

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ МОДЕЛЬНОГО РЯДА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ПАРКА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В РАМКАХ СОЗДАНИЯ ЕДИНОЙ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ АВИАКОМПАНИИ

*Владимир Павлович Горбунов,
orcid.org/0000-0002-8920-977X,
кандидат технических наук, доцент,
заместитель генерального директора,
Государственный научно-исследовательский
институт гражданской авиации,
ул. Михалковская, д. 67, корп. 1
Москва, 125438, Россия
vlad.gorbunov@bk.ru*

Аннотация. В статье рассмотрена актуальная задача по оптимизации использования имеющегося и перспективного парка воздушных судов отечественного производства в рамках создания единой дальневосточной авиакомпании. Проанализированы данные по оценке потребного количества самолетов отечественного производства через единый консолидированный заказ от всех авиакомпаний дальневосточного региона. Показано, что значительную роль в оптимальном проектировании количества и номенклатуры ВС региона играют математические методы моделирования и оптимизации, которые успешно применяются для выбора наилучших параметров и характеристик ВС или его подсистем на различных стадиях проектирования с разделением задачи на две взаимосвязанные модели: параметрическую и операционную. Предложен системный научно-методический подход к внешнему проектированию ВС, с помощью которого можно генерировать множество проектных вариантов ВС, ограничившись только теми параметрами, которые существенно влияют на эффективность функционирования авиакомпании. Результатом исследования является выполнение задачи оптимизации модельного ряда ВС для последующей эксплуатации в условиях Крайнего Севера, Арктики, Сибири и Дальнего Востока. Полученные аналитические материалы позволяют сопоставить план расширения маршрутной авиатранспортной сети и календарный план производства авиационной техники для единой дальневосточной авиакомпании на основе представленной блок-схемы взаимодействия авиакомпаний и промышленности.

Ключевые слова: математические методы моделирования, единая дальневосточная авиакомпания, оптимизация модельного ряда, единый консолидированный заказ.

METHODS OF OPTIMIZING THE MODEL RANGE IN THE FORMATION OF THE COMPOSITION AND STRUCTURE OF THE AIRCRAFT FLEET WITHIN THE FRAMEWORK OF THE CREATION OF A SINGLE FAR EASTERN AIRLINE

*Vladimir P. Gorbunov,
orcid.org/0000-0002-8920-977X,
Candidate of technical science, docent,
deputy general director,
The State Scientific Research Institute of Civil Aviation,
67 k.1, Mihalkovskay street
Moscow, 125438, Russia
vlad.gorbunov@bk.ru*

Abstract. The article considers the urgent task of optimizing the use of the existing and promising fleet of aircraft of domestic production within the framework of the creation of a single Far Eastern airline. The data on the assessment of the required number of aircraft of domestic production through a single consolidated order from all airlines of the Far Eastern region analyzed. It is shown that mathematical modeling and optimization methods play a significant role in the optimal design of the number and nomenclature of aircraft in the region, which are successfully used to select the best parameters and characteristics of aircraft or its subsystems at various stages of design, dividing the task into two interrelated models: parametric and operational. A systematic scientific and methodological approach to the external design of aircraft proposed, so it is possible to generate many design options for aircraft, limiting only those parameters that significantly affect the efficiency of the airline's operation. The result of the study is the fulfillment of the task of optimizing the aircraft model range for subsequent operation in the conditions of the Far North, the Arctic, Siberia and the Far East. The analytical materials obtained allow us to compare the expansion plan of the route air transport network and the calendar plan for the production of aviation equipment for the united Far Eastern airline based on the produced relationship chart between airlines and aircraft manufacturers.

Keywords: mathematical modeling methods, unified Far Eastern airline, model range optimization, unified consolidated order.

Введение

Обеспечение конкурентоспособности экономики страны на мировых глобальных рынках зависит в первую очередь от развития высокотехнологичных отраслей. Именно они являются ареной борьбы корпораций и предприятий разных стран, где конкуренция ведется средствами, оказывающими существенное влияние на экономическое процветание стран [Матюха, 2022]. Одной из таких высокотехнологичных отраслей является авиастроение, включающее в себя несколько ключевых наукоемких направлений, таких как двигателестроение, электроника, материаловедение, аэродинамика, химико-технологическое направление и др.

