

УДК 629.7.067

DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-5-85-93

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ОПЕРАЦИЙ В АЭРОПОРТАХ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ СОВМЕСТНОГО ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Г.Н. ЛЕБЕДЕВ<sup>1</sup>, В.Б. МАЛЫГИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет гражданской авиации,  
г. Москва, Россия

Работа выполнена при материальной поддержке РФФИ, грант № 19-08-00010

В статье предлагается методика формализации базовых характеристик производственных процессов деятельности основных представителей авиационной отрасли – авиакомпаний, аэропортов и органов управления воздушным движением. Данная методика не является исчерпывающей, но вполне подходит в качестве основы формирования исходных данных для оптимизации принятия решений в условиях выполнения аэропортовых операций и организации воздушного движения на основе принципов совместной работы эксплуатационных подразделений в аэропортах. В качестве инструмента оптимизации совместного принятия решений предлагается использовать генетический алгоритм, позволяющий за меньшее число итераций в реальном масштабе времени получить субоптимальное, отвечающее требованиям участников процесса, решение. При оценке возможности применения генетического алгоритма представлена математическая модель в мультипликативной форме, учитывающая интересы трех заинтересованных сторон. В качестве исходного продукта принимается планирование использования авиационной техники под расписание рейсов аэропорта, основанное на формализованных данных самолетного парка авиакомпаний, возможностей перрона базового аэропорта, а также с учетом ограничений постоянного и временного характера. В статье наглядно показано потенциальное преимущество генетического алгоритма, состоящее в том, что внутри каждого шага субоптимального выбора состава первоочередных задач вместо полного перебора вариантов осуществляется ограниченный, но эффективный «направленный» перебор из сокращенного числа тех вариантов, которые были выбраны в качестве «элиты» с помощью мультипликативной формы.

**Ключевые слова:** совместное принятие решений (CDM), безопасность полетов (БП), генетический алгоритм (ГА).

### ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с глобальным аэронавигационным планом (ГАНП) предусматриваются совершенно новые формы управления производством [1–4], сочетающим в себе различные виды деятельности, но имеющие прямую зависимость друг от друга. Предусмотрено три вида производственной деятельности:

- 1) производственная деятельность авиакомпаний;
- 2) аэропортовая производственная деятельность;
- 3) деятельность служб организации воздушного движения.

Общей целью данных видов деятельности является эффективное и качественное исполнение расписания движения воздушных судов, составленное на обозримый период. В настоящее время известно летнее и зимнее расписание. Также возможна корректировка центрального расписания и исполнение чартерных рейсов.

Говоря о традиционном «ретроподходе» к реализации упомянутой цели, когда ресурсы авиакомпании по самолетному парку и аэропорта по местам стоянок были более чем достаточны для реализации расписания, отмечалась слабая эффективность совместной деятельности.

Значительная часть самолетного парка простаивала, дожидаясь закрепленного рейса, всегда имелось определенное количество свободных мест стоянок в аэропорту, службы управления движением больше заботились о безопасности полетов и мало внимания уделяли эффективности совместного взаимодействия с аэропортовыми службами и авиакомпаниями. На совместных разборах, конференциях на обсуждение выносились частные проблемы и претензии. Необходимости в совместном управлении не возникало.

Ситуация стала существенно меняться с увеличением спроса на авиаперевозки, а также с переходом на новые методы хозяйствования [5, 6]. Авиакомпании стали активно искать свою «нишу» по авиаперевозкам, соответственно, стали эффективнее использовать самолетный парк. Свои ресурсы аэропорты стали рассчитывать исходя только из той части самолетного парка, который не находится в полете на маршруте, а обслуживается на перроне, что существенно расширило возможности аэропорта. Организация движения наряду с обеспечением безопасности полетов приобрела характер планируемой под расписание и ресурсы аэропорта [9, 10].

