в Минюсте, состоялись 16 февраля 2010 года. С точки зрения теории катастроф развороты трендов обеспечиваются незначи-

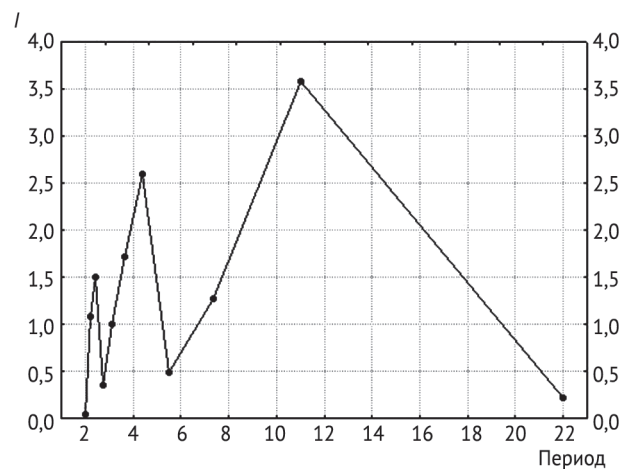


Рис. 4. Периодограмма индикатора числа катастроф на 100 тыс. часов налета интервала с 1991 г. по 2012 г

тельным усилием, которое может повлечь за собой «сход лавины».

3. Заключение

Применение математического инструмента периодограмм, позволяющего выявить корреляционные зависимости между показателями безопасности полетов и событиями стратегического уровня управления, дает основания делать выводы об управлении и управляемости системы безопасности полетов на различных уровнях управления и времени реагирования системы безопасности полетов.

Сложные системы, связанные с безопасностью полетов, целесообразно исследовать с использованием технологий имитационного моделирования, с целью снижения уровня аварий и катастроф в будущем. При проведении имитационного моделирования организационно-технических систем использование метода периодограмм может являться одним из инструментов верификации и адекватности самой разрабатываемой модели.

Количество факторов, влияющих на безопасность полетов, огромно, но не они определяют изменение уровня аварийности. Глубокий анализ событий, происходящих в авиационной отрасли, с использованием методов спектрального анализа позволяет сделать вывод, что резкие изменения в лучшую сторону происходят при появлении одаренных, грамотных управленцев и конструкторов, а плавное улучшение зависит от организационно-стратегических решений без резких изменений самой структуры.

Метод анализа периодограммы позволяет выявить механизмы, лежащие в основе процесса управления безопасностью полетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахтарин Б.И., Ковригин В.А. Методы спектрально-го оценивания случайных процессов. М.: Гелиос АРВ, 2005. — 248 с.
2. Бендат Дж., Пирсол Г. Прикладной анализ случайных данных. М.: Мир, 1989. — 540 с.
3. Бриллинджер Д. Временные ряды. Обработка данных и теория. М.: Мир, 1980. — 536 с.

REFERENCES

1. Shakhtarin B.I., Kovrigin V.A. *Metody spektral'nogo otsenivaniya sluchaynykh protsessov* [Methods for spectral estimation of random processes]. Moscow, Gelios ARV Publ., 2005. 248 p. (in Russian)
2. Boks D., Dzhenskings G. *Analiz vremennykh ryadov, prognoz i upravlenie* [Analysis of temporary ranks, forecast and management]. Moscow, Mir Publ., 1974. Book 1. 406 p. (in Russian)
3. Brillindzher D. *Vremennyye ryady. Obrabotka dannykh i teoriya* [Temporary ranks. Data processing and theory]. Moscow, Mir. 1980. 536 p. (in Russian)

Spectral Analysis in Solving Problems of Managing Accident Rate in Aviation

Yu.V. Popov, Senior Research Assistant, Doctor of Sciences (Engineering), Scientific Research Centre of Operation and Maintenance of Aeronautical Equipment

A.E. Kumenko, Senior Lecturer, Candidate of Sciences (Engineering), Moscow Aviation Institute (National Research University)

Based on the analysis of statistical data on the number of aviation accidents per 100 thousand flight hours for the period of 1960-2012, the article proposes the use of periodogram as a method of spectral analysis to detect cycles and determine whether there is any indication of flight safety management system at different time intervals. It shows that strategic influences on safety system (within stable and well-functioning management structure) directly and extensively shape the trend of relative safety indicator.

Keywords: flight safety system, periodogram, accident rate, aviation.

Создание сети опорных университетов

Формирование сети опорных университетов осуществляется путем реорганизации образовательных организаций. Был объявлен конкурс на отбор проектов Программ развития, направленных на формирование опорных университетов в целях социально-экономического развития субъектов Российской Федерации. К участию в конкурсе допускалась образовательная организация, принявшая решение о реорганизации путем присоединения к ней одной или нескольких образовательных организаций, расположенных в том же муниципальном образовании Российской Федерации. Участнику конкурса необходимо разработать проект Программы развития опорного университета на период не менее 5 лет. Проект Программы развития опорного университета подразумевал комплекс мер и мероприятий по следующим направлениям: модернизация образовательной деятельности; модернизация научно-исследовательской и инновационной деятельности; развитие кадрового потенциала; модернизация системы управления университетом; модернизация материально-технической базы и социально-культурной инфраструктуры.

Участник конкурса должен был взять обязательство обеспечить объем финансирования не менее 20% объ-

ема запрашиваемой субсидии на реализацию Программы развития опорного университета. Предполагается, что опорный университет ежегодно будет получать 200 млн руб. К 2020 г. опорный университет должен достичь следующих показателей: общая численность обучающихся по всем программам по очной форме — не менее 10 тыс. чел., консолидированный бюджет — не менее 2 млрд рублей, количество реализуемых укрупненных групп специальностей и направлений — не менее 20, количество обучающихся по программам аспирантуры и магистратуры к общей численности приведенного контингента обучающихся по основным образовательным программам — не менее 20%, объем НИОКР на одного НПП — не менее 150 тыс. рублей в год, число публикаций, индексируемых в системах научного цитирования, на 100 НПП — Web of Science — не менее 15 шт., Scopus — не менее 20 шт.

Заявки на конкурс подали 15 университетов, при этом соответствовали требованиям заявки 12 университетов. 22 января 2016 г. должна состояться защита программ развития опорных университетов.

Более подробную информацию можно получить на специально созданном сайте — www.opornyyuniverstet.rf.