Целью статьи является решение научной задачи оптимизации модельного ряда ВС на основе представленной математической модели с разработкой системного научно-методического подхода к внешнему проектированию ВС, подразумевающей разделение задачи на две взаимосвязанные модели: параметрическую и операционную [Емельянова, 2009]. Показано, что использование параметрического моделирования номенклатуры ВС позволяет генерировать множество проектных вариантов ВС, ограничившись только теми параметрами, которые существенно влияют на эффективность функционирования авиакомпаний. Представленный в статье научно-методический подход с использованием математических методов оптимизации модельного ряда позволяет сформировать потенциальный рыночный заказ новых типов ВС, при котором разработчик номенклатуры ВС принимает решение о целесообразности производства предлагаемого типа ВС с учетом отпускной цены и себестоимости производства одного ВС. При этом, соотношение этих двух ключевых параметров является определяющим фактором при формировании планов Минпромторга Российской Федерации по расширению модельного ряда и увеличению количества самолетов гражданского сегмента в соотношении с располагаемыми производственными мощностями и ресурсами авиационной промышленности Российской Федерации, что в свою очередь определяет темпы обновления флота потенциальных эксплуатантов, в особенности авиакомпаний Дальнего Востока, формирующих флот единой дальневосточной авиакомпании. Исходя из этого, автором представлена блок-схема взаимодействия авиакомпаний с авиастроительной отраслью, включающей в себя собственно бизнес-модель как основу их деятельности (сетевая премиальная, бюджетная или комбинированная), назначение на маршруты и подбор оптимального типа ВС под сформированную маршрутную сеть, а также ценовое предложение от промышленности [Gorbunov, 2018].

Материалы и методы

В основе выполнения данного исследования автора лежат задачи выполнения проекта создания «Дальневосточная авиакомпания» во исполнение перечня поручений Президента Российской Федерации по итогам совещания с членами Правительства Российской Федерации от 14.01.2020 № Пр-36¹⁵.

Основными методами исследования являются теория математической статистики, математического моделирования транспортных процессов и методы нечетких множеств в условиях неопределенности.

В работе [Горбунов, 2023] были сформулированы основные аспекты создания единой дальневосточной авиакомпании через развитие единой маршрутной сети, флота и летно-эксплуатационной инфраструктуры дальневосточного региона. Выполнение данной задачи в полной мере может быть реализовано только при условии оптимизации парка воздушных судов методом оценки потребного количества самолетов отечественного производства через единый консолидированный заказ от всех авиакомпаний дальневосточного региона, используя математические методы моделирования и оптимизации.

На данный момент составлен реестр труднодоступных населенных пунктов, куда можно добраться только самолетом. Их соединят со столицами субъектов ДФО 535 региональными местными маршрутами. К 2025 году планируется увеличить пассажиропоток от 1 до 2 млн пассажиров за счет пополнения воздушного флота 45 отечественными самолетами [Горбунов, 2023].

