



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.8: 656.714

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ И СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ

¹ Некрасов Т.Д., ² Проскурин Л.Ю., Лозница С.Ю. (научный руководитель)

ФГБОУ ВО "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ ИМЕНИ ГЛАВНОГО МАРШАЛА АВИАЦИИ А.А. НОВИКОВА", Санкт-Петербург, Россия (196210, город Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д.38), e-mail: ¹Kvakolka885@gmail.com, ²l3on.v.2.0@gmail.com

Цель этой статьи - изучить роль, которую инструменты вероятностного и статистического анализа, такие как модели ARIMA, могут сыграть в повышении безопасности полетов. Это должно быть достигнуто путем использования имеющихся данных об авариях, их вероятностной организации на основе различных задействованных переменных, позволяющей лучше понять их, а также путем анализа временных рядов для прогнозирования будущих значений и тенденций. Полученные результаты предоставляют ценную информацию, который может быть использован различными авиационными организациями для предотвращения авиационных происшествий.

Ключевые слова: Временной ряд, математическая модель, полетный цикл, авиационное происшествие, прогнозирование, вероятность, статистика.

PROBABILISTIC AND STATISTICAL ANALYSIS OF AVIATION ACCIDENTS

¹ Nekrasov T.D., ² Proskurin L.Yu., Loznitsa S.Yu. (supervisor)

"ST. PETERSBURG STATE UNIVERSITY OF CIVIL AVIATION NAMED AFTER AIR CHIEF MARSHAL A.A. NOVIKOV", St. Petersburg, Russia (196210, St. Petersburg, ул. Pilotov, д.38), e-mail: ¹Kvakolka885@gmail.com, ²l3on.v.2.0@gmail.com

The purpose of this article is to explore the role that probabilistic and statistical analysis tools such as ARIMA models can play in improving flight safety. This should be achieved by using the available accident data, their probabilistic organization based on the various variables involved, allowing for a better understanding of them, as well as by analyzing time series to predict future values and trends. The results provide valuable information that can be used by various aviation organizations to prevent accidents.

Keywords: Time series, mathematical model, flight cycle, aviation accident, forecasting, probability, statistics.

Введение:

Авиация представляет собой крупнейшую транспортную отрасль в мире, и, несмотря на огромные масштабы ее деятельности, с 4,5 миллиардами пассажиров, перевезенных по всему миру только в 2019 году за один из 884 тысяч выполненных рейсов [1], она из года в год сохраняет звание самого безопасного способа транспортировки в мире [2,3]. Такие показатели возможны только благодаря постоянным инвестициям и исследованиям в области улучшения безопасности. Одним из ее многочисленных аспектов является предотвращение аварий, в основном направленное на минимизацию потерь человеческих жизней путем предотвращения повторения событий, угрожающих безопасности [4]. Примером непрерывной работы по улучшению безопасности стало введение в 2013 году Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) Приложения 19, в котором говорится, что каждая организация,

