

УДК 05.22.14

DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-5-67-78

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ ПИЛОТОВ И КУРСАНТОВ С ЦЕЛЬЮ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИКАЦИИ КЛАССИЧЕСКОГО МЕТОДА «РОЯ» (PSO)

В.В. ЮРАСОВ<sup>1</sup>, Л.А. ЮРАСОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сасовское летное училище гражданской авиации, г. Сасово, Россия

<sup>2</sup>Росгидромет, г. Москва, Россия

В статье обосновывается использование модификации классического метода «Роя» для оптимизации задачи подготовки пилотов на авиационных тренажёрах. На основе идентификации специфики гарантирования безопасности полетов в задаче тренажерной подготовки пилотов показаны особенности имитационного моделирования с использованием современных моделей оптимизации для долгосрочного количественного прогноза случайных процессов. Автором доказано, что в классических методах оптимизации в авиации опорные функции, входные и выходные переменные, а также классы уравнений определяются самим автором модели. Данные обстоятельства ведут к тому, что полученные модели не имеют достаточной гибкости, что в свою очередь влияет на их поведение при добавлении новой точки данных. Повышение точности и ввод дополнительных переменных в задачи оптимизации безопасности решен на основе методики «Роя». На основе метода математического моделирования показаны возможности метода PSO для идентификации качественных показателей нового уровня с целью гарантирования безопасности полетов. Метод группового учета аргументов представляет собой оригинальный метод для решения задач, в которых требуется структурно-параметрическая идентификация моделей. Авторский подход к задаче оптимизации состоит в учете качественных показателей в условиях авиационного события на тренажёрах. На основе математического аппарата создана динамическая модель на основе классического метода «Роя». Полученные результаты отличаются высокой точностью, что соответствует международным правилам гарантирования безопасности полетов и подготовке пилотов ICAO и SHEL. Следовательно, метод группового учета аргументов будет являться эффективным математическим аппаратом для построения модели тренажерных процедур.

**Ключевые слова:** метод «Роя», метод PSO, задача оптимизации, безопасность полетов, авиационные тренажеры, подготовка пилотов.

### ВВЕДЕНИЕ

Согласно прогнозам, к 2018 году в мире ожидается дефицит 200000 пилотов и 400000 технических специалистов, что является беспрецедентным для истории авиационной отрасли [1]. Задача для мирового авиационного сообщества: привлечение и удержание компетентного персонала, воспитание нового поколения авиационных специалистов, создание современной системы подготовки пилотов, авиадиспетчеров, технического и управленческого персонала. Вопрос наличия компетентных человеческих ресурсов является ключевым для реализации Глобального плана обеспечения безопасности полетов [2]. Первым шагом реализации стратегии в отношении подготовки нового поколения авиационных специалистов (NGAP) стало создание в мае 2009 года на уровне ИКАО Целевой группы NGAP. В одном из выводов группы [3] акцентируется внимание на том, что нормативные рамки должны обеспечивать возможность применения современных методологических и технических средств подготовки персонала, которые ориентированы на квалификационные требования, основанные на накопленном опыте, и широко используют средства моделирования.

### МЕТОДЫ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выбор необходимого метода исследования определяется совокупностью показателей и критериев, при помощи которых дается оценка качества проведения исследуемого процесса.

В представленной работе предлагается создать модель тренажерных процедур, которая будет основана на автоматическом выборе системой предстоящего упражнения (или его модификации) на основании того, насколько эффективно (успешно) курсант справился с предыдущими задачами (упражнениями) на данном тренажере. Исследование построено на математической модели тренажерных процедур, которая отражает выбор системой оптимального режима обучения для каждого конкретного курсанта на основе метода «Роя». В качестве параметра, характеризующего успешность прохождения определенного упражнения (или комплекса упражнений), будет выступать вектор значений успешности для определенного курсанта на основе факторов навыков (+) и антинавыков (-). Данная модель позволит минимизировать время обучения курсанта на тренажере при заданном уровне качества обучения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной причиной авиационных событий при действии на экипаж нескольких негативных факторов являются действия самого экипажа. Отметим, что в обычных условиях эти действия правильные. Но дело в том, что вся методика обучения пилотов противодействию факторным нагрузкам сводится к количественной оценке числа и количественной оценке действий и реакции пилотов в результате отказов. Эти системные методы в инженерной психологии и эргономике сегодня встречаются со значительными теоретическими и практическими трудностями, несмотря на то, что в решение задач с помощью системного анализа вкладывается значительное количество сил и средств. Попытки организаций расширить количество системных специалистов по человеческому фактору для проведения анализа и выдачи соответствующих рекомендаций не приводят к желаемым результатам, а именно уменьшению доли авиационных происшествий по причине человеческого фактора. Переход от системных к процессным исследованиям способен устранить эти теоретико-практические трудности и повысить эффективность всего направления исследований влияния человеческого фактора в целом. Новизна постановки этой стратегической научной проблемы заключается в том, что речь идет не о количественном изменении доли авиационных событий, которые приходится на долю человеческого фактора, не о частичной оптимизации, а о качественном изменении общей тенденции относительно влияния человеческого фактора на авиационные события еще на стадии тренажерной подготовки пилотов.