Возникает задача поиска оптимального количества и качества самолетного парка для обеспечения расписания полетов с учетом ресурсов аэропорта и возможностей организации движения. Также задача поиска оптимального решения в случае влияния внешних негативных факторов, таких как погода, технические отказы техники и т. п.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Расписание полетов можно представить в виде табл. 1.

Таблица 1  
Table 1

Расписание полетов  
Flight schedule

Время\дата рейса	01.01.2019	02.01.2019	....	XX.XX.XXXX
$t_1$	$d_1^1, k_1^1 z$		....	
$t_2$		$d_2^2, k_2^2 z$		
⋮				
$t_n$	$d_n^1, k_n^1 z$	$d_n^2, k_n^2 z$		$d_N^d, k_N^d z$

Здесь  $d_1^1$  – дальность до аэродрома назначения;

$k_1^1$  – количество пассажиров, под которое планируется выполнение рейса;

$z$  – ограничения по рейсу.

Значение  $d$  в табл. 1 берется из перечня аэродромов назначения, куда выполняются рейсы. Такой перечень имеется в штурманской службе аэропорта.

Ограничения по рейсу  $z$  касаются различных ограничений постоянного характера.

Традиционно период планирования авиационной техники не превышает одного месяца.

В табл. 2 представлены характеристики самолетного парка авиакомпаний с расчетом возможного участия воздушных судов одной авиакомпании в обеспечении рейса, закрепленного за другой.

Характеристика предельной дальности полета ВС актуальна для эффективного его использования. Наиболее эффективным считается выполнение рейса в том случае, если ВС заправляется топливом один раз в базовом аэропорту, т. е. предельная дальность полета ВС равна удвоенному расстоянию до аэродрома назначения, когда судно следует туда и обратно. Данное правило можно считать одним из критериев эффективности выполнения рейса, также необхо-

димо отметить, что в производственной деятельности существует множество подобных критериев, скрытых от прямого управления.

$$2d_i^n \leq D_m. \quad (1)$$

Правило (1) действует в том случае, если нет ажиотажа на перевозку.

**Таблица 2**  
**Table 2**

Характеристики парка воздушных судов  
Characteristics of the aircraft park

Воздушные суда	BC 1	BC 2	...	BC M
Характеристики	$D_1, L_1, K_1, Q_1, V_1$	$D_2, L_2, K_2, Q_2, V_2$		$D_M, L_M, K_M, Q_M, V_M$

Здесь  $D$  – предельная дальность полета для данного типа ВС;  
 $L$  – размеры ВС для обеспечения местом стоянки;  
 $K$  – максимальное количество пассажиров для перевозки данным типом ВС;  
 $Q$  – характеристики расхода топлива для данного типа ВС;  
 $V$  – символ доступности ВС для планирования обеспечения рейса.

Другим критерием топливной эффективности считается минимизация запаса топлива для полета в очереди на прибытие. Лишние 100 кг топлива – это потерянный для авиакомпании билет для пассажира.

В табл. 3 представлены характеристики перрона базового аэродрома.

**Таблица 3**  
**Table 3**

Характеристики перрона базового аэродрома  
Characteristics of the base airfield apron

№ стоянки	1	2	....	K
характеристики	$\lambda_1, \tau_1^d$	$\lambda_2, \tau_2^d$		$\lambda_k, \tau_k^d$

Здесь  $\lambda$  – размеры стоянки (основной характеристикой является размах крыльев ВС, которое можно условно расположить на стоянке);

$\tau^d$  – время занятости стоянки с учетом резервирования на день  $d$ . Величина  $\tau$  состоит из времени начала использования стоянки  $t$ , нормативного времени занятости  $\tau_n$  и «штрафного» времени задержки  $\tau_{ш}$ .