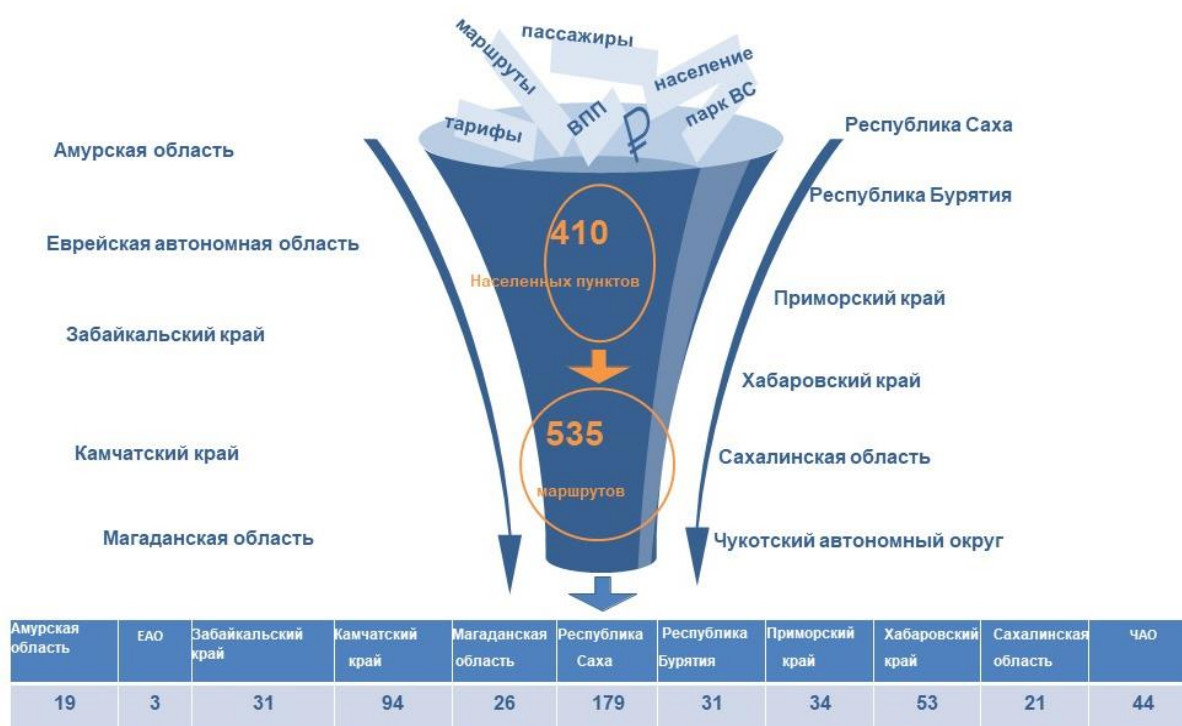


Рисунок 1 – Структура и принцип формирования маршрутной сети единой дальневосточной авиакомпании

Несмотря на созданные новые маршруты, единой дальневосточной авиакомпании предстоит проделать большую работу по оптимизации использования имеющегося и вновь производимого отечественного парка ВС. С 2020 года внедрена программа консолидации территорий страны субсидированными перевозками с задачей обеспечения их доступности,

¹⁵ Решения совещаний заместителей Председателя Правительства Российской Федерации в соответствии с протоколами от 21.02.2020 № АБ-П9-15пр, от 14.05.2020 №АБ-П9-4876, от 28.05.2020 № ЮТ-П9-33п, от 02.11.2020 № АБ-П9-219пр, от 28.12.2020 № АБ-П9-285пр.

особенно в Арктических районах Крайнего Севера, а также труднодоступных районах Дальнего Востока. До 2022 года было внедрено 20 новых маршрутов, а их общее количество в 2025 году будет составлять 1,5 тысячи. Для обеспечения комфортности пассажироперевозок воздушным транспортом, безусловно, потребуются новые ВС, которые будут произведены в Российской Федерации в рамках программ модернизации флота и импортозамещения.

Итак, по проекту разработана перспективная сеть из 535 маршрутов, которая позволит связать между собой 410 аэропортов и посадочных площадок в Дальневосточном федеральном округе, где 66 из указанных маршрутов являются межрегиональными, а 469 – местными (в пределах одного региона ДФО) [Что известно..., 2021]. Исходя из этого, в модели оптимизации модельного ряда ВС в условиях Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока должна учитываться не только новая номенклатура ВС, но и новая маршрутная сеть. При этом, в расчетную модель требуется вписать около 300 тысяч человек, которые должны ежегодно перевозиться на местных линиях, и около 1,7 миллиона – на межрегиональных.

Приоритет при формировании парка группы отдаётся самолётам отечественного производства. [Что известно..., 2021]. Планировалось, что первый вновь произведенный Sukhoi Superjet-100 пополнит парк Авроры уже в 2022 году. Однако, в условиях программы импортозамещения дальнейшее производство SSJ100 затруднено, так как двигатель SaM146 производился совместно компаниями Рыбинские Моторы и французской Snecma, специально созданным подразделением PowerJet, в то время как российский двигатель ПД-8 все еще проходит испытания. Кроме того, требуется замена на отечественные более 70% агрегатов и систем на самом ВС. Первый опытный экземпляр типа уже проходит испытания с максимальным составом оборудования отечественного производства. Выпуск отечественного варианта SSJ100New под новым брендовым обозначением КБ Яковлева Superjet SJ100New с двигателем ПД-8 планируется не ранее 2024 года.

Однако, по плану расширения авиапарка на Дальнем Востоке на первые 5 лет был утверждён план закупки 45 российских самолётов, в том числе SJ100 8 самолётов, с частотой поставки от 1 до 3 самолётов в год для пополнения парка авиакомпании «Аврора». Кроме того, в 2021 году планировалась закупка следующих ВС:

- Ил-114-300 – 19 самолётов (3 самолёта в 2023 году, по 8 самолётов – в 2024 и 2025) [Что известно..., 2021];
- Л410NG (модернизированная и локализованная версия Л-410) – 6 самолётов (поставки с 2022 года);
- ЛМС-901 «Байкал» – 12 самолётов (поставки с 2023 года) [Что известно..., 2021].

Авиакомпания «Якутия» до 2022 года имела договор о намерениях от 2019 года на поставку 10 Sukhoi Superjet-100 и 5 MC-21, подписанный на МАКС 2019 с непосредственным участием автора данной публикации как подписанта – генерального директора АО Авиакомпания «Якутия». Позже, учитывая потребность единой дальневосточной авиакомпании, заказ был увеличен до 19 самолётов с поставкой до 2024 года. Вместе с этим, ранее, авиакомпания «Хабаровские авиалинии» объявляла о готовности начать эксплуатацию 3-х Sukhoi Superjet-100. «Полярные авиалинии» выступили в качестве стартового заказчика на 3 самолёта Ил-114-300 с планом получения до 2029 года 23 ВС и 10 самолётов Л-610. Авиакомпаниям группы также заказали около 40 вертолётов Ми-8, Ми-117, Ка-62.