С этой целью необходимо использовать комплексный процессный анализ, который основывается на общей теории процессов, теории общей статистики, обоснованной теории оптимизации и других теориях процессной концепции.

Важно учесть, что на основе базовых требований (минимальных стандартов) по уровням квалификации пилотов, опыта, порядка подготовки, выдачи и признания свидетельств (Приложение 1 к Чикагской Конвенции [4]) построены соответствующие американские и европейские требования [5, 6], которые используются национальными авиационными администрациями государств мира. В [4] устанавливаются уровни компетенции пилота многочленного экипажа, для оценки уровня знаний и навыков которого предлагается использовать критерии эффективности. Документ предлагает методику разработки учебных программ для получения свидетельства пилота многочленного экипажа (MPL), которая базируется на квалификационном подходе. Но требования перечисленных нормативных документов носят декларативный характер, что не позволяет обосновывать оптимальные решения относительно стратегии обучения пилотов. Процессы обучения являются динамическими и высоко ценными. Следовательно, существующие нормативные документы по подготовке пилотов носят декларативный характер и нуждаются в сочетании с математическими процедурами для оперативной достоверной оценки уровня подготовки пилотов и для построения оптимальных программ подготовки пилотов. Предложенные решения позволят сделать переход к математической формализации требований нормативных документов с целью дальнейшей оптимизации процесса подготовки пилотов еще на начальном уровне тренажерной подготовки. Дальнейшие исследования должны быть направле-

ны на математическую формализацию основных квалификационных элементов MPL (угроз, ошибок и нежелательных состояний) и процессов, которые их связывают для гарантирования безопасности полетов в процессе тренажерной подготовки пилотов.

Несмотря на наличие таких научных направлений, как исследование операций и системный анализ, в настоящее время отсутствует обобщенная методика оценки эффективности процессов тренажерной подготовки, за исключением оценки экономической эффективности. Важным является изучение взаимосвязей безопасности полетов с эффектами факторных действий: как последовательного действия, так и одновременного взаимодействия факторов. Особенность таких факторов заключается в том, что критериями эффективности тренажерной подготовки при управлении безопасностью полета при подготовке пилотов является метод факторных накладок и учета влияния полифакторности [7, 8]. Такая постановка задач и могла возникнуть только при использовании процессного подхода.

В соответствии с [9] авторский процессный подход – это научно-методологический подход, использующий общую теорию процессов как теоретическое основание и применяемый принцип двусторонности процессов как центральный принцип процессной аналитики.

Таким образом, необходимо обучать пилотов не только действиям, но и противодействиям в особых ситуациях полета. Следует отметить, что широко распространенная программа ИКАО SHELL данный принцип применяет. В соответствии с положениями руководства ИКАО по предотвращению авиационных событий предупредительные меры по их возникновению должны быть направлены на устранение всех опасных факторов в рамках авиационной системы независимо от их происхождения. Значительного повышения безопасности полетов можно добиться, улучшив качество подготовки пилотов, введя специальные параметрические переменные компоненты.

Выбор параметров математической модели основывается на учете функции выбора системой оптимального режима обучения для каждого конкретного курсанта. Данная модель позволит минимизировать время подготовки пилотов для обеспечения более надежных результатов обучения на тренажере при заданном уровне безопасности имитируемых событий.

В качестве параметра, характеризующего успешность прохождения определенного упражнения (или комплекса упражнений), будет выступать вектор значений успешности для определенного курсанта:

$$F_j = R_j P_j. \quad (1)$$

Тогда обобщенно математическую модель тренажерных процедур можно представить в виде следующей функции:

$$S_j = \text{opt} \left( f \left( F_1, F_2, \dots, F_j \right) \right), \quad (2)$$

где  $S_j$  – текущее упражнение;  $f \left( F_1, F_2, \dots, F_j \right)$  – множество функций успешности прохождения предыдущих упражнений вплоть до  $j$ -го;  $\text{opt}$  – оператор поиска оптимальной функции  $f$  из имеющегося множества.