Проблема возникает при условии, если число мест стоянок в аэропорту ( $K$ ) меньше количества воздушных судов ( $M$ ), использующих этот аэропорт в качестве базового. Чем больше разница ( $M - K$ ), тем важнее планирование использования авиационной техники, а также «штрафного» времени задержки обслуживания. Особенностью такого планирования является слабая предсказуемость загрузки рейсов пассажирами, хотя, имея достаточную статистику загрузки и хорошую аналитику, можно с большой долей вероятности предсказать загрузку рейсов ( $k$ ). Тем не менее планирование распределения авиационной техники на выполнение расписания производится от одной недели до месяца. В табл. 4 представлен примерный 4-дневный план выполнения расписания одним воздушным судном (BC<sub>m</sub> – A320) с соответствующими характеристиками:  $D_m = 6150$  км,  $L_m = 34,1$  м,  $K_m = 180$  чел.

Необходимо отметить, что характеристика дальности полета ВС, для гармонизации с измерениями расписания, должна быть переведена из километрового измерения во временное.

Для этого необходимо учитывать факторы организации воздушного движения. Так, полет по маршруту на запланированном эшелоне мало зависит от ОрВД в том случае, если не применяется ожидание на маршруте. Эту часть можно идентифицировать как дальность полета по маршруту  $D^M$ , деленную на путевую скорость полета  $W^П$ . В свою очередь, путевая скорость имеет прямую зависимость от «крейсерской» скорости типа ВС ( $W^k$ ) и характеристик ветра по маршруту ( $\Delta$ ). В ГАНП приводятся характеристики топливной эффективности при использовании эшелонов полета, где рассчитаны топливные потери при полете на невыгодном эшелоне.

Таблица 4  
Table 4

Примерный план выполнения расписания воздушным судном  
Outline schedule of the aircraft

Дата \ Время	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01.01.2019	$D^M$		$D^{CH}; D^{3P}; CG; D^{BP}; D^{наб.}$		$D^M$		$D^{CH}; D^{3P}; CG; D^{BP}; D^{наб.}$		$D^M$						$D^{CH}; D^{3P}; CG; D^{BP}; D^{наб.}$									
02.01.2019			$D^{CH}; D^{3P}; CG; D^{BP}; D^{наб.}$		$D^M$						$D^{CH}; D^{3P}; CG; D^{BP}; D^{наб.}$		$D^M$						$D^{CH}; D^{3P}; CG;$					
03.01.2019	$CG; D^{BP}; D^{наб.}$		$D^M$		$D^{CH}; D^{3P}; CG; D^{BP}; D^{наб.}$		$D^M$		$D^{CH}; D^{3P}; CG; D^{BP}; D^{наб.}$						$D^M$		$D^{CH}; D^{3P}; CG; D^{BP}; D^{наб.}$							
04.01.2019	$D^M$				$D^{CH}; D^{3P}; CG; D^{BP}; D^{наб.}$				$D^M$				$D^{CH}; D^{3P}; CG; D^{BP}; D^{наб.}$				$D^M$				$D^{CH}; D^{3P}; CG; D^{BP}; D^{наб.}$			

Начиная с этапа прибытия, влияние организации воздушного движения становится более существенным. В том случае если очередь воздушных судов на посадку ( $\Omega^c$ ) отсутствует, от начала снижения с эшелона до посадки  $D^{CH}$  проходит, как правило, 30 минут.

В крупных аэропортах в периоды повышенной интенсивности воздушного движения время нахождения в такой очереди  $\Omega^c$  может доходить до 1 часа и более. В этом случае можно существенно отойти от плана распределения мест стоянок под конкретные прилетные ВС, а также нарушить план вылета. Перераспределение мест стоянок необходимо осуществлять достаточно оперативно, что не всегда под силу оператору. Зачастую данное обстоятельство является причиной сбоя в организации аэродромного движения, последствия которого непредсказуемы.

После посадки воздушное судно двигается к месту стоянки  $D^{3P}$  и выключает двигатели после остановки. Примем нормативное время руления 10 минут. Как правило, этот норматив зависит от особенностей перрона аэропорта. Далее начинается аэропортовое обслуживание, реализуется сетевой график обслуживания различными службами аэропорта ( $CG_m$ ). Задача планирования – свести к минимуму время  $CG_m$  без ущерба для качества. По сути, эта задача сводится к минимизации времени между выключением двигателей ВС и запуском. Следующий рейс начинается с запуска двигателей и «выруливания» на взлет  $D^{BP}$ . Данный процесс относится к организации движения на перроне и зависит от множества факторов. Нормативное время «выруливания», как правило, должно соответствовать времени «заруливания», но на практике это время больше. Взлет и набор эшелона с выходом на маршрут обозначим  $D^{наб.}$ .