участвующая в авиационной отрасли, от утвержденных учебных организаций (АТО) до авиакомпаний, должна иметь Систему управления безопасностью (СУБ). Различные СУБ с соответствующими инструментами должны быть способны предпринимать проактивное поведение вместо реактивного, определяя стандарты безопасности организации, а также позволяя, при необходимости, своевременно вмешиваться в существующие правила или процедуры для повышения безопасности [5]. Авторы в [6] утверждают, что должны использоваться соответствующие инструменты, многие из которых включают анализ и обработку больших объемов данных, собранных во время операции, либо из отчетов, системы мониторинга или аудитов. Эта информация будет работать как основа для всего процесса безопасности, поскольку ее изучение и понимание позволят получить расширенные знания о возможных моделях, корреляциях, тенденциях и даже выполнять прогнозы. Это очень ценно, поскольку позволяет различным участникам отрасли использовать такие более глубокие знания для прогнозирования возможных сценариев и вмешиваться при необходимости, избегая ненужных аварий. Многие из этих инструментов используют математическую область вероятности и статистики для выполнения этих расчетов, являясь одним из тех расчетов для создания прогнозов, как краткосрочных, так и среднесрочных или долгосрочных. Прогнозы, когда они сделаны правильно, могут иметь первостепенное значение, обеспечивая поддержку во многих организациях стратегическим процессам принятия решений и планированию [7]. Некоторые из этих математических инструментов являются моделями, связанными с анализом данных временных рядов. Как подробно описано в [8], временной ряд представляет собой набор данных, записанных в течение определенного периода времени, и его анализ важен для того, чтобы иметь большое понимание любых корреляций, закономерностей или сезонности, обнаруженных в наборе изучаемых данных. Он также, в основном посредством применения вероятностной модели, сможет создавать прогнозы возможных значений и тенденций. В настоящее время существуют различные модели, связанные с временными рядами, исследованием, такими как линейная регрессия, экспоненциальное сглаживание, авторегрессионные или скользящие средние модели или сочетание обоих, включая модели ARIMA (интегрированная модель авторегрессии — скользящего среднего). В [9] описано, что использование моделей ARIMA довольно распространено в авиации, поскольку оно объединяет модели авторегрессии (AR) и скользящего среднего (MA), предоставляя обе их преимущества и снимая ограничение на использование только стационарных временных рядов. Используя интеграцию, модели ARIMA могут преобразовывать нестационарный временной ряд в стационарный. Как описано в [7], стационарный временной ряд — это ряд со свойствами, которые не меняются со временем, и поэтому существуют постоянное среднее и стандартное отклонение, не показывающее никаких тенденций или сезонности. Модели AR опираются на значения наблюдений, сделанных в течение периода (p), чтобы прогнозировать будущие значения; интегрированные (I) модели используют интеграцию временных рядов, чтобы преобразовать их в стационарные при необходимости, порядок интеграции равен (d); модели MA опираются на разницу (ошибку) между фактически наблюдаемыми значениями и прогнозируемыми значениями в течение прошлого периода (q). Модель ARIMA представлена как порядок (p,d,q), поэтому модель ARIMA (1,1,1) будет означать, что выход у связан с входом и выражением вида

$$(y_k + a_1 y_{k-1})(1 - z^{-1}) = u_k - b_1 u_{k-1}$$

где z^{-1} — оператор задержки, член $(1 - z^{-1})$ — интегрирование, a_1 и b_1 — параметры модели, y_k и u_k — вход и выход в заданный момент времени, а y_{k-1} и u_{k-1} — вход и выход в предыдущий момент времени.

В авиации модели, связанные с анализом временных рядов, такие как ARIMA, используются с двумя основными целями: есть коммерческая, управленческая сторона и другая сторона, связанная с безопасностью полетов. Модели могут использовать данные из авиации и все связанные переменные (фаза полета, тип самолета) для изучения и анализа событий, связанных с безопасностью полетов, таких как аварии или инциденты. С одной стороны, это позволяет лучше и глубже понять основные причины, которые привели к этим событиям, а с другой стороны, использовать те же самые данные для попытки создания прогнозов, что позволяет в обоих случаях пользователю иметь проактивный подход к безопасности, а не реактивный [10]. Тот факт, что модели ARIMA позволяют использовать нестационарные временные ряды, чрезвычайно полезен при анализе данных, связанных с авиационными происшествиями, во-первых, из-за случайности значений во времени, а также, как указано в [9], из-за конфиденциальности данных об авариях и отчетов, что может затруднить сбор огромных объемов информации, которые обычно требуются для анализа временных рядов. Именно здесь модели ARIMA имеют преимущество, поскольку они могут использовать комбинацию двух описанных моделей (AR, MA), таким образом, в некоторых случаях требуя меньше данных, чем если бы модели использовались по отдельности для генерации того же количества ценных прогнозов. В этой статье основное внимание уделяется использованию моделей ARIMA, связанных с анализом временных рядов, для составления будущих прогнозов в области предотвращения несчастных случаев и безопасности. Статья структурирована следующим образом. Раздел 2 посвящен анализу данных и моделированию, раздел 3 представляет исследование случая и результаты, а раздел 4 излагает выводы.

Анализ данных и моделирование.