Основной задачей в представленной модели является выбор наиболее рационального способа оптимизации. Особое место среди них принадлежит алгоритму оптимизации роем частиц (Particle Swarm Optimization – PSO) [10], что обусловлено возможностью его применения для эффективного решения широкого круга задач оптимизации, в том числе непрерывной, дискретной, комбинаторной и многокритериальной.

Выбор метода связан с тем, что алгоритм оптимизации роем частиц PSO (Particle Swarm Optimization) относится к бионическим мультиагентным методам глобальной оптимизации, мо-

делирующим социальное поведение взаимодействующих агентов. Таким образом, методика адаптивна к системе «человек – машина» в условиях подготовки пилотов.

Классическая методика PSO основывается на каноническом алгоритме непрерывной оптимизации. Задача безусловной глобальной оптимизации формулируется как задача минимизации целевой функции  $f(\mathbf{X})$  в пространстве поиска  $\mathbf{D}$ :

$$f(\mathbf{X}) \rightarrow \min, \mathbf{X} \in \mathbf{D} = \{\mathbf{x} \in R^d\}, \quad (3)$$

где область  $\mathbf{D}$  представляет собой вещественный гиперкуб с размерностью  $d$ ,  $\mathbf{X}$  – векторный аргумент оптимизируемой функции  $f$ , а ее глобальное решение достигается в точке  $\mathbf{X}^*$ .

В методе PSO рой частиц представляет собой совокупность точек-решений, перемещающихся в пространстве в поисках глобального оптимума.

При своем движении частицы пытаются улучшить найденное ими ранее решение и обмениваются информацией со своими соседями.

Обозначим совокупность позиций частиц роя через

$$\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_S\}, \quad (4)$$

где  $S$  – количество частиц в рое. Под позицией  $i$ -й частицы понимается совокупность ее координат  $(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})$  в пространстве поиска размерностью  $d$ ;  $i = \overline{1, S}$ . При проведении оптимизации обычно достаточно 10–30 частиц.

Рой дает возможность найти глобальный оптимум, даже когда число частиц в нем меньше размерности  $d$  пространства поиска.

На начальном этапе работы алгоритма PSO производится случайная инициализация роя частиц. Если отсутствует какая-либо априорная информация об оптимизируемой функции, то проще всего начальные положения частиц генерировать по формуле:

$$x_{ij} = rand(x_{j\min}, x_{j\max}), \quad (5)$$

где  $x_{ij}$  –  $j$ -я координата  $i$ -й частицы;  $rand(x_{j\min}, x_{j\max})$  – случайное число с равномерным законом распределения на интервале, определяющем границы пространства поиска для  $j$ -го измерения.

С роем частиц также ассоциируется множество векторов их скоростей:

$$\mathbf{V} = \{\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_S\}. \quad (6)$$

На начальном этапе все скорости можно считать равными нулю.

Однако практика показывает, что более хорошие результаты дает формула [11]

$$v_{ij} = \frac{rand(x_{j\min}, x_{j\max}) - x_{ij}}{2}, \quad (7)$$

где  $v_{ij}$  –  $j$ -я компонента скорости  $i$ -й частицы. Такой метод задания начальных скоростей гарантирует, что на следующей итерации алгоритма ни одна из частиц не выйдет за пределы пространства поиска.

Величина когнитивного коэффициента с характеризует степень индивидуального поведения частицы и ее стремление возвращаться к наилучшему найденному ею ранее решению, в то время как значение социального коэффициента  $c_2$  задает степень коллективного поведения и стремление двигаться в сторону наилучшего решения ее соседей (рис. 1).

На рис. 1 через  $\mathbf{v}_p = c_1 r_1 (\mathbf{p} - \mathbf{x})$  и  $\mathbf{v}_g = c_2 r_2 (\mathbf{g} - \mathbf{x})$  обозначены соответственно когнитивный и социальный компоненты новой скорости частицы. Случайные числа  $r_1, r_2$  вносят в поиск элемент случайности.