Из табл. 4 можно вывести коэффициент использования ВС  $k^П = 0,6041$ , который показывает соотношение полета по маршруту к общему времени 4-х суток. Для ВС такого типа идеальным будет режим использования  $D^M = 6$  ч;  $D^{CH} + D^{3P} + CG + D^{BP} + D^{наб.} = 2$  ч, т. е.  $k^И = 0,75$ . Разница значений идеального и практического коэффициентов говорит о наличии резервов в составлении расписания рейсов. Также видно, что затягивание процедуры  $CG$ , как правило, происходит в базовом аэропорту.

## ПЕРЕЧЕНЬ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИЗМЕНЕНИЕ РАСПИСАНИЯ ПОЛЕТОВ

Как уже отмечалось, на практическую реализацию данного плана может повлиять множество факторов. Так, поломка и выход из строя хотя бы одного ВС из парка авиакомпании может существенно повлиять на выполнение расписания [7]. В этом случае требуется срочная работа по перераспределению авиационной техники. Как правило, такая задача решается оператором вручную и не всегда эффективно. Бывают случаи, когда на выручку авиакомпании приходит другая авиакомпания, имеющая свободные воздушные суда. Следующий важный фактор – это погода [8]. Задержки прибытия рейсов, отправка ВС на запасной аэродром также требуют срочной коррекции плана использования авиационной техники. Возникновение очереди на прибытие и вылет также является существенным фактором, влияющим на выполнение плана. Данные факторы можно отнести к организации воздушного движения. Необходимо отметить, что с учетом перечисленных факторов корректировать план приходится два раза: первый в момент «потери» фактора ( $F^-$ ), второй раз в момент его «восстановления» ( $F^+$ ). То же касается и ремонта мест стоянок. Отмена рейсов в связи с недостаточным спросом или их объединение, а также использование авиационной техники с меньшим или большим количеством посадочных мест требует однократной корректировки плана использования авиационной техники. В конечном итоге возникают две основные задачи:

1) создание эффективного расписания рейсов с учетом качества и количества самолетного парка по критериям оптимизации коэффициента использования авиационной техники и топливной эффективности;

2) корректировка плана использования авиационной техники или мест стоянок по множеству критериев во внештатных ситуациях.

Границы, рассматриваемые в обеих задачах, могут носить как глобальный, так и ситуационный характер. Как правило, первая задача применяется как для одного аэропорта, так и для нескольких, вторая касается конкретной нештатной ситуации, влияющей на работу одного или нескольких аэродромов, а также авиакомпаний.

Таким образом, в обеих задачах возникает необходимость координации действий авиакомпаний, аэропортов и службы управления движением с учетом противоречивости интересов:

- для авиакомпаний стоит задача поиска оптимального количества и качества самолетного парка и обеспечения топливной эффективности;
- для аэропортов важна задача обеспечения безопасного и эффективного использования летного поля и мест стоянок;
- для службы УВД обеспечение безопасности полетов и минимизация времени задержек ВС в воздухе и на земле.

Результатом решения является объективно обоснованное заключение, которое добровольно принимается за основу коллективного решения различных юридических лиц в рамках действующей нормативной базы.

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Противоречивость интересов трех «заинтересованных участников» процесса особенно ярко возникает в случае влияния негативных факторов, таких как ухудшение метеоусловий, отказы техники, падение спроса пассажиров и т. д. Это объясняется тем, что сама задача оптимизации кодированных действий является многокритериальной, что и определяет применение с учетом этого генетического алгоритма (ГА) как наиболее успешного численного метода

расчетов малой трудоемкости по сравнению с другими алгоритмами перебора вариантов планирования.