Дискуссия

Таким образом, весь планируемый парк ВС для потребностей Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока требует пересмотра ранее согласованных финансовых планов, а также разрыва отношений с западными производителями авиационной техники, двигателей, компонентов, авионики и отказа в их поставках. Так, в 2021-2025 гг. единой

дальневосточной авиакомпании (ДАК) планируется выделить более 50 млрд руб. из бюджета на субсидирование авиаперевозок по новым направлениям, следует из концепции развития авиакомпании. В 2021 году на «раскатку» новых маршрутов выделено 2,66 млрд руб., в 2022 г. – 7,5 млрд, в 2023 г. – 9,5 млрд, в 2024 г. – 13,9 млрд, в 2025 г. – 16,8 млрд. В эти объемы не входят действующие субсидии из бюджетов регионов Дальневосточного федерального округа (ДФО) в размере 4 млрд руб. ежегодно [Авроре светит..., 2021]. При этом планировалось, что до 2023 г. ожидаются поставки первых серийных новых российских самолетов «Байкал» и Ил-114-300¹⁶.

Нарастить пассажиропоток в регионе с 1,04 млн человек в 2021 г. до 2,03 млн в 2025 г. (в расчет шли местные, региональные и межрегиональные маршруты, без учета магистральных) планируется за счет более интенсивной эксплуатации самолетов парка и увеличения размера субсидии на одного пассажира [Лаженцев, 2018; Сценарии развития..., 2011].

Численность населения ДФО по состоянию на 1 января 2021 г. составляет около 8 млн человек. Однако, отток населения с Дальнего Востока продолжается и существует риск, что база пассажиров для местных перевозок в ДФО будет сокращаться. Занятость кресел на всех типах маршрутов в ДФО сохранится на текущем уровне и к 2025 г.: на местных линиях – всего 24%, на региональных линиях (из столицы региона в малый населенный пункт) – 40%, на межрегиональных рейсах – 62%, следует из самой концепции объединенного перевозчика [Горбунов, 2023].

В целом, имеется серьезный пробел в многоотраслевых, социальных и особенно научных исследованиях спроса на авиаперелеты на Дальнем Востоке по самой структуре спроса, объемов авиаперелетов, чтобы удовлетворить базовые потребности жителей ДФО. Эксперты прогнозируют, что 30–35% всех поездок будет приходиться на визиты в личных целях, например, в медицинские учреждения в региональных центрах. Большой спрос также приходится на поездки на отдых и в командировки¹⁷ [Tatarkin et al., 2017].

Сложность современных ВС не позволяет построить абсолютно совершенный алгоритм, с помощью которого можно было бы найти за приемлемое для практики время все параметры и характеристики новых типов ВС, которые интересуют нас, не опираясь на прототипы. Поэтому, учитывая последовательный характер приближения к оптимальной конструкции, целесообразно процесс проектирования номенклатуры ВС начинать с некоторого «хорошего» приближения (аналог бенчмаркинга). Такая задача стоит перед проектировщиком, когда необходимо создать модификацию существующей конструкции, то есть когда можно улучшить выбранный прототип путем частичных изменений.

Выполнение задачи оптимизации модельного ряда ВС для последующей эксплуатации в условиях Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока требует более детального анализа планов Минпромторга Российской Федерации по расширению модельного ряда и увеличению количества самолетов гражданского сегмента в соотношении с располагаемыми производственными мощностями и ресурсами авиационной промышленности Российской Федерации. Но в целом, такой подход на данном этапе позволяет сопоставить доступные аналитические материалы по расширению маршрутной авиатранспортной сети Дальнего Востока с календарным планом производства авиационной техники для единой дальневосточной авиакомпании, что отвечает задачам данного исследования автора.

¹⁶ Дальневосточной авиакомпании дадут 50 млрд рублей на «раскатку» новых маршрутов // [Электронный ресурс]. – 2021. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2021/04/12/865671-dalnevostochnoi-aviakompanii> (дата обращения: 05.11.2023).

¹⁷ Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 года № 1734-р) // [Электронный ресурс]. – 2008. URL: http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?element_id=19188 (дата обращения: 15.12.2023).

Результаты

Значительную роль в оптимальном проектировании количества и номенклатуры ВС региона играют математические методы моделирования и оптимизации, которые успешно применяются для выбора наилучших в принятом смысле параметров и характеристик ВС или его подсистем на различных стадиях проектирования [Юданова, 2017; Möller, 2014; Ortúzar et al., 2011].