База данных об авиакатастрофах Aviation Safety Network (ASN) [11] является источником, использованным для сбора информации, связанной с авариями за последние 7 десятилетий (1950-2020). Все данные были распределены по пяти категориям: 1) количество аварий в год; 2) наличие причин; 3) фаза полета (земля, взлет, набор высоты, маршрут, заход на посадку, посадка); 4) повреждение самолета (незначительное, существенное, не подлежащее ремонту, фатальное); 5) тип самолета (винтовой, реактивный). Набор данных был смоделирован в соответствии со стандартизированным форматом на протяжении всего исследования для каждого отдельного временного ряда: 1) Построить график каждого временного ряда и его тенденции, изучив его стационарность или необходимость дифференцировать ряд для получения стационарного результата; 2) Изучить функции автокорреляции (AC) и частичной автокорреляции (PAC), чтобы установить количество параметров модели ARIMA (p, q, d), необходимых для моделирования ряда; 3) Создать модели разных порядков и выбрать наиболее статистически значимые из них, используя набор критериев пригодности, которые оценивают производительность каждой модели по сравнению с другими, в частности статистическую значимость, чтобы решить, следует ли отбрасывать модель; 4) Построить график подгонки созданной модели к данным и соответствующий прогноз на следующие 5 лет (2021-2025 гг.); 5) Поскольку данные о несчастных случаях за 2021 год уже были доступны в базе данных, используемой в этом

исследовании, эти данные использовались для проверки прогноза по сравнению с зарегистрированными реальными значениями, вычисляя его погрешность (%); 6) Для того чтобы иметь возможность включить данные, полученные в этом исследовании, в авиационная промышленность и извлечение фактов и выводов, исторический ряд циклов полетов за предыдущие 50 лет (1970-2020) был собран из [12]. Затем эти данные использовались как собственный временной ряд и с использованием моделей ARIMA был спрогнозирован его возможный рост до 2025 года. Объединение как прогнозов циклов полетов, так и аварий за тот же период позволило создать соотношение аварий/миллион циклов полетов, которое позволяет получить представление об уровнях безопасности отрасли, независимо от ее поведения, такого как экспоненциальный рост или замедления, наблюдавшиеся в прошлом.

Исследование случая и результаты.

Исследование случая сосредоточено на европейском воздушном пространстве с намерением изучить и понять траекторию его уровней безопасности за последние десятилетия и, используя эту информацию вместе с областью вероятности и статистики, создать прогнозы возможных будущих значений и тенденций. Было понятно, что, сосредоточившись только на европейском воздушном пространстве, поскольку оно является наиболее регулируемым и одним из самых загруженных в мире, оно послужит хорошей моделью для остальных областей земного шара. Чтобы сосредоточиться только на европейском воздушном пространстве, рассматривались происшествия, произошедшие в государствах-членах европейских авиационных регулирующих агентств, таких как Объединенные авиационные власти (JAA) и Европейское агентство по безопасности полетов (EASA), или операторах других стран, сертифицированных для этого; таким образом, полеты выполняются в соответствии с европейскими авиационными правилами. Все собранные данные были обработаны и организованы в соответствии с различными переменными, рассматриваемыми для исследования, которые влияют на происшествие. Чтобы обеспечить прошлое понимание отрасли, была дополнительно собрана и использована историческая информация, связанная с завершенными полетными циклами. Область вероятностного и статистического анализа предложила инструменты, необходимые для подготовки, организации и подачи этих огромных объемов данных в различные модели ARIMA для создания прогнозов до 2025 года (таблица 1). Эти прогнозы помогли обогатить уже сделанное прошлое исследование будущим компонентом в отношении уровней безопасности, и, сравнивая прогнозы с реальными значениями, проверить полученные результаты. Чтобы объединить все результаты в метрику, которая позволила бы оценить показатели безопасности в графическом и удобном формате, было найдено соотношение данных об авариях/прогнозах с циклами полетов. Это позволило продемонстрировать прошлую траекторию к сегодняшним значениям и спроецировать их в будущее с учетом поведения отрасли (рост и замедление) на рассматриваемом временном горизонте.

Таблица 1 - Прогнозы временных рядов (2021-2025)

	2021	2022	2023	2024	2025
Всего происшествий	12	15	20	19	13
Авиакатастрофы	2	2	2	2	1
Посадка	8	7	7	7	7
Не подлежит ремонту	2	1	2	0	0
Реактивный самолёт	13	13	13	14	14
Полетные циклы	9 201 741	9 347 256	9 492 772	9 638 288	9 783 803

Общее количество происшествий:

С анализом временного ряда, показанного на рисунке 1, количество происшествий/год, хотя и с колебаниями между его минимальным значением 6 и максимальным значением 28 в течение последних десятилетий, оставалось относительно постоянным около своего среднего значения 19. Это показывает признаки стационарности в ряде. Более низкое значение в 6 происшествий было зарегистрировано в 2020 году, нетипичном году, отмеченном пандемией Covid-19, которая привела к снижению объема воздушного движения с его значения 2019 года 8,13 миллиона до приблизительно 2,99 миллиона в 2020 году, и это снижение также оправдывает более низкое количество зарегистрированных происшествий. Модель ARIMA (0,0,5) прогнозировала 12 происшествий в 2021 году, 15 в 2022 году, 20 в 2023 году, 19 в 2024 году и 13 в 2025 году (Таблица1).