Более конкретно предлагаемый состав используемого ГА состоит в следующем.

1. Для каждого аэропорта ( $i = 1, \dots, N$ ) вначале определяется состав первоочередных рейсов на одном шаге планирования в течение короткого промежутка времени с помощью назначения динамических приоритетов  $P_e$  каждого рейса в виде следующей мультипликативной формы:

$$P_e = \max [I_1^{(l)} + m_1] [I_2^{(l)} + m_2] [I_3^{(l)} + m_3], \quad (2)$$

где  $I^{(l,i,j)}$  – критерий эффективности выбранного рейса  $l$  в интересах аэропорта вылета  $i$  и аэропорта прилета  $j$  с учетом числа свободных и занятых мест на их летном поле;

$I^{(Z_e,l)}$  – критерий эффективности выбора в интересах авиакомпании с учетом зависящего от спроса числа пассажиров  $Z_e$  и затрат топлива и других штрафных функций в летную или нелетную погоду;

$I(l, \Delta t_e)$  – критерий эффективности в интересах организации воздушного движения с учетом уже существующей временной задержки  $\Delta t$  выполнения рейса;

$m_1, m_2, m_3$  – масштабные коэффициенты, различные по величине при неодинаковой значимости сомножителей в приоритете  $P_e$  и назначаемые экспертами до начала планирования.

Для описания ГА применяется общепринятая форма, включающая формирование множества планов использования самолетного парка в качестве «предков», которые подвергаются «скрещиванию» и «мутации». Поиск «элиты» производится при помощи мультипликативной формы (2).

Нужно подчеркнуть, что мультипликативная форма (2) уже подтвердила свое преимущество по сравнению с адаптивной [6], поскольку неучет хотя бы одного из интересов «заинтересованных сторон» соответствует малому значению одного из сомножителей и, как следствие, – низкому общему приоритету  $P_e$ .

При таком способе в списках первоочередных рейсов отсутствуют представители с неудачными показателями эффективности хотя бы по одному из критериев.

2. Общий формируемый план прилета-вылета аэропорта с учетом использования самолетного парка авиакомпаний состоит из нескольких шагов по времени  $\Delta t$  суток, внутри которого планируется ограниченное число рейсов или вылетов.

3. На каждом шаге состав планируемых рейсов выбирается несколько раз по нескольким двухпараметрическим критериям в угоду двух из трех заинтересованных сторон (всего три варианта выбора, определяющих «элиты»).

4. Полученное множество вариантов использования самолетного парка для трех случаев планирования подвергается операциям скрещивания и мутации, чтобы потом совершить отбор новой «элиты» вариантов, повторяя этот процесс за нужное число попыток.

5. Указанные действия повторяются для всех аэропортов, участвующих в расчетах на одном шаге.

6. Полученный результат планирования используется для уточнения нового состояния аэропортов при ожидаемом выполнении выбранных рейсов. Это состояние требуется для планирования на новом шаге.

7. По завершении перечисленных действий на новом шаге они повторяются вплоть до конца суток.

Главное потенциальное преимущество генетического алгоритма состоит в том, что внутри каждого шага субоптимального выбора состава первоочередных рейсов в каждом аэропорту вместо полного перебора вариантов осуществляется ограниченный, но эффективный «направ-

ленный» перебор из сокращенного числа тех вариантов, которые были выбраны в качестве «элиты» с помощью мультипликативной формы (2).

Количественные оценки  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  каждого из сомножителей мультипликативной формы (1) требуют дополнительного рассмотрения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Установлена противоречивость интересов авиакомпаний и аэропортов при координации воздушного движения и производственной деятельности на земле, что позволило отнести процесс планирования к числу многокритериальных задач оптимизации.

2. При выборе первоначального состава выполняемых рейсов в каждом аэропорту предложена высокоэффективная мультипликативная форма назначения динамических приоритетов, состоящая из трех сомножителей, учитывающих важность каждого рейса для трех заинтересованных лиц – авиакомпаний, аэропортов и пассажиров.

