



Имитационная модель управления сбойной ситуацией в аэропорту



Василий Егорович Жуков

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации
(СПбГУГА), Санкт-Петербург, Россия.

✉ vasizhukov@yandex.ru.

Василий ЖУКОВ

АННОТАЦИЯ

Обеспечение регулярности выполнения рейсов является одной из ключевых задач авиакомпании. Три главные компоненты эффективного функционирования системы воздушного транспорта – это обеспечение безопасности полётов, обеспечение регулярности и высокое качество оказываемых услуг, то есть сервисная составляющая процесса авиаперевозки.

При этом стоит обратить внимание на тот факт, что регулярность или пунктуальность выполнения рейсов является основой для обеспечения безопасности, ритмичное выполнение суточного плана позволяет строго выдерживать нормы по своевременному техническому обслуживанию и профилактическим осмотрам воздушных судов. А рейсы, выполняемые со значительными задержками, сводят на нет все усилия авиаперевозчиков показать высокий уровень сервиса на борту и при обслуживании пассажиров в аэропортах. Нарушение регулярности выполнения рейсов приносит авиакомпании убытки и значительный

ущерб репутации. Традиционными причинами задержки рейсов являются – неблагоприятные метеоусловия, технические причины, позднее прибытие самолёта. Но у некоторых российских авиакомпаний периодически нарастает показатель задержек вылетов и прибытия рейсов и по причинам загруженности аэропортов, загруженности зон ожидания аэропортов, сбоев в ритмичности выполнения суточного плана.

Каждая задержка рейса создаёт сбойную ситуацию. Вопрос управления сбойной ситуацией всегда являлся темой для научных дискуссий и исследований. Цель исследования – разработать модель управления сбойной ситуацией, задача – изучение вариантов решений в виде очереди воздушных судов на вылет и анализ результатов этих решений, где целевой функцией будет минимизация убытков от задержки.

Для принятия решений предлагается использование имитационной модели условной сбойной ситуации, описанию содержания которой и посвящена эта статья.

Ключевые слова: авиационный транспорт, аэропорт, регулярность выполнения рейсов, сбойная ситуация, убытки авиакомпании, имитационная модель.

Для цитирования: Жуков В. Е. Имитационная модель управления сбойной ситуацией в аэропорту // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 1 (104). С. 67–74. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-8>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Регулярность выполнения рейсов для каждой авиакомпании – ключевой показатель оценки её деятельности. Если придерживаться международных норм оценки регулярности (пунктуальности), то задержанным будет считаться рейс, выполненный с пятнадцатиминутным опозданием по прибытию или вылету. Тогда по оценке OAG (Official Aviation Guide – официальный авиационный справочник) пунктуальность выполнения рейсов российских авиакомпаний составляет от 53 до 72 %¹. В 2019 году OAG назвал самые пунктуальные аэропорты и авиакомпании. «Лидером по пунктуальности среди крупных аэропортов, которые в год обслуживают более 30 млн вылетающих пассажиров, стал токийский Ханэда. После него идут: аэропорт Атланты (США); аэропорт Чанги (Сингапур); аэропорт Денвера (США); аэропорт Лос-Анджелеса (США).

В категории «Главные аэропорты» (20–30 млн вылетающих пассажиров в год) первое место занял московский аэропорт «Шереметьево». Самым пунктуальным маленьким аэропортом (2,5–5 млн вылетов в год) стал воздушный транспортный узел Минска.

Топ-10 самых пунктуальных авиакомпаний мира: Copa Airlines (Панама); airBaltic (Латвия); Hong Kong Airlines (Китай); Hawaiian Airlines (США); Bangkok Airways (Таиланд); Qantas Airways (Австралия); LATAM Airlines (Чили); Azul (Бразилия); Qatar Airways (Катар); KLM (Нидерланды).

Из российских авиаперевозчиков компания S7 вошла в рейтинг самых пунктуальных магистральных авиалиний (18 место) и самых пунктуальных перевозчиков в Европе (шестое место)².