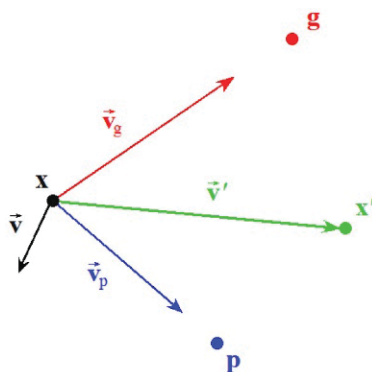


Рис. 1. Геометрическая иллюстрация правила обновления скоростей  
Fig. 1. Geometrical illustration of velocity updating rule

Рой обладает памятью о наилучших решениях, найденных его отдельными частицами и всем роем в целом. Во время инициализации начальные позиции частиц считаются наилучшими. На каждой последующей итерации алгоритма PSO после применения формул (6), (7) индивидуальные лучшие позиции каждой частицы  $\mathbf{p}_i$  и наилучшее найденное роем решение  $\mathbf{g}$  обновляются по правилам

$$\begin{cases} \mathbf{p}_i = \mathbf{x}_i, & \text{если } f(\mathbf{x}_i) < f(\mathbf{p}_i), \\ \mathbf{g} = \mathbf{p}_i, & \text{если } f(\mathbf{p}_i) < f(\mathbf{g}). \end{cases} \quad (8)$$

Так как наилучшей топологии связей между частицами роя, подходящей для любой задачи оптимизации, не существует, то часто используется случайная топология, которая может меняться от итерации к итерации [12].

Для определения соседства применяется матрица инцидентности  $\mathbf{L}$  размера  $s \times s$ , элементы которой  $L_{ij} = 1$  в случае, когда частица  $j$  информирует частицу  $i$ , и  $L_{ij} = 0$  в противном случае.

Следует заметить, что данная матрица в общем случае несимметрична, то есть из того, что  $i$ -я частица информирует  $j$ -ю, не следует наличие обратного обмена информацией о найденном наилучшем решении.

Для мультимодальных задач и задач высокой размерности желательно, чтобы среднее число соседей у частицы было не очень велико. С другой стороны, увеличение количества информаторов обычно увеличивает скорость сходимости алгоритма. А иногда полезно, чтобы частица какое-то время совсем не имела соседей и проводила только локальный поиск вокруг своего наилучшего решения  $\mathbf{p}$ , найденного на прошлых итерациях. Поэтому, исходя из этих соображений, для получения лучших результатов более разумно использовать переменное количество информаторов.

На рис. 2 показан пример случайной топологии соседства в рое, состоящем из 10 частиц, который разбит на три подроя:  $\{1,2,5,8\}$ ,  $\{3,4,6,9,10\}$  и  $\{7\}$ . Последний подрой состоит всего из одной частицы, которая производит лишь локальный поиск решения в ее окрестности.

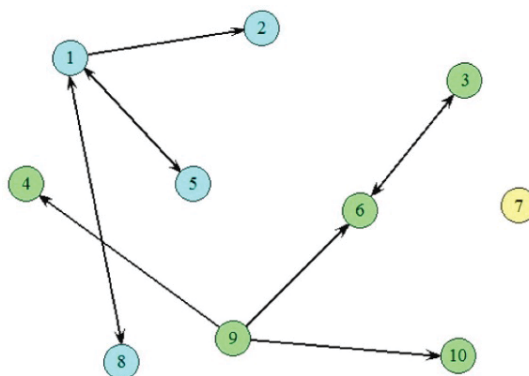


Рис. 2. Пример случайной организации связей между частицами  
Fig. 2. Example of random linking between the particles

В рассматриваемом примере каждая частица в среднем имеет по одному информатору. В топологии присутствуют как односторонние, так и двухсторонние связи. Частица 9, хотя и информирует другие три частицы, сама информаторов не имеет. Соответствующая этому случаю матрица связей представлена в следующем виде:

$$L = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

Топология связей не остается одной и той же в течение всей работы алгоритма, а периодически меняется. В данном алгоритме оптимизации связи между частицами обновляются, если по завершении текущей итерации не произошло улучшения глобального решения роя  $g$ . Эта ситуация может свидетельствовать о том, что случайно сгенерированная топология оказалась неудачной и, следовательно, ее нужно изменить, или же имеющиеся подрой уже нашли свои локальные оптимумы, и, для обеспечения глобального поиска, необходимо перестроить связи.