Предложен генетический алгоритм численного перебора вариантов состава рейсов для каждого аэропорта на одном шаге планирования, обладающий малой трудоемкостью и принципиальной возможностью достижения глобального максимума эффективности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Борсоев В.А.** Принятие решения в задачах управления воздушным движением. Методы и алгоритмы / В.А. Барсоев, Г.Н. Лебедев, В.Б. Малыгин, Е.Е. Нечаев, под ред. Е.Е. Нечаева. М.: Радиотехника, 2018. 432 с.
2. **Никулин А.О.** Система совместного принятия решений как эффективный инструмент организации работы аэропорта в условиях пиковых нагрузок // Научный Вестник МГТУ ГА. 2018. Т. 21, № 5. С. 43–55.
3. **Никулин А.О., Попов А.А.** Внедрение процедур А-СДМ в аэропорту Шереметьево // Научный Вестник МГТУ ГА. 2015. № 221. С. 68–80.
4. **Нечаев Е.Е., Никулин А.О.** Анализ работы системы «СИНХРОН» аэропорта Шереметьево в сложных метеорологических условиях // Научный Вестник МГТУ ГА. 2018. Т. 21, № 6. С. 31–42.
5. **Зайцев А.В., Талиманчук Л.Л.** Интеллектуальная система принятия решений для оценки научной деятельности на основе многоагентной системы // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2008. № 7. С. 85–88.
6. **Соболь Е.М., Статников Р.Б.** Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Наука, 1981. 110 с.
7. **Луговая А.В., Коновалов А.Е.** Совместное принятие решения о потоках прилета и вылета ВС при организации воздушного движения // Научный Вестник МГТУ ГА. 2017. Т. 20, № 4. С. 78–87.
8. **Габейдулин Р.Х.** Задача динамического регулирования потоков воздушного движения задержками вылетов воздушных судов // Труды ГосНИИ АС. Сер. Вопросы авионики. 2018. № 2. С. 39–53.
9. **Жильцов И.Е., Митрофанов А.К., Рудельсон Л.Е.** Оценка пропускной способности в задаче совместного планирования потоков воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА. 2018. Т. 21, № 2. С. 83–95.
10. **Рудельсон Л.Е.** Программное обеспечение автоматизированных систем управления воздушным движением. Ч. I. Системное программное обеспечение. Кн. 2. Операционные системы реального времени. Математические модели: учебное пособие. М.: МГТУ ГА, 2008. 96 с.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Лебедев Георгий Николаевич**, доктор технических наук, профессор кафедры систем автоматического и интеллектуального управления Московского авиационного института (национального исследовательского университета), kaf301@mail.ru.

**Малыгин Вячеслав Борисович**, начальник тренажерного центра кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, mbv898@ya.ru.

## ASSESSMENT OF THE APPLICATION FEASIBILITY OF THE GENETIC ALGORITHM FOR AIRPORTS OPERATIONS OPTIMIZATION BASED ON THE COLLABORATIVE DECISION-MAKING PRINCIPLES

**Georgiy N. Lebedev<sup>1</sup>, Vyacheslav B. Malygin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

The study was conducted with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, Grant № 19-08-00010

### ABSTRACT

The article proposes a formalization methodology of the basic characteristics of the production processes of the aviation industry major components, such as airlines, airports and air traffic control authorities. This technique is not exhaustive, but it is quite suitable as the basis for the formation of the initial data for decision-making optimization under the conditions of airport operations performance and air traffic management, based on the principles of work coordination of the airports operational units. It is proposed to use a genetic algorithm as a tool for optimizing collaborative decision-making, which allows for a smaller number of iterations in real time to obtain a suboptimal solution that meets the requirements of the process participants. The mathematical model in multiplicative form is presented in making an assessment of the application feasibility of the genetic algorithm, taking into account the interests of three stakeholders. Planning the use of aircraft for the airport flight schedule based on the formalized data of the airline fleet, the capabilities of the base airport apron, as well as the restrictions of permanent and temporary nature is accepted as the original product. The article demonstrates the potential advantage of the genetic algorithm, the point of which is that within each step of a suboptimal choice of priorities instead of brute-force options limited but effective direct search of a reduced number of those options that have been chosen as the "elite" by using multiplicative form is carried out.