Кроме изучения статистики регулярности выполнения рейсов, важным направлением исследования является управление процессом разрешения сбойной ситуации в аэропорту. Информационные системы с вложенными алгоритмами разрешения проблемы сбоев в регулярности, искусственный интеллект в управлении потоками пассажиров и рейсов ещё долго не

смогут заменить опыт, интуицию и навыки, вложенные в «живой» ум опытного оператора. Нужно только создать среду для принятия решения, предсказать, что очень важно, экономический эффект. Имитационная модель не предлагает оптимального решения, но помогает лучше понять обоснованность управленческих решений.

Объект исследования, изложенного в данной статье, – это процесс выбора решения по управлению сбойной ситуацией, который заключается в том, что исследователю предлагается построить очередь на вылет из задержанных в аэропорту рейсов с минимизацией убытков авиакомпаний, связанных с нарушением регулярности полётов.

Цель – исследовать модель управления сбойной ситуацией. Задача – изучение вариантов решений в виде очереди воздушных судов на вылет и анализ результатов этих решений, где целевой функцией будет минимизация убытков от задержки.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Подходы к изучению проблемы исследования

«Для экономически эффективного функционирования авиакомпании в условиях конкуренции одним из важнейших факторов является проблема регулярности полётов. Несоблюдение сроков вылета и прибытия рейсов влечёт перевозчика в дополнительные расходы, связанные со штрафными санкциями пассажирам, грузополучателям и грузоотправителям, а также аэропортам, если задержки рейсов происходят по вине авиакомпании, что связано, как правило, с ошибками менеджмента. Регулярность полётов воздушных судов гражданской авиации включает понятие регулярности отправок воздушных судов и регулярности выполнения рейсов. Регулярность полётов характеризует работу предприятий гражданской авиации по доставке пассажиров, багажа и грузов в соответствии с договором на перевозку. Регулярность полётов – выраженное в процентах отношение количества выполненных рейсов без задержки к общему количеству выполненных рейсов. Это один из важнейших показателей качества функционирования авиатранспортных предприятий» [1]. Приведённая цитата из статьи молодого исследователя Д. А. Наумовой является актуальной на все времена коммерческого использования воздушного транспорта. Видимо, только консерватизм подхода к определению регулярности по-

¹ Российские авиакомпании к концу 2021 года потеряли пунктуальность. [Электронный ресурс]: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/01/13/904695-aviakompanii-rasteryali-punktualnost>. Доступ 13.01.2023.

² OAG Aviation Worldwide составила рейтинг самых пунктуальных авиакомпаний и аэропортов мира. [Электронный ресурс]: <https://www.aex.ru/news/2019/1/6/192271/>. Доступ 13.01.2023.

лёт и определяет тот факт, что до декабря 2020 года основным документом, предназначенным для определения и расчёта регулярности полётов, являлось «Руководство по обеспечению и учёту регулярности полётов воздушных судов гражданской авиации СССР», утверждённое приказом МГА от 10.01.1990 г. № 6³, которое было отменено Приказом Минтранса России от 04.12.2020 г. № 541 «О признании не действующими на территории Российской Федерации некоторых актов СССР, их отдельных положений, а также писем, инструкций и указаний, изданных центральными органами государственного управления СССР, и утратившими силу некоторых актов РСФСР, их отдельных положений, а также писем, инструкций и указаний, изданных центральными органами государственного управления РСФСР, в области транспорта»⁴.

В отдельных открытых источниках появилась информация о том, что: «Минтранс приступил к разработке новых норм учёта регулярности авиарейсов. Они должны заменить правила, действующие со времен СССР, сообщили «Известиям» в ведомстве. В частности, предлагается детализировать причины задержек вылета и чётко указывать виновного – аэропорт, авиакомпанию или оператора наземного обслуживания. Это позволит выявлять узкие места в работе этих структур и повысить пунктуальность перевозчиков – пассажирам не придётся часами сидеть в аэропортах в ожидании рейса, считают эксперты. Но участникам рынка будет непросто договориться о единой методике»⁵. В настоящее время от-