Таким образом, на основе классического метода следует ввести параметры оптимизации. При случайной организации связей каждая частица должна информировать не более  $K$  других частиц. Для этой цели в матрице связей  $L$  в каждом столбце  $j$  выбирается случайным образом  $K$  информируемых частиц  $i$ , причем не исключается вероятность повторного выбора. Все частицы роя информируют сами себя, поэтому для элементов главной диагонали матрицы инцидентности  $L_{ii} = 1$ . При таком способе инициализации связей каждая  $j$ -я частица может одновременно информировать от 1 до  $K + 1$  частиц, а произвольная  $i$ -я частица может иметь от 1 до  $s$  информаторов, но с неравномерно распределенной вероятностью.

Вероятность  $p(n)$  того, что частица имеет ровно  $n$  информаторов, включая себя, определяется по формуле [12]

$$p(n) = C_{s-1}^{n-1} \left( \frac{K}{s} \right)^{n-1} \left( 1 - \frac{K}{s} \right)^{s-n}, \quad (10)$$

где  $C_{s-1}^{n-1}$  – число сочетаний из  $(s - 1)$  элементов по  $(n - 1)$  элементу.

График распределения вероятности установки различного количества связей между частицами роя для нескольких значений  $K$  при размере роя  $s = 20$  показан на рис. 3.

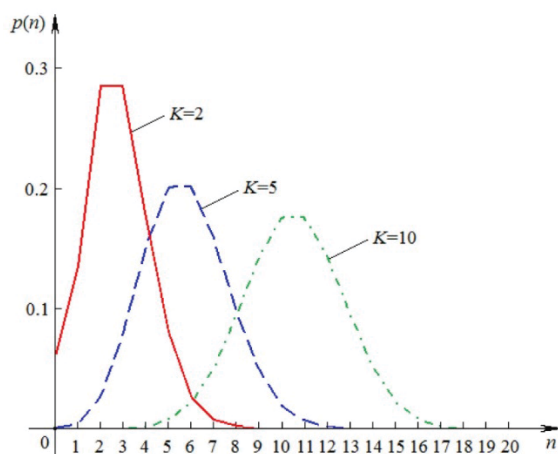


Рис. 3. Распределение вероятности установки  $n$  связей  
 Fig. 3. Probability distribution of connections installation

Из графика видно, что с наибольшей вероятностью у каждой частицы будет около  $K$  информаторов, однако их количество может быть и меньше, что полезно для локального поиска, и больше, что оказывает благотворное влияние на глобальный поиск и скорость сходимости.

При использовании случайной динамически меняющейся топологии некоторые участки кода алгоритма усложняются:

```
// Инициализация роя
...
// Поиск номера лучшей частицы в рое
...
// Основная итерация алгоритма PSO (случайная топология)
improvement = 0
relink = true
Do
previous = fp[gbest]
// Обновление связей между частицами роя
if relink == true then
For i = 1 to s
For j = 1 to s
if i == j then L[i][j] = 1
else L[i][j] = 0
endif
Next j
Next i
For j = 1 to s
For k = 1 to K
i = rand(1, s)
L[i][j] = 1
Next j
Next i
```

```
improvement = 0
endif
// Обновление состояния роя
For i = 1 to s
lbest = i
fmin = fp[i]
// Поиск лучшего соседа
For neighbor = 1 to s
if L[i][neighbor] == 1 then
if fp[neighbor] < fmin then
fmin = fp[neighbor]
lbest = neighbor
endif
endif
Next neighbor
// Обновление скоростей и положений частиц
For j = 1 to d
r1 = rand(0, 1)
r2 = rand(0, 1)
v[i][j] = w*v[i][j] + c1*r1*(p[i][j] - x[i][j])
if (i != gbest) then
v[i][j] = v[i][j] + c2*r2*(p[gbest][j] - x[i][j])
endif
x[i][j] = x[i][j] + v[i][j]
// Проверка выхода за границы пространства поиска
...
Next j
Next i
// Обновление текущего лучшего решения частиц
...
// Обновление номера лучшей частицы роя
...
// Проверка факта улучшения решения роя
iffp[gbest] < previous then
improvement = improvement + 1
relink = false
else
relink = true
endif
// Обновить связи, если они не обновлялись долгое время
if improvement == threshold then relink = true
Until не выполнено условие останова
```

В псевдокоде символом « $\equiv$ » обозначена операция проверки на равенство.

Кроме обновления топологии связей после итерации алгоритма, не приведшей к улучшению решения, найденного роем ранее, в код добавлена возможность регенерации связей между частицами в случае, если все последние threshold итераций были успешными.

