

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-4-8-17

**ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ
ОПЕРАТИВНОЙ КОРРЕКЦИИ ПОТОКОВ ПРИЛЕТА
И ВЫЛЕТА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА
С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА****Г.Н. ЛЕБЕДЕВ¹, В.Б. МАЛЫГИН², Д.А. МИХАЙЛИН¹**¹*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва, Россия*²*Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия*Работа выполнена при материальной поддержке РФФИ
(гранты № 16-08-00070 и № 17-29-03185)

Повышение эффективности работы аэродрома в значительной степени зависит от качества решения проблем на границах взаимодействия различных технологических участков, в том числе использование одной взлетно-посадочной полосы (ВПП) прилетающими и вылетающими воздушными судами (ВС). При определенной интенсивности вылетающего и прилетающего потоков движения воздушных судов неизбежно возникает конфликт их интересов, где расставить приоритеты зачастую бывает сложно даже для опытных диспетчеров, вследствие чего возникают ошибки при принятии решения.

В данной работе сформулирована задача оперативной коррекции времени посадки и взлета воздушных судов, использующих одну ВПП в условиях возникновения конфликта интересов «прилет-вылет» при повышенной операционной интенсивности. Выбор варианта оптимального решения производится с учетом обоюдных интересов без полного перебора и оценки всех вариантов решения.

В этой связи предложен генетический алгоритм, предлагающий простой и эффективный подход к решению задачи выбора оптимального управления при обеспечении безопасности полетов на приемлемо высоком уровне. В качестве критериев оценки оптимальности выбора используется оценка дополнительного расхода авиационного топлива.

Показаны преимущества применения генетического алгоритма при выборе решения по сравнению с принятым сегодня «командным» вариантом разрешения конфликта вылета и прилета в районе аэродрома.

Ключевые слова: контроль безопасности, оптимальное управление, воздушные суда, генетический алгоритм, конфликт вылета-прилета.

ВВЕДЕНИЕ

Среди множества подходов к решению задачи выбора оптимального компромисса между интересами вылетающих и заходящих на посадку ВС особое место занимают параметрические методы оптимизации [1–4]. Среди них методы линейного и целочисленного программирования (Лангража) и т. п. Как правило, эти методы используют один заданный или сформулированный критерий оптимизации. Классическим критерием является расход топлива. Однако на практике одного критерия бывает недостаточно, что приводит к снижению продуктивности решения. Применение численных методов оптимизации с полным перебором всех вариантов решения имеет ограничения ресурсов памяти вычислителя и времени решения. С увеличением параметров задачи время решения увеличивается в геометрической прогрессии. В этой связи все большую популярность приобретают попытки решения многокритериальных задач без полного перебора всех вариантов решения [5–11]. В этом случае говорят не о строгой оптимальности, а о наилучшем результате за меньшее число итераций.

Целью данной работы является поиск наилучшего варианта разрешения конфликта вылета и прилета при ограниченном числе итераций при условии, что в начале поиска есть некоторые рациональные варианты решения («предки»), из которых специальным образом формируется множество комбинаций этих вариантов («потомков»), позволяющих сформировать на каждом шаге эволюции улучшенное усеченное множество («элиту»). Этот подход позволяет повторять намеченные действия нужное число раз и получить ответ при следующей постановке задачи.

1. Решается задача оперативной коррекции потока прилет-вылет с помощью соответствующей задержки, позволяющей обеспечить безопасный интервал Δ между освобождением ВПП после посадки и взлетом воздушных судов. На рис. 1 показана картина потока прилета и вылета на одну ВПП при наличии общего числа M_0 свободных стоянок на перроне. На рулежной дорожке скопилось очередь ВС, ожидающих разрешения взлета, которым заходящие на посадку ВС не позволяют осуществить вылет, т. к. нарушится условие обеспечения безопасности полетов (БП) вследствие нарушения безопасного интервала Δ , предусмотренного в этом случае в каждом аэропорту.

2. Условием наступления негативного авиационного события – нарушения уровня БП можно считать сокращение временного интервала между моментом разрешения экипажу ВС посадки t и моментом начала разбега при взлете τ i -й пары ВС менее допустимого $|t_i - \tau_i| < \Delta$.

3. Необходимо не допускать сокращения интервала Δ путем планирования задержек прилета или вылета по актуальным парам ВС, число которых задано и равно n .