ветственность за задержку рейса целиком и полностью ложится на авиаперевозчика, хотя многие проблемы с обеспечением своевременности отправки рейса или обеспечением его прибытия создаются операторами аэропортов. Вот именно по этой причине проектов и даже локальных нормативных актов по обеспечению и расчёту регулярности полётов воздушных судов существует огромное множество. В Министерство транспорта поступили проекты нормативного документа от ассоциации «Аэропорт», главных операторов аэропортов «Шереметьево» и «Домодедово». Локальные документы, учитывающие регулярность полётов, носят различные названия, так для аэропорта «Домодедово» разработано «Руководство пользователя аэропорта Домодедово»⁶, в котором имеется раздел, посвящённый учёту пунктуальности полётов. Однако даже определение «пунктуальность полётов» в нём отсутствует. В «Руководстве по обеспечению и учёту регулярности полётов воздушных судов гражданской авиации СССР (РПП ГА-90)» конкретизировано понятие «регулярность полётов». «Регулярность полётов ВС ГА – включает в себя понятие регулярности отправок ВС и регулярность выполнения рейсов. Регулярность полётов характеризует работу предприятий и управлений ГА и отрасли в целом по доставке пассажиров, багажа и грузов в соответствии с договором на перевозку»³. Определение подчёркивает социальную значимость процесса выполнения полётов воздушными судами гражданской авиации. Возможно, отсутствие единого подхода к регламентированию задержек вылетов рейсов и определения ответственности конкретного виновного в этой задержке приводит к тому, что вольное толкование значимости сбоев регулярного выполнения рейсов приводит к появлению информации о том, что задержки и отмены рейсов выгодны авиакомпаниям⁷. Особенно, если рейс выполняется с загрузкой меньше плановой, тогда рейс можно отменить

³ Приказ МГА СССР от 10 января 1990 г. № 6 «Об утверждении и введении в действие Руководства по обеспечению и учёту регулярности полётов воздушных судов гражданской авиации» (документ утратил силу). [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/70198590/>. Доступ 13.01.2023.

⁴ Приказ Минтранса России от 04.12.2020 г. № 541 «О признании не действующими на территории Российской Федерации некоторых актов СССР, их отдельных положений, а также писем, инструкций и указаний, изданных центральными органами государственного управления СССР, и утратившими силу некоторых актов РСФСР, их отдельных положений, а также писем, инструкций и указаний, изданных центральными органами государственного управления РСФСР, в области транспорта». [Электронный ресурс]: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375322/. Доступ 13.01.2023.

⁵ Волобуев А., Цырулева И. Это залёт: авиакомпании пропишут пунктуальность. Минтранс готовит новую методику учёта задержек рейсов // Известия, 22 апреля 2019 г. [Электронный ресурс]: <https://iz.ru/870098/aleksandr-volobuev-irina-tcyruleva/eto-zalet-aviakompaniiam-propishut-punktualnost>. Доступ 13.01.2023.

⁶ Руководство пользователя аэропорта «Домодедово» (версия 25). [Электронный ресурс]: [https://business.dme.ru/files/doc/РУКОВОДСТВО%20ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ%20АЭРОПОРТА%20\(версия%2025\).pdf](https://business.dme.ru/files/doc/РУКОВОДСТВО%20ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ%20АЭРОПОРТА%20(версия%2025).pdf). Доступ 13.01.2023.

⁷ Волобуев А., Цырулева И. Отменная позиция: кому выгодны массовые задержки авиарейсов. «Известия» выяснили, как российские перевозчики зарабатывают на непогоде // Известия, 1 февраля 2019 г. [Электронный ресурс]: <https://iz.ru/840013/aleksandr-volobuev-irina-tcyruleva/otmennaya-pozitsiya-komu-vygodny-massovye-zaderzhki-aviareisov>. Доступ 13.01.2023.