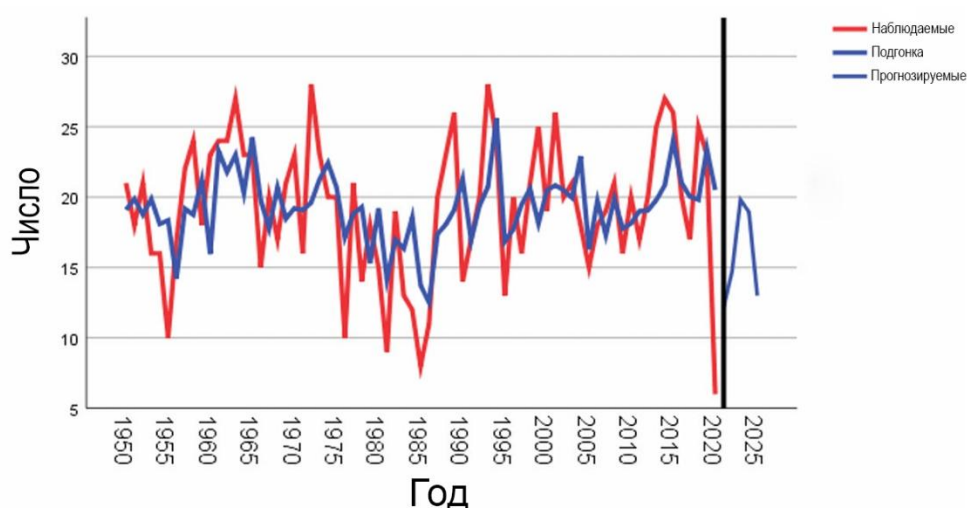


Рисунок 1 - Временной ряд общего количества наблюдаемых происшествий

Несчастные случаи со смертельным исходом:

Очевидно наличие тенденции к снижению в течение многих лет, оправданной развитием авиационной промышленности и, вместе с тем, уровнями безопасности за счет производства более безопасных и более совершенных и надежных самолетов, которые в то же время представляют меньший риск несчастных случаев, и в то же время несчастные случаи, которые происходят, приводят к меньшему количеству смертельных случаев, чем в прошлом [13]. Из-

за тенденции к снижению была применена дифференциация к ряду, чтобы превратить его в стационарный. Модель ARIMA (0,1,1) оказалась наиболее подходящей по своим критериям для временного ряда, и ее соответствие показано на рисунке 2. Временной ряд прогнозировал 2 несчастных случая со смертельным исходом в 2021, 2022, 2023, 2024 годах и одно несчастный случай в 2025 году (Таблица 1). Модель имеет ошибку 50% в прогнозе на 2021 год по сравнению с фактическим единственным происшествием со смертельным исходом.

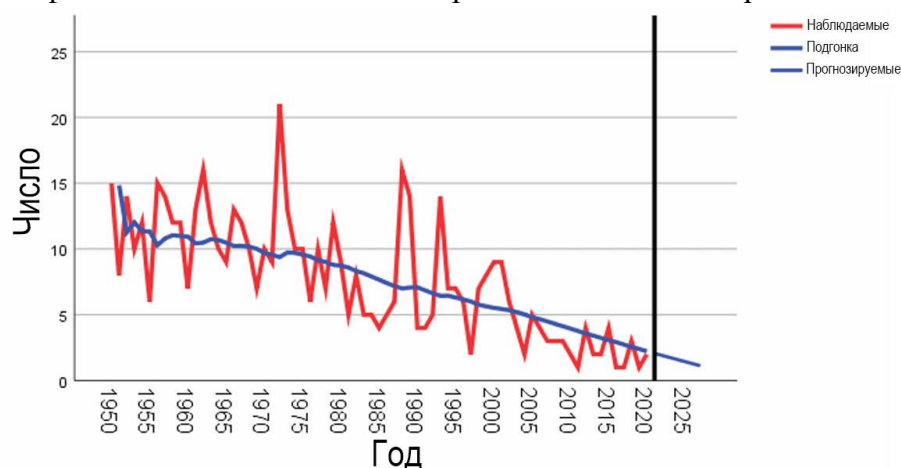


Рисунок 2 - Временной ряд происшествий с жертвами

Фаза полета:

Анализ летных происшествий является классическим методом, поскольку он позволяет разбить происшествия на разные фазы, каждая из которых имеет разный вес [14]. Этот факт был проверен в этом исследовании, поскольку большинство зарегистрированных происшествий произошло всего в три фазы, которые считаются наиболее критическими, хотя в то же время они составляют всего 6% продолжительности полета: взлет (включая начальный набор высоты), заход на посадку и посадка. Только на фазу посадки пришлось 33% всех происшествий в этом исследовании, поэтому она была выбрана для обсуждения. Анализ этого временного ряда показан на рисунке 3, выявляя положительную тенденцию, которая также предполагает необходимость ее трансформации. ARIMA (1,1,1) была выбрана на основе критериев пригодности. Ошибка модели в 60% в 2021 году между прогнозом в 8 аварий и реальным значением в 5. В 2022, 2023, 2024 и 2025 годах прогнозируемое количество аварий при посадке составляло 7 в год (Таблица 1).

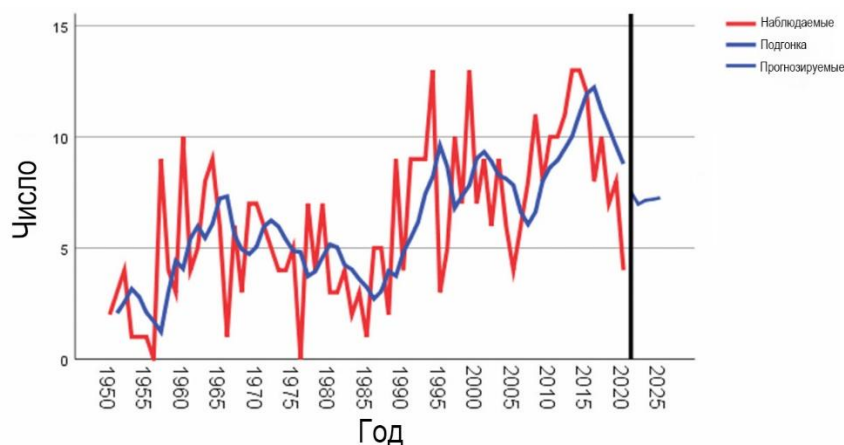


Рисунок 3 - Временной ряд посадок

Тип повреждения:

Что касается различных типов повреждений, полученных воздушными судами, особого внимания заслуживает временной ряд, не подлежащий ремонту. Этот факт обусловлен его противоположной тенденцией временного ряда, связанного со значительным ущербом, показанным на рисунке 4. Из-за наличия тенденции ряд был дифференцирован, и лучшей подгонкой оказалась модель $ARIMA(4,1,0)$. Прогнозируемые значения, проанализированные в таблице 1, следовали нисходящей тенденции данных и показывают точность 100% для 2021 года, соответствуя реальному факту двух зарегистрированных происшествий. В 2022 году модель прогнозировала 1 происшествие, 2 в 2023 году, и ни одного происшествия не прогнозировалось в 2024/2025 годах

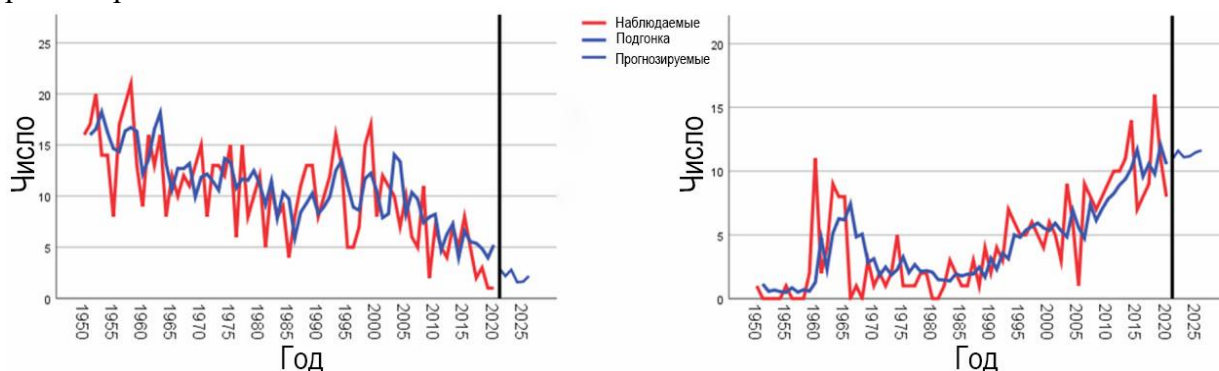


Рисунок 4 - Временной ряд повреждений, не подлежащих ремонту (Слева); Временной ряд существенный повреждений (Справа)