4. Разобьем n упомянутых событий прилета и вылета на две группы. В первой группе момент τ_i наступает раньше момента t_i , т. е. в приоритете интересы вылетающего ВС конфликтующей пары (после наступления момента τ_i управляющие воздействия со стороны диспетчера будут связаны с заходящим на посадку ВС), во второй группе – наоборот. При этом условие безопасности выполняется для обеих групп. С точки зрения сложности того или иного варианта воздействия со стороны диспетчера на пару ВС следует отдать предпочтение второй группе.

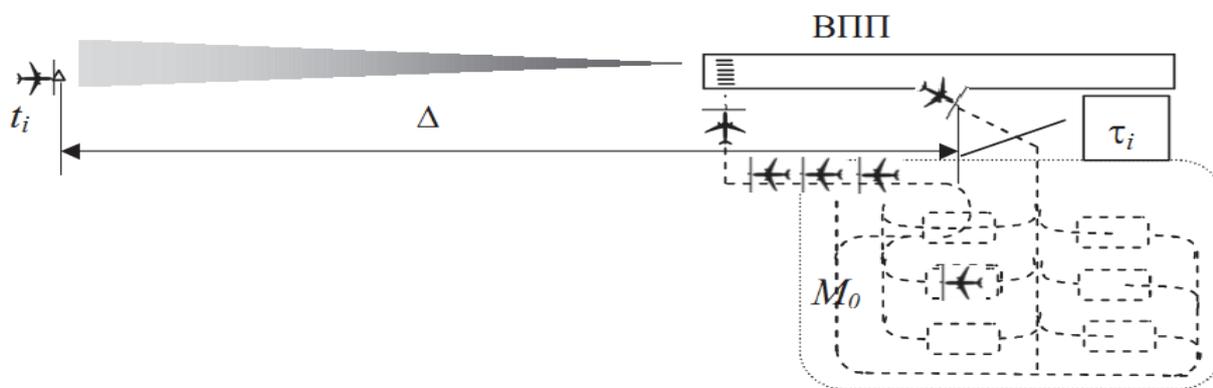


Рис. 1. Конфликт интересов обеспечения вылета и прилета в районе аэродрома
Fig. 1. The conflict of interests to ensure departure and arrival in the vicinity of the aerodrome

Действительно, задержать вылет ВС, находящегося на исполнительном старте на земле, легче и надежнее, чем вмешиваться в пилотирование и давать указания экипажу по регулированию скорости заходящего на посадку ВС или отправлять его на повторный заход. Критическим состоянием в обеих группах является скопление в секторе УВД такого количества ВС, которое диспетчер не в состоянии обслужить. В первой группе это состояние наступает в воздухе, во второй – на земле. В качестве примера такого состояния можно считать отсутствие свободных стоянок на перроне $M_0 = 0$. Наступление этого события делает невозможным выполнение посадок вообще. Аналогично можно обозначить ситуацию воздушной «пробки» через $\Pi_0 = 0$. Примем обе группы событий n_1 и n_2 равными:

$$n_1 = n_2 = 0,5 n.$$

5. В целях недопущения нарушения уровня БП рассмотрим следующие возможности применения управляющих воздействий для обеих групп, сопряженные с дополнительными затратами топлива.

Для первой ($t_i > \tau_i$) и второй ($\tau_i > t_i$) групп событий имеются следующие альтернативные решения $j = 1, 2, 3$:

а) $j = 1$ – задержать прилет на раннем этапе захода на посадку путем применения векторения, увеличив тем самым момент времени t_i на величину $[\Delta - (t_i - \tau_i)]$, что неизбежно приведет к дополнительному расходу топлива за счет увеличения времени полета;

б) $j = 2$ – отправить заходящее на посадку ВС на повторный заход, т. е. задержать прилетающее ВС на значительное время T ($T > \Delta$). Безусловно, это окажет влияние на весь прилетный поток и может привести к ситуации P_0 ;

с) $j = 3$ – задержать вылетающее ВС на время $(\Delta + \delta_i)$, пока заходящее на посадку ВС не освободит ВПП после посадки. В этом случае дополнительные затраты топлива потребуются при ожидании разрешения на взлет.

6. На вероятность наступления событий P_0 и M_0 существенное влияние может оказывать интервал времени $\zeta_{(i,i+1)}$ между этапами решения – интервал времени между окончанием решения по текущей паре ВС и началом решения по следующей паре ВС.