или совместить с другим рейсом с такой же низкой загрузкой. В итоге, авиакомпания экономит на заправке топливом, аэропортовых сборах и наземном обслуживании. Справедливости ради нужно сказать, что невыполненный рейс принесёт убытки от непокрытых постоянных расходов авиакомпании, самым большим из которых является лизинговый платеж. Можно выполнить нехитрый расчёт суммы таких убытков: расходы на лизинг воздушного судна типа А-320 составляют по примерной оценке 350–380 тысяч долларов в месяц. Если в месяце 720 часов, то расходы на лизинг 527,77 долларов в час или примерно 37 000 рублей по курсу на момент написания статьи. Суточный налёт на воздушное судно, в передовых авиакомпаниях, составляет 12 часов, то есть авиакомпания уже по плану несёт убытки от лизинга в размере 444 000 рублей в сутки. А отмена рейса и последующее возвращение рейса в суточный план полётов займёт не менее восьми часов, тогда убытки увеличатся до 740 000 рублей, так что экономия расходов на заправке будет точно сведена к нулю. Не вдаваясь в подробности расчёта потребного количества топлива на двухчасовой полёт воздушного судна А-320, можно рассчитать, что при расходе топлива 3,2 тонн на час полёта и с учётом запаса для ухода на близко расположенный запасной аэродром понадобится примерно десять тонн авиационного керосина. Средняя стоимость тонны керосина по данным ФАВТ (Федерального агентства воздушного транспорта) – 67 173 рублей⁸. Следовательно, расходы на заправку составят, минимум 671 730 рублей. То есть сумма постоянных, непокрытых выполнением рейса расходов даже больше, чем сумма переменных расходов на заправку воздушного судна.

В связи с этим довольно сложно сказать, что более выгодно для авиакомпании – отмена задержанного рейса или его выполнение по прошествии времени задержки.

По оценкам европейских специалистов, затраты на восстановление расписания после сбойной ситуации в 2010 году составили 1,25 млрд евро, то есть, около 81 евро за минуту задержки [2]. Какие расходы будут больше: ничем не покрытые постоянные расходы или переменные расходы при выполнении

рейса? В первом приближении удельная составляющая переменных расходов – примерно 72 % от суммы эксплуатационных расходов, постоянных расходов в их составе, соответственно, 28 %, но эти 72 % расходов при выполнении рейсов, то есть 12 часов в сутки, а 28 % – круглосуточно. Как было уже отмечено, при задержке рейса убытки приносят не окупившиеся эксплуатационные расходы. Но есть вторая составляющая убытков при задержке рейсов – это дополнительные расходы на выплату компенсаций пассажирам, расходы на питание и напитки для пассажиров, размещение в гостинице, трансферы, расходы на пересадку пассажиров на рейсы других авиакомпаний с оформлением манифеста прерванного полёта. По оценке специалистов из США, в 2007 году прямые эксплуатационные расходы, связанные с задержками графика на рынке США, составили около восьми млрд долларов. Стоимость задержек для пассажиров была оценена теми же авторами в четыре млрд долларов в год [3].

Наиболее сложным является вопрос управления сбойной ситуацией, особенно при массовых задержках рейсов. Направления научных исследований по этой проблеме посвящены не только управлению задержками, вызванными форс-мажорными обстоятельствами, но и системным вопросам развития аэропортов, в результате интенсификации деятельности которых становится всё больше ситуаций, приводящих к нарушению пунктуальности выполнения рейсов.

Увеличение интенсивности воздушного движения приводит к задержке воздушных судов в зоне ожидания посадки. Интенсивность воздушного движения в аэропортах крупных мегаполисов – к тому, что 60–65 взлётно-посадочных операций в час становится недостаточным показателем и, естественно, любая минутная задержка при посадке или взлёте воздушного судна приводит к сбойной ситуации и образованию очереди на вылет. И как следствие задержки – расходы на топливо и удар по имиджу авиакомпании.

Серьёзной проблемой, ограничивающей ритмичность работы аэропорта, является взлётно-посадочная скорость разных типов воздушных судов. Воздушные суда с меньшей скоростью набора высоты или снижения увеличивают временной интервал пребывания воздушного судна на взлётно-посадочной полосе. Эта проблема подробно проанализиро-

⁸ Федеральное агентство воздушного транспорта. Росавиация. Цены на АВИАГСМ в 2022 году. [Электронный ресурс]: <https://favt.gov.ru/dejatelnost-ajeroporty-i-ajerodromy-ceny-na-aviagsm/?id=8788>. Доступ 13.01.2023.