Тип самолета:

Анализ временных рядов реактивных и поршневых самолетов показан на Рисунке 5. Рисунок 5 показывает обратную связь, имеющую положительный (слева) и отрицательный тренд (справа), аналогично случаю типа повреждения (Рисунок 4). В случае (Рисунок 5) это может быть оправдано прогрессом в технологии в отрасли, ведущим к разработке и постепенной замене одной технологии движения поршневых двигателей на реактивные. Было обнаружено, что модель с лучшими характеристиками будет $ARIMA(1,1,1)$. Прогнозируемые значения в Таблице 1 оставались относительно постоянными на уровне 13 аварий в год с 2021 по 2023 год и 14 с 2024 по 2025 год. В 2021 году модель имеет ошибку примерно 85% по

сравнению с фактическими 7 событиями. Эту ошибку можно оправдать влиянием пандемии 2020 года на объем полетов в 2021 году, что привело к расхождению между прогнозируемыми и фактическими значениями.

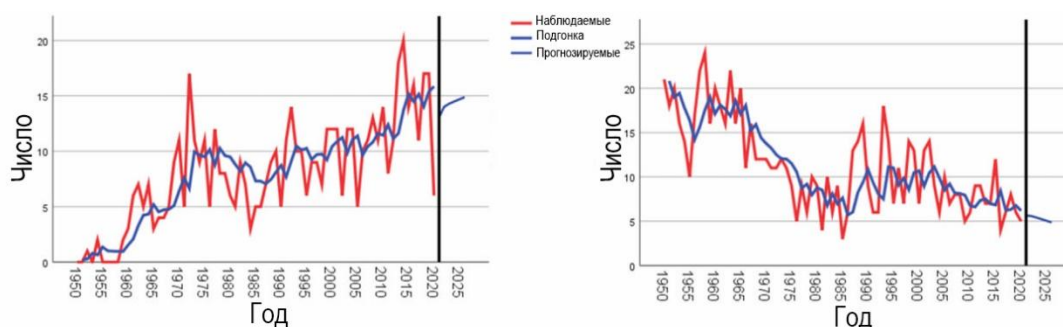


Рисунок 5 - Временной ряд реактивных самолетов (Слева); Временной ряд винтовых самолетов (Справа)

Перспективы отрасли:

Чтобы создать перспективу отрасли, обращенную в будущее, необходимо было получить данные для понимания общей траектории стандартов безопасности полетов в Европе за последние десятилетия в настоящее время. Анализ количества полетов за этот период показывает экспоненциальный рост с 1,8 млн циклов до 8,1 млн циклов с 1970 по 2018 год, что на 364% больше. Создание соотношения между авариями и циклами полета позволяет изучать уровни безопасности в течение этого периода времени с учетом различных моделей поведения в отрасли, а не только по абсолютному количеству аварий. Результатом соотношения между общим постоянным значением аварий, показанным на Рисунке 1, и растущей тенденцией в циклах полета из Рисунка 7 является отрицательная трендовая диаграмма (Рисунок 6), примерно с 13 аварий/миллион циклов полета в 1971 году по сравнению с 2 авариями в 2019 году. Эти цифры означают явное повышение уровня безопасности в Европе.



Рисунок 6 - Отношение происшествий к полетным циклам

Используя модели ARIMA, был создан новый временной ряд для прогнозирования возможного роста циклов полета на период 2021-2025 гг. Модель использовала ARIMA (1,1,1), и ее подгонка представлена на Рисунке 7, вместе с прогнозом 9 201 741 в 2021 г.; 9 347 256 в 2022 г.; 9 492 772 в 2023 г.; 9 638 288 в 2024 г. и 9 783 803 циклов полета в 2025 г. (Таблица¹).

Эти цифры отражают рост примерно на 6,33% или 582 млн циклов полетов. 2020 год был пропущен из-за искусственного влияния в прогнозе, что делает его нереалистичным по сравнению с фактическими данными о восстановлении и будущими оценками основных игроков отрасли [14].