По параметру $\zeta_{(i,i+1)}$ возможны следующие варианты:

– $\zeta_{(i,i+1)} \gg \Delta$ – влияние не оказывается;

– $\zeta_{(i,i+1)} > \Delta + S_\Delta$ – влияние имеется, но требуется дополнительное расстояние S_Δ или временной интервал, гасящий инерцию завершения решения задачи по конкретной паре ВС. Например, после разрешения взлета и окончания решения задачи по конкретной i -й паре ВС необходимо дождаться примерного равенства скоростей взлетающего ВС текущей пары и заходящего на посадку ВС следующей $i+1$ -й пары ВС;

– $\zeta_{(i,i+1)} \leq \Delta + S_\Delta$ – влияние, вынуждающее авиадиспетчера решать задачу по следующей паре ВС в рискованном темпе, что зачастую приводит к ошибочным решениям.

7. В целом процесс прилета-вылета характеризуется следующей группой заданных параметров:

Δ – минимальное время между разрешением посадки и взлета, гарантирующее безопасность;

n – число пар ВС, образующих две группы равной численности n_1 и n_2 ;

M_0 – общее число стоянок на перроне;

M – число свободных стоянок на перроне;

T – время ухода на повторный заход;

C_σ – коэффициент потерь топлива за задержку вылета при включенных двигателях;

C_π – коэффициент потерь топлива за задержку прилета, $C_\pi > C_\sigma$.

Каждая пара ВС характеризуется параметрами:

t_i – момент времени выдачи разрешения на посадку;

τ_i – момент времени выдачи разрешения на взлет и начало разбега при взлете;

δ_i – модуль разности времен t_i и τ_i ($\delta_i > \Delta$);

Δt_i – априорное время задержки посадки по одному ВС до оперативной коррекции потока;

$\Delta \tau_i$ – априорное время задержки при вылете для аналогичных условий;

$\zeta_{(i,i+1)}$ – интервал времени между завершением решения задачи по текущей паре ВС и наступлением момента начала решения задачи по следующей паре ВС.

Таким образом, каждая пара ВС характеризуется вектором состояния

$$\varphi_i = [\delta_i, \Delta t_i, \Delta \tau_i, \zeta_{(i,i+1)}].$$

Требуется:

- определить состав частных показателей качества управляющих воздействий, учитывающих как задержки времени прилета и вылета, так и дополнительные затраты топлива (потери топлива);
- сформулировать общий критерий J эффективности в виде единой свертки частных показателей, чтобы использовать его для отбора лучших вариантов плана;
- определить основные параметры генетического алгоритма поиска оптимума и составить программу его работы;
- произвести моделирование действия генетического алгоритма оптимизации и оценить результаты.

ФОРМИРОВАНИЕ ЧАСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ЕДИНОГО КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ОПЕРАТИВНОЙ КОРРЕКЦИИ ПОТОКА ПРИЛЕТА-ВЫЛЕТА

В качестве частных показателей качества коррекции на каждом i -м шаге общей задачи примем следующие параметры:

- σ_i – дополнительные потери топлива;
- $\beta_{cp.i}$ – итоговое среднее время задержки прилета и вылета;
- $\beta_{max.i}$ – максимальное время задержки i -й пары;
- ρ_i – потери времени на последующем шаге от решения на текущем шаге;
- μ_i – дополнительные потери из-за недостатка свободных стоянок на перроне ($M_i = M_0$).

Все эти параметры зависят от вектора состояния пары φ_i и от номера альтернативы управляющего воздействия j . В частности, для $j = 1$ результат анализа качества коррекции можно записать как систему правил:

$$\begin{aligned}\sigma_i &= C_{\Pi} (\Delta - \delta i); \\ \beta_{cp.i} &= (\Delta t_i + \Delta + \Delta \tau_i - \delta i) 0,5; \\ \beta_{max.i} &= \max(\Delta t_i + \Delta + \Delta \tau_i - \delta i); \\ \rho_i &= Te^{-\frac{2\xi_i}{\Delta}}; \mu_i = 0.\end{aligned}\tag{1}$$

Аналогичным образом можно с учетом различных задержек времени и потерь топлива для альтернатив ($j = 2$) сформулировать аналогичные правила:

$$\begin{aligned}\sigma_i &= C_{\Pi} T; \\ \beta_{cp.i} &= (\Delta t_i + \Delta \tau_i + T) 0,5; \\ \beta_{max.i} &= \max(\Delta t_i + T/\Delta \tau_i); \\ \rho_i &= Te^{-\frac{2\xi_i}{\Delta}}; \mu_i = 0.\end{aligned}\tag{2}$$