Таблица 1

Причины и продолжительность задержек (%) [10]

Причина задержки / Продолжительность	Менее 15 минут	0:15–0:30	0:31–1:00	1:01–2:00	Более 2:00
Не категорированная задержка (разные причины)	32,61	5,98	2,99	2,77	2,38
Эксплуатационные причины авиакомпании	2,20	4,36	4,76	4,76	2,79
Задержка из-за пассажиров и их багажа	2,97	3,46	1,68	0,81	0,55
Задержка, вызванная во время обслуживания воздушного судна поставщиками – погрузочно-разгрузочные работы, топливо, кейтеринг	2,44	2,83	0,95	0,53	0,20
Задержка, вызванная техническим обслуживанием или дефектом воздушного судна	1,85	3,98	5,08	6,72	12,83
Задержка, вызванная оперативным контролем и нормами дежурства экипажа	3,24	4,43	2,96	2,46	2,00
Задержка, вызванная управлением воздушным движением	12,76	15,24	8,58	4,60	2,50
Задержка, вызванная ограничением аэропорта	10,81	6,09	2,06	1,02	0,67
Задержка, вызванная задержкой предыдущего рейса	31,12	53,64	70,94	76,41	76,08

вана в [4]. Создание буферного, избыточного времени для выравнивания расписания исследуется в [5].

Другие исследования посвящены изучению более привычных причин задержки авиарейсов. В работе [6] изучили несколько определяющих причин задержки рейса в международном аэропорту Ньюарка (EWR) с использованием комплексного подхода. Результаты показывают, что неблагоприятные погодные условия, низкие потолки (нижняя кромка облаков) и плохая видимость сильно влияют на задержки рейсов. Аналогично, в [7] исследовали основные причинные факторы задержек рейсов путём ранжирования различных факторов с использованием аналитического иерархического процесса. Авторы обнаружили, что технический сбой и задержка ввода данных являются двумя наиболее влиятельными факторами. Основываясь на выявлении причинно-следственных факторов, дальнейшие исследования изучили количественное влияние каждого фактора на задержку рейса. Анализируя характеристики задержек вылета и прибытия рейсов путём построения функций плотности вероятности, Мюллер и др. [8] исследовали несколько причинных факторов задержек, таких как объём перевозок, тип воздушного судна, техническое обслуживание воздушного судна, операции авиакомпании, погодные условия, изменение процедур в пути, ограничения пропускной способности, проблемы с обслуживанием клиентов и позднее прибытие воздушного судна или экипажа. Другая статья – Шаову Чена, Янин Чжана и других –

«Изучение задержки вылета рейса и причинного фактора с использованием пространственного анализа» использовала при этом несколько методологических подходов («Для анализа факторов, влияющих на задержку прибытия и вылета рейса, было использовано несколько подходов»). При этом результаты показывают, что погода способствовала 69 % задержек» [9].

Однако стоит отметить тот факт, что при исследовании причин задержек рейсов сформировалась противоречивая статистика среди исследований в США и Европе. Европейские исследования показывают, что наибольшие задержки по времени составляют задержки, связанные с поздним временем прибытия воздушных судов, то есть с нарушением графика движения (табл. 1).

В США основная причина – «погодные условия», приводящие к сбою работы и без того уже перегруженные аэропорты. Кроме того, главной причиной задержек рейсов в США называется плохое планирование деятельности аэропорта, без учёта реальной пропускной способности (рис. 1.)