Предположим, что плановая номенклатура ВС зависит от η варьируемых параметров, которые будем считать точкой $\chi = (\chi_1, \dots, \chi_\eta)$ в η -мерном пространстве параметров.

Уравнения и неравенства:

$$F_m(\chi) \leq 0, m = 1, \dots, M, \dots, M, \chi \geq 0, \quad (1)$$

описывающие функционирование ВС, а также критерий оценивания $F_0(\chi)$ тоже зависят от χ . Задача оптимального проектирования номенклатуры ВС заключается в отыскании точки $\chi = \chi^*$ такой, что:

$$F_0(\chi^*) = \min F_0(\chi), \chi \in U, \quad (2)$$

или в определении, что такого значения χ , которого не существует для критерия оценки $F_0(\chi)$ на $\in U$ [Юн и др., 2012].

С точки зрения системного научно-методического подхода к внешнему проектированию ВС задача (1) разбивается на две взаимосвязанные модели: параметрическую и операционную, где в случае параметрического моделирования ВС используется модель, которая отражает взаимодействие некоторых доминирующих свойств ВС, которые количественно представлены в виде набора параметров $\chi = (\chi_1, \dots, \chi_\eta)$. При операционном моделировании как объект моделирования выступает непосредственно само воздушное судно. Поскольку проектируемое ВС рассматривается в совокупности с другими ВС, которые участвуют в авиатранспортных операциях, считается естественным назвать модели этого типа операционными. На параметрическом уровне генерируется некоторое конечное множество проектных вариантов ВС, из которых с помощью операционной модели формируется множество субоптимальных вариантов D [Юн и др., 2012]. Лучший проект будет соответствовать $\chi^* \in D$, учитывая при этом ряд дополнительных, как правило, параметров, которые не формализуются, и отношений на этапе предварительного проектирования [Мадера, 2014; Юн и др., 2012].

Для построения множества D можно также использовать статистические методы, морфологический метод, неформальные методы, которые основаны на методах нечетких множеств [Dhamodharavadhani et al., 2020; Magnello, 2009].

Операционная модель ВС отождествляется с целостным множеством ВС, связанных между собой взаимными отношениями. С помощью рассматриваемых соотношений модель объединяется в одно целое. С математической точки зрения это отношения типа неравенств, с физической – ограничения на ресурсы, функционирование и технологию выполнения транспортной операции [Курмангазиева и др., 2014, Юн и др., 2012, Lui, 1968].

Если кроме системы ограничений выбран критерий оценки оптимального варианта, проектируемого $П_{зто}$, операционную модель ВС можно записать в виде задачи математического программирования:

$$\min F_0(\chi_1, \dots, \chi_\eta) \quad (3)$$

при ограничениях

$$F_m(\chi_1, \dots, \chi_\eta) \leq 0, m = 1, \dots, M \quad (4)$$

$$\chi = (\chi_1, \dots, \chi_\eta) \in D, \quad (5)$$

где $\mathcal{D}$ – некоторая область η -мерного евклидова пространства, которая часто отождествляется с неотъемлемым октантом пространства E_η .

Тогда модель внешнего проектирования ВС (3) - (5) в развернутом виде можно записать как линейную форму:

$$TC_{AK} = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^{m+p_t} \frac{1}{(1-e)^t} \{c_{ijt}q_{ijt} + c_{it}q_{it}^p - O_{it}^T\}, \quad (6)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^{m+p_t} p_{ijt}q_{ijt} \geq d_{jt}, \quad j = \overline{1, a}; t = \overline{1, T}, \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{m+p_t} v_{ijt}q_{ijt} \geq v_{jt}^*, \quad j = \overline{1, a_b}, a_b \leq a_t; t = \overline{1, T}, \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^a \varphi_j(q_{ijt}) \leq a_{it} + \sum_{\tau=1}^t \Theta_{it\tau} q_{it\tau}^p, \quad i = \overline{1, m+p_t}; t = \overline{1, T}, \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^a r_{ij}q_{ijt} \leq R_{it}, \quad i = \overline{1, m+p_t}; t = \overline{1, T}, \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{m+p_t} \sum_{j=1}^{a_k} p_{ijt}q_{ijt} \leq B_n, \quad n = \overline{1, N}; t = \overline{1, T}, \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{m+p_t} \sum_{j=1}^{a_n} q_{ijt} \leq S_n, \quad n = \overline{1, N}; t = \overline{1, T}, \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^{m+p_t} c_{it}q_{it}^p \leq K_t, \quad t = \overline{1, T}, \quad (13)$$

$$q_{ijt} \geq 0, \quad i = \overline{1, m+p_t}; j = \overline{1, a_t}; t = \overline{1, T}, \quad (14)$$

$$\Upsilon_{it} \geq q_{it}^p \geq 0, \quad i = \overline{1, m+p_t}; t = \overline{1, T}, \quad (15)$$

где p_t – количество новых типов ВС (в виде проектов), предлагаемых авиакомпаниям авиапромышленностью в t -м году.