Соответственно для альтернативы $j = 3$ имеем:

$$\begin{aligned}\sigma_i &= C_{\Pi} (\Delta + \delta i); \\ \beta_{cp.i} &= (\Delta t_i + \Delta + \Delta \tau_i + \delta i) 0,5; \\ \beta_{max.i} &= \max(\Delta t_i + \Delta + \Delta \tau_i + \delta i); \\ \rho_i &= Te^{-\frac{2\xi_i}{\Delta}}; \mu_i = T/M_0.\end{aligned}\tag{3}$$

Для проведения оценки качества корректирующих воздействий в целом, можно в общем случае использовать хорошо зарекомендовавшую себя в других подобных задачах [3, 4] свертку, равную сумме линейных и мультипликативных слагаемых

$$J = K_1 \sum \sigma_i + K_2 \sum \beta_{cp.i} + K_3 \sum \beta_{max.i} + K_4 \sum \rho_i + K_5 \sum \mu_i + K_6 \prod \sum \sigma_i \cdot \sum \beta_{cp.i} \cdot \sum \rho_i \cdot \sum \mu_i \Rightarrow \min. \quad (4)$$

Последний член в (4) позволяет получить более сбалансированное решение. Для упрощения расчетов в статье применяется только линейная свертка, а весовые коэффициенты и коэффициенты потерь установлены опросом экспертов:

$$K_1 = 0,4; K_2 = 0,2; K_3 = 0,1; K_4 = 0,1; K_5 = 0,2; K_6 = 0; C_b = 1; C_n = 4; \Delta = 10; T = 15; M_0 = 5; n = 6.$$

Чтобы свести (1)–(4) в единое целое в виде локального критерия J_i для одной пары, воспользуемся следующим:

$$J_i = \begin{cases} 0,4C_n(\Delta - \delta_i) + 0,1(\Delta t_i + \Delta + \tau_i - \delta_i)0,5 + 0,1 \max[\Delta t_i + \Delta + \tau_i + \delta_i] + 0,1Te^{-\frac{2\xi_i}{\Delta}} & \text{для } j=1; \\ 0,4C_n T + 0,1(\Delta t_i + \Delta \tau_i + T)0,5 + 0,1 \max\left[\Delta \tau_i + \frac{T}{\Delta \tau_i}\right] + 0,1Te^{-\frac{2\xi_i}{\Delta}} & \text{для } j=2; \\ 0,4C_b(\Delta + \delta_i) + 0,1(\Delta t_i + \Delta + \Delta \tau_i + \delta_i)0,5 + 0,1 \max[\Delta t_i + \Delta + \Delta \tau_i + \delta_i] + 0,1Te^{-\frac{2\xi_i}{\Delta}} + \frac{T}{M_0} & \text{для } j=3. \end{cases} \quad (5)$$

Соотношение (5) будет использовано при выборе лучших вариантов решения на каждом шаге работы генетического алгоритма [5].

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ РЕШАЕМОЙ ЗАДАЧИ

Генетический алгоритм является элементом искусственного интеллекта и воспроизводит процесс эволюции с целью совершенствования свойств определенного вида живой природы. Этот процесс состоит из трех основных видов повторяющихся операций – скрещивания, мутации и отбора лучших представителей – «элиты». При этом для того, чтобы запустить этот процесс, необходимо иметь начальное множество исходных представителей («предков»). При этом обычно число предков N невелико. Зато после их скрещивания и мутации оно резко возрастает. Полученные «потомки» обладают самыми разнообразными свойствами – как худшими, так и лучшими. В завершение одного шага (v) эволюции происходит отбор лучших предков при заданной целевой функции отбора – в нашем случае вычисляется сумма $\sum_{i=1}^n J_i$ по формуле (5).

Далее процесс эволюции повторяется, и в качестве «предков» рассматривается «элита», полученная на предыдущем шаге эволюции. Преимущество генетического алгоритма заключается в том, что за ограниченное число попыток внесения детерминированного и стохастического разнообразия удается достаточно быстро достичь не строго оптимального, но близкого к нему решения.