Предложения по реализации метода управления сбойной ситуацией

Методы управления сбойной ситуацией рассматриваются в ряде научно-практических разработках для управления ресурсами в сбойной ситуации. Так, например, в исследовании [12], целевая функция – это общее время задержки, которая стремится к минимуму. Оптимальное распределение организационных



Таблица 2

Исходные условия для решения задачи по управлению сбойной ситуацией
[выполнено автором]

Задержанные рейсы						
№ рейса	Направление	Время вылета по расписанию		Тип ВС	Кол-во пассажиров	Расходы на тип ВС
		Часы	Минуты			
711	Козельск	18	0	АН24	32	980
712	Москва-ДМД	18	30	A319	104	31387
713	Екатеринбург	19	0	A320	80	36729
714	Челябинск	20	0	B735	85	33390
715	Мурманск	20	30	ERJ-170	50	18200
716	Хабаровск	21	0	B757	110	49418
717	Воронеж	22	0	B738	80	38000
718	Самара	22	30	ERJ-170	45	18200
719	Красноярск	23	0	B739	150	39000
720	Новосибирск	23	30	B767	105	48000
721	Тюмень	0	30	B735	90	33390
722	Калининград	1	30	A320	120	36729
723	Волгоград	2	30	Ф50	40	13356
Рейсы по расписанию						
772	Москва-ВНК	6	30	B735	100	33390
773	Якутск	7	0	B757	90	49418
774	Уфа	7	30	B738	110	38000
775	Краснодар	8	0	A320	90	36729
776	Сочи	8	30	B738	104	38000
777	Анапа	9	0	ERJ-170	68	18200

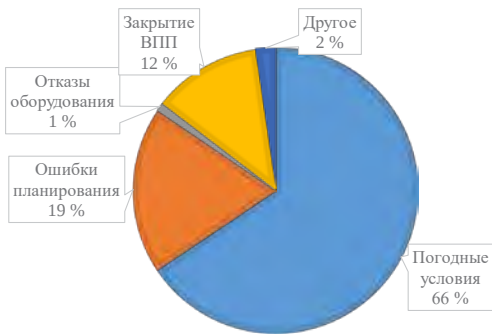


Рис. 1. Причины задержек рейсов [11].

ресурсов – суть решения этой задачи. Варианты изучения составляющих убытков и их величины в работе не исследованы.

В данной работе предлагается рассмотреть имитационную модель, на основании которой можно изучить расходы авиакомпании при задержке рейса и алгоритм принятия решений при управлении сбойной ситуацией, связанной с массовой задержкой отправления рейсов в аэропорту. В основе имитации – сбойная ситуация, связанная с задержкой 13 рейсов. По условиям исследования задержка началась с 18 часов первых суток и начала разрешаться с 03

часов следующих суток. Исследователю предстоит построить очередь на вылет, начиная с 03 часов с интервалом в 30 минут.

В табл. 2 представлен суточный план на текущие сутки и начало следующих суток. Расписание, представленное в таблице, – гипотетическое, так как описанная ситуация моделирует учебную задачу для наработки навыков принятия решения в сбойной ситуации и оценки принятых решений. Вариантов построения очереди на вылет может быть несколько. В виде обычной системы массового обслуживания «первый пришёл – первый ушёл», то есть, соблюдая график движения, заложенный в суточном плане. Второй вариант – «последний пришёл – первый ушёл» с целью минимизировать время задержки для тех рейсов, которые ближе ко времени открытия аэропорта на вылет. Третий вариант – минимизировать убытки авиакомпании от задержки. В модель заложены убытки от простоя воздушного судна за час простоя. Следовательно, чем больше воздушное судно, тем больше убытки от постоянных расходов. Следующая группа убытков – расходы на обслуживание задержанных пассажиров – расходы на питание после четырёх часов задержки, на размещение в го-

стинице после шести часов задержки. Будем исходить из того, что компенсация пассажирам 0,25 МРОТ за каждый час задержки – это 25 рублей. Размер МРОТ рассчитывается исходя из федерального закона («Исчисление платежей по гражданско-правовым обязательствам, установленных в зависимости от минимального размера оплаты труда, производится с 1 июля 2000 года по 31 декабря 2000 года, исходя из базовой суммы, равной 83 рублям 49 копейкам, с 1 января 2001 года исходя из базовой суммы, равной 100 рублям»⁹).