Рассмотрим идею параметрического моделирования номенклатуры ВС, с помощью которого можно генерировать множество проектных вариантов ВС, ограничившись только теми параметрами, которые существенно влияют на эффективность функционирования авиакомпании.

Потенциальный рыночный заказ новых типов ВС сформируется в виде:

$$\sum_{t=1}^T q_{it}^{p*} = q_i^{p*}, \quad i = m+1, \dots, p_t. \quad (16)$$

В зависимости от заказа q_i^p любой разработчик номенклатуры ВС принимает решение о целесообразности производства предлагаемого типа ВС с учетом отпускной цены C_{it} и себестоимости производства одного ВС [Юн и др., 2012].

С другой стороны, авиакомпания также принимает решение о покупке того или иного типа ВС в необходимом ей количестве в зависимости от летно-технических характеристик ВС, его стоимости, стоимости поддержания летной годности и предполагаемых маршрутов в маршрутной сети авиакомпании [Магдин и др., 2019]. Этот итерационный процесс согласования цен и назначенных маршрутов, представленный на рис. 2, продолжается до тех пор, пока авиакомпания и авиапромышленность не придут к компромиссу.

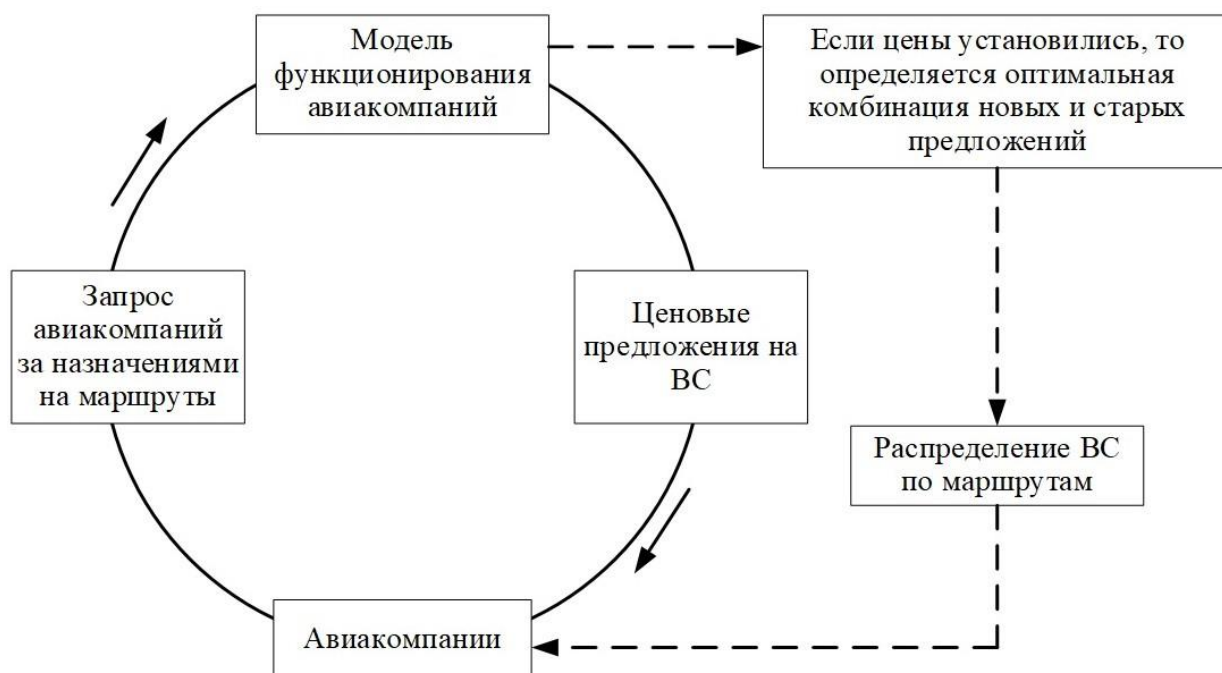


Рисунок 2 – Блок-схема взаимодействия авиакомпаний с авиастроительной отраслью

Заключение

Полученные результаты исследования позволяют сделать вывод, что с точки зрения системного научно-методического подхода с использованием математических методов моделирования к внешнему проектированию ВС с разделением задачи на две взаимосвязанные модели: параметрическую и операционную, в модели оптимизации модельного ряда ВС должны учитываться новый состав и структура парка ВС для условий Крайнего Севера, Арктики и Дальнего Востока.