Рассмотрим действие генетического алгоритма на конкретном примере. Примем в качестве начальной «элиты» упомянутые три альтернативы решения задачи (j) на каждом ее шаге, число которых ($n = 6$). Исходные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

i	1	2	3	4	5	6
δi	2	-3	5	-1	-2	3
Δt_i	5	10	15	0	40	45
$\Delta \tau_i$	60	25	30	80	0	70
$\zeta_{(i,i+1)}$	6	15	8	13	16	20

Произведенные расчеты функции J_i для трех альтернатив j представлены в табл. 2. Генетическими признаками или атрибутами являются три ранее описанные альтернативы j для шести шагов общей задачи. В первых шести ячейках каждой строки представлены значения локальных критериев, вычисленных по формуле (5).

Итоговые аддитивные суммы локальных критериев для каждого варианта («предка»), оцениваемые одним числом и стремящиеся минимизировать несовершенство качества произведенной коррекции, представлены в последнем столбце. Таким образом, число «предков» в «элите» ($N = 3$) равно трем, число генетических признаков ($U = 6$) равно шести.

Таблица 2
Table 2

i/j	1	2	3	4	5	6	$\sum_{i=1}^6 J_i$
1	22,8	13,3	18	24,8	14,4	35,2	128,5
2	21,2	17,4	16,1	32	14,4	35,4	136,5
3	25,2	17,4	16,1	32	14,4	35,2	130,3

В качестве процедуры скрещивания разобьем генетический код каждого варианта «предка» на отдельные блоки, число которых ($r = 2$), т. е. меньше N . В этом случае каждому варианту соответствуют два блока по три генетических признака в каждом. Пронумеруем их, как показано на рис. 2, а ниже перечислим результаты скрещивания.

Вариант 1							Вариант 2							Вариант 3					
1	2	-	-	-	-		-	-	3	4	-	-		-	-	-	-	5	6
1	4	-	-	-	-		-	-	3	2	-	-		-	-	-	-	5	2
1	6	-	-	-	-		-	-	3	6	-	-		-	-	-	-	5	4

Рис. 2. Множество потомков после скрещивания при $N = 3, r = 2$
Fig. 2. Variety of descendants after crossing with $N = 3, r = 2$

Из рис. 2 видно, что получилось 9 «потомков». В качестве процедуры мутации заменим назначенный случайным образом один из генетических признаков другим, т. е. пусть число мутируемых признаков ($\phi = 1$). При этом мутации будут подвергаться все «потомки», полученные после «скрещивания». Пользуясь логикой одной непротиворечивой замены другой, произведем замену признаков по следующему правилу:

$$\begin{aligned}
 &\text{вместо } j = 1 \text{ поставим } j = 2; \\
 &\text{вместо } j = 2 \text{ поставим } j = 3; \\
 &\text{вместо } j = 3 \text{ поставим } j = 1.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Таким образом, вместе с исходными вариантами получилось 9 мутаций на одном шаге эволюции. Процедуру отбора лучших вариантов, входящих в новую «элику», проведем с помо-

щью формулы (5) – оценка несовершенства качества каждого из 9-ти «потомков» после «скрещивания» и 9-ти «потомков» после мутации. Из полученных 18 оценок выберем три с наименьшей величиной потерь, которые и будут лучшими представителями в анализируемом поколении. Необходимо отметить, что на одном шаге (v) эволюции может быть устранен только один несовершенный признак, поэтому для его устранения необходимо произвести $0,5n$ попыток (шагов). Так как число «потомков» при «скрещивании» и мутации одинаково и равно N^r , можно получить следующую общую формулу подсчета среднего числа (L) вычислений суммированных оценок $J_0 = \sum_{i=1}^n J_i$ для каждого представителя на всех шагах эволюции:

$$L = 0,5n^2 N (N^{r-1} + n + 1). \quad (7)$$

При $n = 6, r = 2; N = 3; \varphi = 1$ получим $L = 540$, что меньше, чем полный перебор всех вариантов $N^n = 729$. Число попыток (v) при удачном выборе начальной «элиты» невелико и не превосходит n .

На рис. 3 представлена укрупненная блок-схема генетического алгоритма.

Результаты моделирования на одном шаге эволюции представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, итоговая сумма локальных критериев после удачной мутации на первом шаге эволюции составила минимум потерь. Для получения достигнутого результата понадобилось сформировать 9 «потомков» при «скрещивании» и 18 при мутации – всего 27 представителей одного поколения. Более детальный анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

– минимальная задержка вылета и прилета после оптимизации корректирующих воздействий для условий данной задачи составляет не более 26 мин;

– за счет применения генетического алгоритма для оптимизации решений авиадиспетчера по управлению потоком прилет-вылет экономия топлива на дополнительные задержки может составить 40 %.