**Key words:** collaborative decision making (CDM), flight safety, genetic algorithm (GA).

### REFERENCES

- 1. Borsoyev, V.A., Lebedev, G.N., Malygin, V.B. and Nechayev, E.E.** (2018). *Prinyatie resheniya v zadachakh upravleniya vozдушным движением. Metody i algoritmy* [Decision Making in Air Traffic Management Tasks. Methods and Algorithms], in Nechaev E.E. (Ed.) Moscow: Radio Engineering, 432 p. (in Russian)
- 2. Nikulin, A.O.** (2018). *The system of collaborative decision making as an effective tool for the organization of the airport operation in peak loads*. Civil Aviation High Technologies, vol. 21, no. 5, pp. 43–55. (in Russian)
- 3. Nikulin, A.O. and Popov, A.A.** (2015). *Implementation procedures A-CDM at the airport Sheremetyevo*. The Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, no. 221, pp. 68–80. (in Russian)



4. **Nechaev, E.E. and Nikulin, A.O.** (2018). *The Analytical treatment of the system "SYN-CHRON" at Sheremetyevo airport in adverse weather conditions*. Civil Aviation High Technologies, vol. 21, no. 6, pp. 31–42. (in Russian)
5. **Zaitsev, A.V. and Talimanchuk, L.L.** (2008). *Intellektualnaya sistema prinyatiya resheniy dlya otsenki nauchnoy deyatel'nosti na osnove mnogoagentnoy sistemy* [Intellectual decision-making system for assessing scientific activity based on a multi-agent system]. Computers: development, application, no 7. pp. 85–88. (in Russian)
6. **Sobol, E.M. and Statnikov, R.B.** (1981). *Vybor optimal'nykh parametrov v zadachakh so mnogimi kriteriyami* [Selection of optimal parameters in tasks with many criteria]. Moscow: Nauka, 110 p. (in Russian)
7. **Lugovaya, A.V. and Konovalov, A.Ye.** (2017). *Collaborative decision-making on the inbound and outbound air traffic flow in air traffic management*. Civil Aviation High Technologies, vol. 20, no. 4, pp. 78–87. (in Russian)
8. **Gabeydulin, R.Kh.** (2018). *The dynamic air traffic flow management by assigning ground flight delays. Trudy GosNII AS. Ser. Voprosy avioniki* [Proc. of National Research Institute. Ser. Questions of avionics], no. 2, pp. 39–53. (in Russian)
9. **Zhiltsov, I.Ye., Mitrofanov, A.K. and Rudelson, L.Ye.** (2018). *Air space capacity assessment regarding the problem of the collaborative management of air traffic flows*. Civil Aviation High Technologies, vol. 21, no. 2, pp. 83–95. (in Russian)
10. **Rudelson, L.Ye.** (2008). *Programmnoe obespechenie avtomatizirovannykh sistem upravleniya vozдушным движением. Chast I. Sistemnoe programmnoe obespechenie. Kniga 2, Operatsionnye sistemy real'nogo vremeni. Matematicheskie modeli: Uchebnoe posobie* [Software for automated air traffic control systems. Part I. System software. B2. Real-time operating systems. Mathematical models: Training manual]. Moscow: MGTU GA, 96 p. (in Russian)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Georgiy N. Lebedev**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Chair of the Automatic and Intellectual Management Systems, Moscow Aviation Institute (National Research University), kaf301@mail.ru.

**Vyacheslav B. Malygin**, Head of the Training Center of the Air Traffic Management Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, mbv898@ya.ru.

Поступила в редакцию  
Принята в печать

05.06.2019  
24.09.2019

Received  
Accepted for publication

05.06.2019  
24.09.2019