Использование статистических методов, методов нечетких множеств в условиях неопределенности, где в случае параметрического моделирования ВС используется модель, отражающая взаимодействие доминирующих свойств ВС, позволяет определить оптимальный ряд наиболее важных для авиакомпаний параметров, являющихся наиболее критичными в процессе эксплуатации. В сочетании с операционным моделированием ВС как объекта моделирования данный научно-методический подход позволяет добиться максимального приближения к проектированию наиболее совершенного типа и оптимизации всей линейки ВС, удовлетворяющих максимальному количеству требований потенциальных эксплуатантов в составе создаваемой единой дальневосточной авиакомпании, в том числе климатические особенности регионов Арктики и Крайнего Севера. Таким образом, полученные результаты позволяют утверждать, что автором достигнуты поставленные цели исследования по оптимизации модельного ряда воздушных судов при формировании состава и структуры парка ВС в рамках создания единой дальневосточной авиакомпании.

Библиографический список

- «Авроре» светит 50 млрд рублей // [Электронный ресурс]. – 2021. <https://konkurent.ru/article/37775/> / (дата обращения: 05.05.2024).
- Горбунов В. П. Основные аспекты создания единой дальневосточной авиакомпании через развитие единой маршрутной сети, флота и летно-эксплуатационной инфраструктуры дальневосточного региона // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2023. № 2. С. 44-62. DOI 10.51955/2312-1327_2023_2_44. EDN GJIVOF.
- Емельянова В. В. Имитационное моделирование систем / В. В. Емельянова, С. И. Ясиновский. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. 584 с.

- Курмангазиева Л. Т. Разработка математических моделей и оптимизация химико-технологических систем при нечеткости исходной информации / Л. Т. Курмангазиева, Б. Б. Оразбаев // [Электронный ресурс]. – 2014. URL: <https://monographies.ru/ru/book/view?id=258> (дата обращения: 10.12.2023).
- Лаженцев В. Н. Социально-экономическое пространство и территориальное развитие Севера и Арктики России // Экономика региона. 2018. Т. 14, № 2. С. 353-365. DOI 10.17059/2018-2-2. EDN XYCGYH.
- Магдин А. Г. Алгоритм целевого выбора воздушного судна / А. Г. Магдин, А. Д. Припадчев, А. А. Горбунов // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 10(83). С. 48–54. DOI 10.30987/article_5db95e85e569b8.29571093. EDN MKMKYZ.
- Мадера А. Г. Интервально стохастическая неопределенность оценок в многокритериальных задачах принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. № 3. С. 105-115. EDN SMFXGZ.
- Матюха С. В. Анализ влияния территориальных кластеров на комплексное развитие экономики регионов и их авиационную транспортную инфраструктуру // EurasiaScience: сборник статей XLIII международной научно-практической конференции, Москва, 15 февраля 2022 года / Научно-издательский центр «Актуальность.РФ». М.: Общество с ограниченной ответственностью «Актуальность.РФ», 2022. С. 189-193. EDN TGNUCX.
- Сценарии развития Восточной Сибири и российского Дальнего Востока в контексте политической и экономической динамики Азиатско-Тихоокеанского региона до 2030 года: аналитический доклад / Фак. мировой политики МГУ им. М. В. Ломоносова [и др.]; науч. рук. А. А. Кокошин. М.: Едиториал УРСС, 2011. EDN QVEAEJ.
- Что известно про единую дальневосточную авиакомпанию? / Летаем вместе // [Электронный ресурс]. – 2021. <https://dzen.ru/a/X-25RNGpBkHKatVN> (дата обращения: 18.05.2024).
- Юданова В. В. Оптимизация бизнес-процессов в сфере обслуживания методами имитационного моделирования // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2017. № 11. С. 141–150. DOI 10.24422/MCITO.2017.11.8167. EDN ZTWTJP.
- Юн Г. Н. Системный подход к проектированию / Г. Н. Юн, К. В. Маринцева // Вісник інженерної академії України. 2012. № 2 // [Электронный ресурс]. 2012. – URL: www.irbis-nbuv.gov.ua (дата обращения: 21.11.2021).
- Dhamodharavadhani S. Variable Selection Method for Regression Models Using Computational Intelligence Techniques / S. Dhamodharavadhani, R. Rathipriya // OCEM Journal of Management, Technology & Social Science. India: Periyar University, 2020. pp. 416–436.
- Gorbunov V. P. The Principles and Methodology of Business Modeling // Качество и жизнь. 2018. № 2(18). P. 28-35. EDN WTHWQS.
- Lui G. L. Introduction to the combinatorial mathematics / G. L. Lui. New York: McGraw Hill, 1968. 424 p. DOI 10.4018/978-1-5225-7900-7.ch002.
- Magnello M. Karl Pearson and the Establishment of Mathematical Statistics. International Statistical Review. 2009. № 77(1). pp. 3-29.
- Möller D. P. F. Introduction in transportation analysis, Modeling and Simulation. Computational Foundation and Multimodal application. London: Springer-Verlag, 2014. 343 p.
- Ortúzar J. D. Modelling transport / J. D. Ortúzar, L. G. Willumsen. 4th ed. Chichester: John Wiley & sons, 2011. 608 p.
- Tatarkin A. I. Socioeconomic problems in development of the Russian Arctic zone / A. I. Tatarkin, V. G. Loginov, E. A. Zakharchuk // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2017. Vol. 87, No. 1. P. 12-21. DOI 10.1134/S101933161701004X. EDN YVHWEB.