Таблица 3
Table 3

J_i / i	1	2	3	4	5	6	$\sum_{i=1}^6 J_i$
Отбор после скрещивания	21,2	17,4	16,1	24,8	14,4	35,2	119,1
Отбор после мутации	21,2	13,3	16,1	24,8	14,4	35,2	115

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложенный генетический алгоритм оказался эффективным средством повышения качества коррекции потока прилетающих и вылетающих ВС в районе аэродрома и на его площади маневрирования. Основной эффект состоит в экономии дополнительных затрат топлива в результате оптимального управления с условием обеспечения БП.

2. Невысокая трудоемкость вычислений по генетическому алгоритму позволяет применять данный механизм оптимизации на практике в условиях повышенной интенсивности прилета и вылета на конкретном аэродроме.

3. Для строгого учета взаимовлияния пар конфликтующих между собой ВС целесообразно использовать более совершенные математические модели воссоздания динамической обстановки в районе аэродрома, в частности, используя теорию марковских цепей и теорию массового обслуживания.

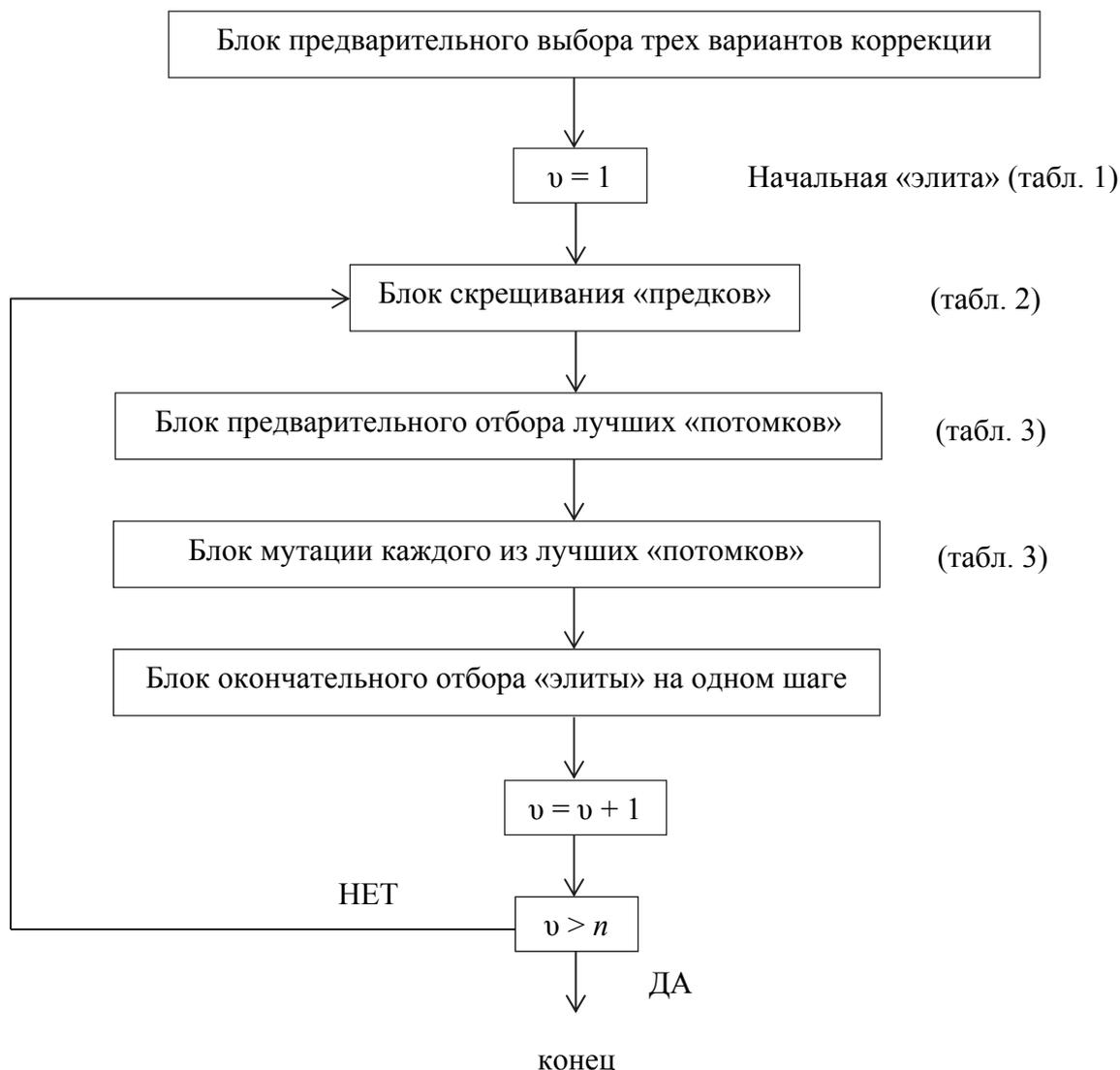


Рис. 3. Блок-схема генетического алгоритма
Fig. 3. The flow chart of the genetic algorithm