Модель выполнена в виде электронной таблицы, в которой каждое решение просчитывается и оценивается суммой убытков, что позволяет проверить стоимость принимаемых решений сравнить результаты и выбрать возможный вариант очередности отправления рейсов.

В табл. 2 видно, что утром следующих суток с 06:30 отправляются регулярные рейсы, но в эти часы отправлены ещё не все задержанные рейсы прошедших суток. Исследователю предстоит ещё решить задачу, что делать с отправлением этих рейсов. В случае их задержки появятся новые убытки уже от задержки этих рейсов. Но с другой стороны выпуск рейсов по расписанию увеличит время задержки рейсов прошлых суток. Исследователь может получить результат в виде оценки убытков при выпуске рейсов текущих суток по расписанию, их задержки для выпуска рейсов предыдущих суток или чередовании рейсов – рейс текущих суток, рейс прошлых суток.

Общая сумма убытков определяется формулой:

$$Y = PBC_{(t)} + PP_{(t)} + PG_{(t)} + KP_{(t)}, \quad (1)$$
 где Y – сумма убытков задержанного рейса;

⁹ Федеральный закон от 19.06.2000 г. № 82-ФЗ (ред. от 19.12.2022 г.) «О минимальном размере оплаты труда. Статья 5. [Электронный ресурс]: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_27572/5bdc78bf7e3015a0ca0c0ea5bef708a6c79e2f0a/#dst100019. Доступ 13.01.2023.

Рис. 2. Очередь отправления по алгоритму «первый пришёл – первый ушёл» [выполнено автором].

Рис. 3. Очередь отправления по алгоритму «последний пришёл – первый ушёл» [выполнено автором].

Рис. 4. Очередь на вылет с минимизацией убытков от задержки [выполнено автором].

ПВС – убытки от простоя воздушного судна;

РП – расходы на питание пассажиров;

РГ – расходы на размещение пассажиров в гостинице;

$KP_{(t)}$ – компенсация пассажирам за задержку рейса.

Как видно из формулы 1, все составляющие убытков зависят от времени задержки.

При этом $T_{(ПВС)} = T_z$; $T_{(РП)} = T_z - 4$; $T_{(РГ)} = T_z - 6$; $T_{(KP)} = T_z$, где T_z – время задержки (час).

$$T_z = T_f - T_p, \quad (2)$$

где T_f – фактическое время вылета ВС;

T_p – время вылета по расписанию.

Далее рассмотрим результаты построения очереди на вылет по условию «последним пришёл – первым ушёл» и вариант, в котором



очередь на вылет будет построена с условием минимизации убытков от задержки.

Варианты построения очереди на вылет на рис. 2 и 3 не устанавливают дополнительного условия $Y = F(t) \rightarrow \min$. Вариант очереди на рис. 4 устанавливает это условие. Задача исследователя предложить несколько вариантов расстановки рейсов и выбрать из них наименее убыточный.

ВЫВОДЫ

Приведённые примеры показывают, что использование модели позволяет имитировать процесс управления сбойной ситуацией. Помимо приведённых в качестве примера решений можно построить и другие варианты очередей на вылет воздушных судов. Модель позволяет менять параметры, формирующие состав и величины убытков от задержки. Примеры построения очереди показывают, что возможно построение очереди рейсов на вылет с наименьшими убытками от задержки. Назначение модели показать возможности имитационного моделирования для решения производственных задач, связанных с принятием управленческих решений. Модель может быть использована для обучения специалистов системы воздушного транспорта и как основа модуля корпоративной информационной системы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Наумова Д. А., Методика оценки регулярности полетов авиакомпаний // Научный вестник МГТУ ГА 2012 г. – 4 с. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodiki-otsenki-regulyarnosti-poletov-aviakompaniy/viewer>. Доступ 13.01.2023.
2. Ionescu, L., Gwiggner, C., Klier, N. Data Analysis of Delays in Airline Networks. Development of Business and Information Systems, April 2016, Vol. 58 (2), pp. 119–133. DOI: 10.1007/s12599-015-0391-3. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/284725513_Data_Analysis_of_Delays_in_Airline_Networks. Доступ 13.01.2023.
3. Santos, B. F., Wormer, M. M. E. C., Achola, Th. A. O., Curran, R. Airline delay management problem with airport capacity constraints and priority decisions. Journal of Air Transport Management, 2017, Vol. 63. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/305737266_Airline_delay_management_problem_with_airport_capacity_constraints_and_priority_decisions. Доступ 13.01.2023.