Этот прием может быть полезным для предотвращения преждевременной сходимости роя к одному из локальных оптимумов. Универсального правила для выбора оптимального значения параметра threshold не существует, возможна лишь его оценка.



При случайной генерации одной связи для  $i$ -й частицы в рое размером  $s$ , вероятность того, что некоторая  $j$ -я окажется ее информатором, равна  $1/s$ , вероятность того, что она не будет выбрана, составляет  $1 - 1/s$ .

Тогда вероятность, что при установке  $K$  случайных связей (возможно с повторами) эта частица не попадет в список ее соседей, составит  $(1 - 1/s)^K$ .

В результате вероятность того, что  $j$ -я частица будет информатором  $i$ -й, имеет значение  $p = 1 - (1 - 1/s)^K$ .

Вероятность того, что  $j$ -я частица не станет информатором  $i$ -й по истечении  $t$  итераций алгоритма PSO, равна  $p = (1 - 1/s)^{Kt}$ .

Окончательно вероятность того, что после  $t$  итераций информация о найденном  $j$ -й частицей решении будет передана  $i$ -й, окажется равной

$$p = 1 - \left(1 - \frac{1}{s}\right)^{Kt} . \quad (11)$$

Эта вероятность увеличивается очень быстро с ростом  $t$ , поэтому при использовании случайной топологии параметр  $K$  не должен быть слишком большим, чтобы избежать чрезмерно быстрого распространения информации в рое, а значит, и возможности преждевременной сходимости к локальному решению. Согласно [12] при использовании случайной топологии для большинства случаев хороших результатов удается достичь при  $K = 3$  ( $s = 20$ ).

Из формулы (11) следует, что для того, чтобы произвольные две частицы роя обменялись информацией с вероятностью  $p$ , должно пройти количество итераций, вычисляемых согласно выражению

$$t = \frac{\ln \left[ \frac{\ln(1-p)}{\ln(1-1/s)} \right]}{\ln K} . \quad (12)$$

При большем среднем количестве соседей  $K$  значение параметра  $\text{threshold}$  должно быть меньше, т. к. увеличение количества связей между частицами приводит к более быстрому распространению информации в рое.

Существуют и другие типы топологии связей в рое, такие как топология «двумерный тор» (топология фон Неймана), топология «кластер» и другие, но они редко используются на практике, так как не имеют значительных преимуществ перед описанными способами организации связей между частицами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В классических методах оптимизации в авиации опорные функции, входные и выходные переменные, а также классы уравнений определяются самим автором модели. Данные обстоятельства ведут к тому, что полученные модели не имеют достаточной гибкости, что в свою очередь влияет на их поведение при добавлении новой точки данных. Повышение точности и ввод дополнительных переменных в задачи оптимизации безопасности решен на основе методики «Роя». На основе метода математического моделирования показаны возможности метода PSO для идентификации качественных показателей нового уровня с целью гарантирования безопасности полетов. Авторский подход к задаче оптимизации состоит в учете качественных показателей в условиях авиационного события на тренажёрах. На основе математического аппарата создана динамическая модель на основе классического метода «Роя». Полученные результаты

отличаются высокой точностью, что соответствует международным правилам гарантирования безопасности полетов и подготовке пилотов ICAO и SHEL.

### ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для решения задачи оптимизации система упражнений на тренажёре при подготовке пилотов решена с помощью метода группового учета аргументов. Адаптация для этих целей классического метода «Роя» представляет собой оригинальный метод для решения задач, в которых требуется структурно-параметрическая идентификация факторов антинавыков для решения задачи гарантирования безопасности полетов. Предложенная методика на основе PSO обладает определенным разнообразием функционала, что затрагивает все этапы процесса моделирования. В этом состоят принципиальные отличия метода группового учета аргументов в сравнении с методами прикладного регрессионного анализа. Исходя из факта создания динамической модели, можно сделать вывод, что класс методов группового учета аргументов представляет собой достаточно эффективный инструмент, позволяющий реализовывать математические модели. Следовательно, метод группового учета аргументов будет являться эффективным математическим аппаратом для построения модели тренажерных процедур.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение авторского процессного подхода в методиках летного обучения обеспечивает переход на анализ двусторонности процесса подготовки пилотов, а не только оценку действий. Подготовка пилотов представлена как оптимизационная биопараметрическая модель, которая на основе алгоритма «Роя» позволяет учесть возникновение одновременно действующих негативных факторов, возникновения авиационных событий, связанных с человеческим фактором для обеспечения безопасности полетов. Сформированная математическая задача оптимизации решается численными методами на ПЭВМ с использованием имеющегося программного обеспечения. Полученные решения задачи позволят определять такую структуру подготовки каждого курсанта, который будет удовлетворять всем требованиям российских и международных стандартов при минимальном значении объемов необходимых затрат ресурсов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Opening remarks by the President of the Council of the International Civil Aviation Organization (ICAO), Mr. Roberto Kobeh Gonzalez: Next Generation of Aviation Professionals Symposium. Montreal, 2 March 2010.
2. Doc 10004. Глобальный план обеспечения безопасности полетов ИКАО, 2016. URL: [http://www.aviadocs.net/icaodocs/Docs/10004\\_ru.pdf](http://www.aviadocs.net/icaodocs/Docs/10004_ru.pdf) (дата обращения 01.07.2017).
3. Руководство по критериям оценки авиационных тренажеров. Doc 9625. 3-е изд. / Международная организация гражданской авиации ICAO, 2009.
4. Приложение 1 к Конвенции о международной гражданской авиации «Выдача свидетельств авиационному персоналу». 10-е изд. / Международная организация гражданской авиации ICAO, 2006.
5. Требования объединенной авиационной власти Европы к свидетельствам летного состава (JAR-FCL1, JAR-FCL2).
6. Airline Transport Pilot, Aircraft Dispatcher, and Flight Navigator Knowledge Test Guide February 2017. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration.
7. Хохлов Е.М. Критерии эффективности тренажерной подготовки при противодействии при управлении противодействиями и антинавыками пилотов методом факторных накладок // Эргономические методы аттестации рабочих мест и производственных процессов в гражданской авиации. К.: КИИГА, 1988. С. 8–14.

8. Грищенко Ю.В., Романенко В.Г., Положевец А.А. Математические аспекты решения задач учета большого количества факторов при эксплуатации авионики // Кибернетика и вычислительная техника. 2005. Вып. 146. С. 8–88.

9. Хохлов Е.М., Аль-Амори А. Авторский процессный подход. К.: МОНУ, 2006. 174 с.

10. Метаоптимизация роя частиц на основе метода дробного исчисления / И.Г. Дутова, В.А. Мохов, А.В. Кузнецова, В.А. Есаулов // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. С. 198.

11. Елисов Л.Н., Шмельков А.В. Компетентностный подход в системе менеджмента качества образовательных учреждений гражданской авиации: монография. М.: МГТУ ГА; ЕАТК, 2007. 174 с.

12. Ивахненко А.Г., Зайченко Ю.П., Дмитров В.Д. Принятие решений на основе самоорганизации. М.: Сов. Радио, 1976. 275 с.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Юрасов Виталий Викторович**, пилот – инструктор Сасовского лётного училища гражданской авиации, yurasov.vitaliy@mail.ru.

**Юрасова Людмила Алексеевна**, техник–метеоролог, Авиационные метеорологические телекоммуникации Российской гидрометеорологии, 25lyudmila85@mail.com.

### THE EFFICIENCY IMPROVING OF PILOTS AND CADETS TRAINING TO SAFETY CONTROL USING THE MODIFICATIONS OF CLASSICAL METHOD OF "ROY" (PSO)

Vitaliy V. Yurasov<sup>1</sup>, Lyudmila A. Yurasova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*The Sasovo Flying school of Civil Aviation (SFSCA), Sasovo, Russia*

<sup>2</sup>*Aeronautical Meteorological Telecommunications of the Russian Hydrometeorology,  
Moscow, Russia*

### ABSTRACT

The article explains the use of modifications the classical method PSO to optimize the training pilots task on aircraft simulators. Model is based on the identification of the specific guarantee of safety in the task of training pilots of the features of simulation with the use of modern optimization models for long-term quantitative forecast of random processes. The author proved that the classical optimization techniques to aircraft supporting function, the input and output variables, and classes of equations defined by the model author. These circumstances lead to the fact that the obtained models do not have sufficient flexibility that in turn affects their behavior when adding new data points. The increased accuracy and the introduction of additional variables in the optimization problem of security is solved based on the methodology PSO. On the basis of mathematical simulation shows the potential of the PSO for the identification of quality indicators of a new level for the purpose of guaranteeing flight safety. The method of group accounting of arguments presents an original method for solving problems that require structural and parametric identification of models. The author's approach to the problem of optimization consists in taking into account qualitative indicators in terms of aviation events at the gym. On the basis of the mathematical apparatus created a dynamic model based on the classical method PSO. The results obtained are of high precision in compliance with international regulations guaranteeing flight safety and pilot training ICAO and SHEL. Therefore, the method of group accounting of arguments will be effective mathematical tool to build the model and training procedures.