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев Г.Н. и др. Теория оптимальных систем. М.: МАИ, 1993. 317 с.
2. Соболев Е.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Наука, 1981. 110 с.
3. Лебедев Г.Н. и др. Планирование работы компьютерных систем индивидуального обучения и повышение их эффективности // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. № 11. С. 47–54.
4. Зайцев А.В., Талиманчук Л.Л. Интеллектуальная система принятия решений для оценки научной деятельности на основе многосегментной системы // Нейрокомпьютеры. 2008. № 7. С. 85–88.
5. Лебедев Г.Н., Балашова Н.М. Интеллектуальные системы управления. М.: МГГУ, 2000. 117 с.
6. Лебедев Г.Н., Мирзоян Л.А. Нейросетевое планирование действий по облету наземных объектов группой летательных аппаратов // Авиакосмическое приборостроение. 2005. № 12.
7. Лебедев Г.Н., Румакина А.В. Нейросетевое планирование маршрута разновысотного полета беспилотного летательного аппарата // Авиакосмическое приборостроение. 2014. № 5. С. 3–8.

8. Лебедев Г.Н., Румакина А.В. Система логического управления обходом препятствий беспилотным летательным аппаратом при маршрутном полете // Электронный журнал «Труды МАИ». 2015. № 83.

9. Нейросетевая реализация автоматического управления безопасной посадкой беспилотного летательного аппарата / А.В. Кузин, Д.В. Курмаков, А.В. Лукьянов, Д.А. Михайлин // Электронный журнал «Труды МАИ». 2013. № 70.

10. Лебедев Г.Н., Малыгин В.Б., Нечаев Е.Е. Алгоритм назначения приоритетной очередности случайно расположенным в пространстве воздушным судам для выхода на стандартный маршрут прибытия // Научный Вестник МГТУ ГА. 2013. № 198. С. 31–36.

11. Управление полетом пассажирских самолетов при пересечении их маршрутов во время захода на посадку / Г.Н. Лебедев, П.Ч. Тин, М.Т. Зо, А.В. Медведев // Электронный журнал «Труды МАИ». 2013. № 63.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Лебедев Георгий Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «системы автоматического и интеллектуального управления» Московского авиационного института (национального исследовательского университета), e-mail: kaf301@mai.ru.

Малыгин Вячеслав Борисович, авиадиспетчер МЦ АУВД, e-mail: mbv898@ya.ru.

Михайлин Денис Александрович, кандидат технических наук, доцент Московского авиационного института (НИУ) e-mail: tau_301@mail.ru.

PROBLEM SETTING AND SOLUTION OF THE RESPONSE CORRECTION OF ARRIVAL AND DEPARTURE AIR TRAFFIC FLOW IN THE VICINITY OF THE FIELD BY MEANS OF THE GENETIC ALGORITHM

Georgii N. Lebedev¹, Vyacheslav B. Malygin², Denis A. Mikhaylin¹

¹*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia*

²*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

ABSTRACT

The improvement in the effectiveness of airfield operation largely depends on the problem solving quality on the interaction boundaries of different technological sections. One of such hotspots is the use of the same runway by inbound and outbound aircraft. At certain intensity of outbound and inbound air traffic flow the conflict of aircraft interests appears, where it may be quite difficult to sort out priorities even for experienced controllers, in consequence of which mistakes in decision-making unavoidably appear.

In this work the task of response correction of landing and takeoff time of the aircraft using the same RW, in condition of the conflict of interests “arrival – departure” at the increased operating intensity is formulated. The choice of optimal solution is made taking into account mutual interests without the complete sorting and the evaluation of all solutions.

Accordingly, the genetic algorithm, which offers a simple and effective approach to optimal control problem solution by providing flight safety at an acceptably high level, is proposed. The estimation of additional aviation fuel consumption is used as optimal choice evaluation criterion.