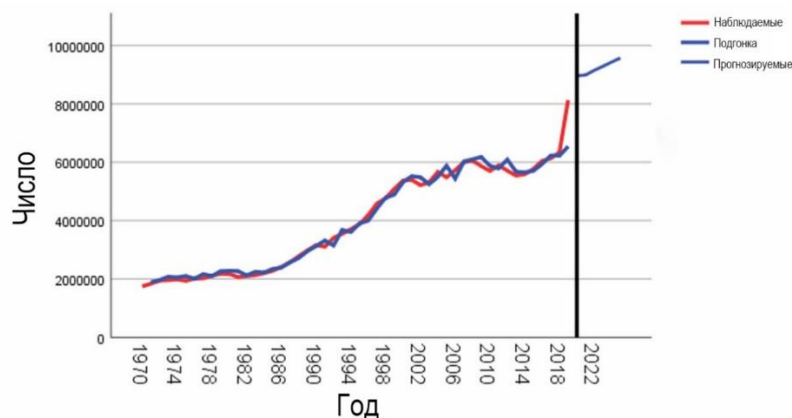


Рисунок 7 - Временной ряд наблюдаемых полетных циклов

Используя как прогноз аварий (Рисунок 2), так и прогнозируемые циклы полетов, показанные в Таблице 1, соотношение аварий на миллион циклов полетов было спрогнозировано, как показано на рисунке 8. Примечательно, что, хотя есть вариация в его значении (достигая максимального значения 2,11 аварий/миллион циклов полетов в 2023 году), оно в конечном итоге снижается, противоположно непрерывному росту циклов в год, что позволяет извлечь из рисунка 8 положительную корреляцию между ростом отрасли и уровнями безопасности. Эта положительная корреляция идентична той, что была получена при изучении прошлых и фактических уровней безопасности.

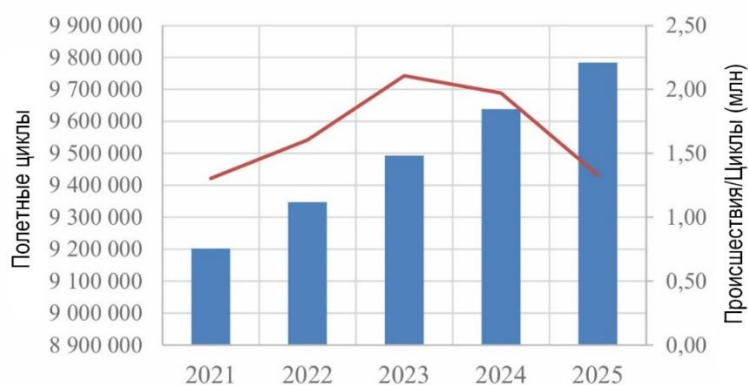


Рисунок 8 - Полетные циклы и отношение происшествий к полетным циклам

Заключение

Учитывая результаты, полученные в этом исследовании, важность используемых статистических инструментов становится ясной в авиации, особенно в области безопасности, поскольку они будут поддерживать классический подход (через расследование и анализ событий), представляя статистические данные, которые помогут прояснить и диагностировать определенные события. С другой стороны, инструменты такого рода позволяют разработать более проактивный подход к безопасности полетов, как описано в [15], посредством

всестороннего понимания различных задействованных переменных и их веса в возникновении аварий и инцидентов, помогая операторам отрасли Безопасность Система управления для выявления ключевых зон эксплуатационного риска и направления их усилий и внимания на них, что приводит к повышению уровня безопасности. Применение моделей ARIMA, связанных с анализом временных рядов, показало, что это может быть одним из инструментов, который может способствовать наряду со многими другими повышению безопасности полетов, хотя в то же время он может содержать некоторые ошибки в расчетах в своих значениях и прогнозах. Случайность данных, связанных с авиационными происшествиями, обусловлена их природой, поскольку объем воздушного движения и последующие происшествия, которые могут произойти, зависят от множества внешних факторов, которые невозможно учесть, таких как погода, геополитический кризис или последствия глобального кризиса здравоохранения, поставившего авиационную отрасль на колени.