References

"Aurora" is in for 50 billion rubles. Available at: <https://konkurent.ru/article/37775> / (accessed 05 May 2024). (In Russian)

- Dhamodharavadhani S., Rathipriya R. (2020). Variable Selection Method for Regression Models Using Computational Intelligence Techniques. *OCEM Journal of Management, Technology & Social Science*. 416-436.
- Emelyanova V. V., Yasinovsky S. I. (2009). Simulation modeling of systems. Moscow: *Bauman MSTU*. 2009. 584 p. (In Russian)
- Gorbunov V. P. (2018). Principles and methodology of business modeling. *Quality and Life*. 2: 28-35. (In Russian)
- Gorbunov V. P. (2023). The main aspects of creating a unified Far Eastern airline through the development of a unified route network, fleet and flight operational infrastructure of the Far Eastern region. *Crede Experto: transport, society, education, language*. 2: 44-62. (In Russian)
- Kurmangazieva L. T., Orazbaev B. B. (2014). Development of mathematical models and optimization of chemical-technological systems with unclear initial information. Available at: <https://monographies.ru/ru/book/view?id=258> (accessed 10 December 2023). (in Russian)
- Lazhentsev V. N. (2018). Socio-economic space and territorial development of the North and Arctic of Russia. *Economics of the region*. 14(2): 353-365. (In Russian)
- Lui G. L. (1968). Introduction to the combinatorial mathematics. New York: *McGraw Hill*, 1968. 424 p. DOI: 10.4018/978-1-5225-7900-7.ch002.
- Madera A. G. (2014). Interval stochastic uncertainty of estimates in multicriteria decision-making problems. *Artificial intelligence and decision making*. 3: 105–115. (In Russian)
- Magdin A. G., Pripadchev A. D., Gorbunov A. A. (2019). Algorithm for target selection of aircraft. *Bulletin of the Bryansk State Technical University*. 10(83): 48-54. (In Russian)
- Magnello M. Karl Pearson and the Establishment of Mathematical Statistics. *International Statistical Review*. 2009. 77(1): 3–29. DOI 10.1111/j.1751-5823.2009.00073.x.
- Matyukha S. V. (2022). Analysis of the influence of territorial clusters on the integrated development of regional economies and their aviation transport infrastructure. *EurasiaScience*. 189-193. (In Russian)
- Möller D. P. F. (2014). Introduction in transportation analysis, Modeling and Simulation. Computational Foundation and Multimodal application. London: *Springer-Verlag*, 2014. 343 p.
- Ortúzar J. D., Willumsen L. G. (2011). Modelling transport. 4th ed. Chichester: *John Wiley & sons*, 2011. 608 p.
- Scenarios for the development of Eastern Siberia and the Russian Far East in the context of the political and economic dynamics of the Asia-Pacific region until 2030: Analytical report. 2011. pp. 109-120. (In Russian)
- Tatarkin A. I., Loginov V. G., Zakharchuk E. A. (2017). Socio-economic problems of development of the Arctic zone of Russia. *Vestnik RAS*. 87(1): 12-21. DOI 10.1134/S101933161701004X.
- What is known about the united Far Eastern airline? / Let's fly together. Available at: <https://dzen.ru/a/X-25RNGpBkHKatVN> (accessed 18 May 2024). (In Russian)
- Yudanov V. V. (2017). Optimization of business processes in the service sector using simulation modeling methods. *Scientific and methodological electronic journal «Concept»*. 11: 141-150. (In Russian)
- Yun G. N., Marintseva K. V. (2012). A systematic approach to design. *Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine* № 2. Available at: www.irbis-nbuv.gov.ua. (accessed 21 November 2021). (In Russian)