The advantages of the genetic algorithm application at decision-making in comparison with today’s “team” solution of the conflict “departure – arrival” in the airfield area are shown.

Key words: safety control, optimal control, aircraft, genetic algorithm, the conflict “departure – arrival”.

REFERENCES

1. **Lebedev G.N. et al.** *Teoriya optimalnyh sistem* [The theory of optimum systems]. Moscow, MAI, 1993, 317 p. (in Russian)
2. **Sobol E.M., Statnikov R.B.** *Vybor optimalnyh parametrov v zadachah so mnogimi kriteriyami* [The selection of the optimum parameters in tasks with many criteria]. Moscow, Science, 1981, 110 p. (in Russian)
3. **Lebedev G.N. et al.** *Planirovanie raboty kompyuternykh sistem individualnogo obucheniya I povyshenie ih effektivnosti* [Planning of the work of the computer systems of individual training and an increase in their effectiveness]. The Bulletin of Computer and Information Technologies, 2009, no 11, pp. 47–54. (in Russian)
4. **Zaytsev A.V., Talimanchuk L.L.** *Intellectualnaya sistema prinyatiya resheniy dlya otsenki nauchnoy deyatel'nosti na osnove mnogosegmentnoy sistemy* [Intellectual system of decision making for evaluating the scientific activity on the basis of the multisegment system]. Neurocomputers, 2008, no. 7, pp. 85–88. (in Russian)
5. **Lebedev G.N., Balashov N.M.** *Intellektualnye sistemy upravleniya* [Intellectual systems for control]. M., MGGU, 2000, 117 p. (in Russian)
6. **Lebedev G.N., Mirzojan L.A.** *Neyrosetevoe planirovanie deystviy po obletu nazemnykh obektov gruppy letatelnykh apparatov* [Neural network action planning to fly around ground objects by a group of aircraft]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie*, 2005, no. 12. (in Russian)
7. **Lebedev G.N., Rumakina A.V.** *Neyrosetevoe planirovanie marshruta raznovyisotnogo poleta bespilotnogo letatel'nogo apparata* [Neural network path planning of a vari-level unmanned aircraft]. *Aviakosmicheskoe priborostroenie*, 2014, no. 5, pp. 3–8. (in Russian)
8. **Lebedev G.N., Rumakina A.V.** *Sistema logicheskogo upravleniya obodom prep'yatstviy bespilotnyim letatel'nyim apparatom pri marshrutnom polete* [The logical control system with obstacle avoidance of an unmanned aircraft in flight route]. *Elektronnyy zhurnal «Trudy MAI»* [Journal “Trudy MAI”], 2015, no. 83. (in Russian)
9. **Kuzin A.V., Kurmakov D.V., Lukyanov A.V., Mihajlin D.A.** *Neyrosetevaya realizatsiya avtomaticheskogo upravleniya bezopasnoy posadkoy bespilotnogo letatel'nogo apparata* [The neural network implementation of the automatic control over the safe landing of an unmanned aircraft]. *Elektronnyy zhurnal «Trudy MAI»* [Journal “Trudy MAI”], 2013, no. 70. (in Russian)
10. **Lebedev G.N., Malygin V.B., Nechaev E.E.** *Algoritm naznacheniya prioritetnoy ocherednosti sluchayno raspolozhennyim v prostranstve vozdukhnyim sudam dlya vyihoda na standartnyy marshrut pribyitiya* [The algorithm used to assign the priority sequence randomly located in space aircraft for exit to the standard arrival route]. The Scientific Bulletin of MSTUCA, 2013, no. 198, pp. 31–36. (in Russian)
11. **Lebedev G.N., Tin P.Ch., Zo M.T., Medvedev A.V.** *Upravlenie poletom passazhirskikh samoletov pri peresechenii ih marshrutov vo vremya zahoda na posadku* [Flight control passenger aircraft crossing their routes during landing]. *Elektronnyy zhurnal «Trudy MAI»*, 2013, no. 63. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Georgii N. Lebedev, Doctor of Technical Sciences, Professor of Automatic and Intelligent Control Chair of Moscow Aviation Institute (National research university), kaf301@mai.ru.

Vyacheslav B. Malygin, Air Traffic Controller in Moscow Air Traffic Control Centre, mbv898@ya.ru.

Denis A. Mikhaylin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Moscow Aviation Institute (National Research University), tau_301@mail.ru.

Поступила в редакцию 21.02.2017
Принята в печать 25.05.2017

Received 21.02.2017
Accepted for publication 25.05.2017