Список литературы

1. ИКАО 2019 Мир воздушного транспорта в 2019 году (<https://www.icao.int/annual-report-2019/Pages/default.aspx>).
2. Сантос LFFM и Мелисио Р. 2019 Международный обзор аэрокосмической техники 12(1) С.35-45.
3. Мадейра Т., Мелисио Р., Валерио Д. и Сантос LFFM 2021 Аэрокосмическая техника 8(2) 47 С.1-18.
4. ИКАО 2015 Руководство по расследованию авиационных происшествий и инцидентов (<https://www.skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/3282.pdf>).
5. Европейское агентство по безопасности полетов 2021. Приемлемый уровень показателей безопасности (AloSP) (https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/2021-05-31_alosp_for_publication.pdf).
6. Гослинг Г., Мьюир А., Хант К., Шнееманн Г. и Шпейер Дж.-Дж. 2003 Руководство по методам и инструментам для анализа безопасности полетов авиакомпаний (<https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/237.pdf>).
7. Монтгомери Д.К., Шерил Дж. и Мурат К. 2008 Прогнозирование и анализ временных рядов. Нью-Йорк: Wiley.
8. Brockwell PJ и Davis RA 2016 Введение во временные ряды и прогнозирование Швейцария: Springer.
9. Lališ A 2017 Проблемы транспорта 12(3) С. 51-58.
10. Zieja M, Smoliński H и Gołda P 2015 Журнал Konbin 36 (1)С. 105-114.
11. Ranter Н 2022 Сеть безопасности полетов (<https://aviationsafety.net/database/databases.php>).
12. Всемирный банк 2022 Воздушный транспорт, зарегистрированные вылеты перевозчиков по всему миру (<https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.DPRT>).
13. Airbus 2022 Статистический анализ коммерческих авиационных происшествий 1958-2021 (<https://accidentstats.airbus.com/sites/default/files/2022-02/Statistical-Analysis-of-Commercial-Aviation-Accidents-1958-2021.pdf>).
14. Aalmoes R, Erkamp R, Cheung YS и van Nieuwpoort R 2013 WIT Transactions on The Built Environment 134(12) С.447-458.

15. Обновление прогноза EUROCONTROL 2021 на 2021–2027 годы, европейские авиаперевозки и службы, три сценария восстановления после COVID-19 (<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-10/eurocontrol-7-year-forecast-2021-2027.pdf>).

References

1. ICAO 2019 Air Transport World 2019 (<https://www.icao.int/annual-report-2019/Pages/default.aspx>).
 2. Santos LFFM and Melisio R. 2019 International Review of Aerospace Engineering 12(1) pp.35-45.
 3. Madeira T., Melício R., Valerio D. & Santos LFFM 2021 Aerospace Engineering 8(2) 47 pp.1-18.
 4. ICAO 2015 Accident and Incident Investigation Manual (<https://www.skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/3282.pdf>).
 5. European Aviation Safety Agency 2021. Acceptable Safety Performance Level (AloSP) (https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/2021-05-31_alosp_for_publication.pdf).
 6. Gosling, G., Muir, A., Hunt, K., Schneemann, G., and Speyer, J.-J. 2003 Manual on Methods and Tools for Airline Safety Analysis (<https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/237.pdf>).
 7. Montgomery D.K., Cheryl J. and Murat K. 2008 Time Series Forecasting and Analysis. New York: Wiley.
 8. Brockwell PJ and Davis RA 2016 Introduction to Time Series and Forecasting Switzerland: Springer.
 9. Lališ A 2017 Problems of Transport 12(3) pp. 51-58.
 10. Zieja M, Smoliński H and Gołda P 2015 Magazine Konbin 36 (1)P. 105-114.
 11. Ranter H 2022 Safety Network (<https://aviationsafety.net/database/databases.php>).
 12. World Bank 2022 Air Transport, Carriers' Registered Departures Worldwide (<https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.DPRT>).
 13. Airbus 2022 Statistical Analysis of Commercial Aviation Accidents 1958-2021 (<https://accidentstats.airbus.com/sites/default/files/2022-02/Statistical-Analysis-ofCommercial-Aviation-Accidents-1958-2021.pdf>).
 14. Aalmoes R, Erkamp R, Cheung YS and van Nieuwpoort R 2013 WIT Transactions on The Built Environment 134(12) pp. 447-458.
 15. EUROCONTROL 2021 Forecast 2021-2027 Update, European Air Travel and Services, Three COVID-19 Recovery Scenarios (<https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2021-10/eurocontrol-7-year-forecast-2021-2027.pdf>).
-