4. Bubalo, B. Airport Punctuality, Congestion and Delay: The Scope for Benchmarking. German Airport Performance (GAP) Project c/o Berlin School of Economics and Law, Berlin, Germany, 2011. [Электронный ресурс]: http://www.gaprojekt.de/downloads/gap_papers/airportpunctuality.pdf. Доступ 13.01.2023.

5. Hajkova, J., Badánik, B. Airline on-time performance management. 9th International Conference on Air Transport – INAIR 2020, Challenges of Aviation Development. Transportation Research Procedia, 2020, Vol. 51 (2), pp. 82–97. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.11.011. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/347360260_Airline_on-time_performance_management. Доступ 13.01.2023.

6. Allan, S. S., Beesley, J. A., Evans, J. E., Gaddy, S. G. Analysis of Delay Causality at Newark International Airport. Lincoln Laboratory Massachusetts Institute of Technology Lexington, Massachusetts, U.S.A., 2001. [Электронный ресурс]: https://archive.ll.mit.edu/mission/aviation/publications/publication-files/ms-papers/Allan_2001_ATM_MS-14812_WW-10283.pdf. Доступ 13.01.2023.

7. Meysam Kazemi Asfe, Majid Jangi Zehi, Mohammad Nabi Shahiki Tash, Noor Mohammad Yaghoubi. Ranking different factors influencing flight delay. Management Science Letters, 2014, Vol. 4 (7), pp. 1397–1400. [Электронный ресурс]: <http://growingscience.com/beta/msl/1579-ranking-different-factors-influencing-flight-delay.html>. Доступ 13.01.2023.

8. Mueller, E., Chatterji, G. Analysis of Aircraft Arrival and Departure Delay Characteristics. AIAA's Aircraft Technology, Integration, and Operations (ATIO) 2002 Technical Forum, Los Angeles, California, 01–03 October 2002. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2002-5866>. [Электронный ресурс]: <https://arc.aiaa.org/doi/pdf/10.2514/6.2002-5866>. Доступ 13.01.2023.

9. Shaowu Cheng, Yaping Zhang, Siqi Hao, Ruiwei Liu, Xiao Luo, Qian Luo. Study of Flight Departure Delay and Causal Factor Using Spatial Analysis. Journal of Advanced Transportation, 2019, Volume 2019, Article ID 3525912. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/3525912>. [Электронный ресурс]: <https://www.hindawi.com/journals/jat/2019/3525912/>. Доступ 13.01.2023.

10. Zámková, M., Prokop, M., Stolin, R. Factors influencing flight delays of a european airline. Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis, 2017, Vol. 65, No. 5, pp. 1799–1807. DOI: 10.1118/actaun201765051799/. [Электронный ресурс]: http://acta.mendelu.cz/artkey/actu-201705-0037_factors-influencing-flight-delays-of-a-european-airline.php. Доступ 13.01.2023.

11. Vaze, V. Simulating Airport Delays and Implications for Demand Management. December 7, 2009. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/publication/265031415_Simulating_Airport_Delays_and_Implications_for_Demand_Management. Доступ 13.01.2023.

12. Головченко Г. В. Методы ресурсно-временной оптимизации процесса оперативного управления аэропортом в сбойных ситуациях // Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Санкт-Петербург, 2018. [Электронный ресурс]: <https://spbguga.ru/files/2018/Dissovet/Golovchenko/Avtoreferat.pdf>. Доступ 13.01.2023.

Информация об авторе:

Жуков Василий Егорович – кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации (СПбГУГА), Санкт-Петербург, Россия, vasizhukov@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 13.01.2023, одобрена после рецензирования 27.02.2023, принята к публикации 03.03.2023.