**Key words:** method of "Roy", PSO method, optimization problem, flight safety, aviation simulators, training of pilots.

### REFERENCES

1. Opening remarks by the President of the Council of the International Civil Aviation Organization (ICAO), Mr. Roberto Kobeh Gonzalez: Next Generation of Aviation Professionals Symposium. Montreal, 2 March 2010. (in Russian)

2. Doc 10004. ICAO Global aviation safety plan (GASP), 2016. URL: [http://www.aviadocs.net/icaodocs/Docs/10004\\_ru.pdf](http://www.aviadocs.net/icaodocs/Docs/10004_ru.pdf) (date of treatment: 01.07.2017). (in Russian).
3. Doc 9625, Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulation Training Devices Volume I. Aeroplanes. 3rd edition. International Civil Aviation Organization ICAO, 2009. (in Russian).
4. The Convention on International Civil Aviation. Annex 1 Personnel Licensing. 10-th edition. International Civil Aviation Organization ICAO, 2006. (in Russian)
5. Joint aviation authorities/ European aviation safety agency joint operation evaluation board report. (JAR-FCL1, JAR-FCL2). (in Russian)
6. Airline Transport Pilot, Aircraft Dispatcher, and Flight Navigator Knowledge Test Guide February 2017. U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration.
7. **Hohlov E.M.** *Kreterii effektivnosti trenazhornoj podgotovki pri protivodeystvii pri upravlenii protivodeystviyami i antinavikami pilotov metodom faktornykh nakladok* [The effectiveness criteria of simulator training in dealing with the management of reactions and antinomically pilots the factorial pads]. *Jergonomicheskie metody attestacii rabochih mest i proizvodstvennyh processov v grazhdanskoj aviacii* [Methods ergonomic assessment of workplaces and production processes in civil aviation]. K., Kniga, 1988, pp. 8–14. (in Russian)
8. **Grishhenko Ju.V., Romanenko V.G., Polozhevec A.A.** *Matematicheskie aspekty reshenija zadach ucheta bol'shogo kolichestva faktorov pri jekspluatacii avioniki* [Mathematical aspects of the task solution taking into account many factors in the operation of avionics]. *Kibernetika i vychislitel'naja tehnika* [Cybernetics and computing machinery], 2005, № 146, pp. 81–88. (in Russian)
9. **Hohlov E.M., Al'-Amori A.** *Avtorskij processnyj podhod* [The author's process approach]. K., MESU, 2006, 174 p. (in Russian)
10. **Dutova I.G., Mohov V.A., Kuznecova A.V., Esaulov V.A.** *Metaoptimizacija roja chastic na osnove metoda drobnogo ischislenija* [Metopimazine particle PSO optimization based on the method of fractional calculus]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija* [Modern problems of science and education], 2015, № 2, p. 198. (in Russian)
11. **Elisov L.N., Shmel'kov A.V.** *Kompetentnostnyj podhod v sisteme menedzhmenta kachestva obrazovatel'nyh uchrezhdenij grazhdanskoj aviacii: monografija* [Competence approach in the quality management system of educational institutions of civil aviation: monograph]. M., MGTUGA, EATK, 2007, p. 174. (in Russian)
12. **Ivahnenko A.G., Zajchenko Ju.P., Dmitrov V.D.** *Prinjatie reshenij na osnove samoorganizacii* [Decision-making based on self-organization]. M., Sov. Radio, 1976, p. 275. (in Russian)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Vitaliy V. Yurasov**, Pilot – Instructor, the Sasovo Flying School of Civil Aviation, [yurasov.vitaliy@mail.ru](mailto:yurasov.vitaliy@mail.ru).

**Lyudmila A. Yurasova**, Meteorological – Technician, Aeronautical Meteorological Telecommunications of the Russian, [25lyudmila85@mail.com](mailto:25lyudmila85@mail.com).

Поступила в редакцию 30.07.2017  
Принята в печать 20.09.2017

Received 30.07.2017  
Accepted for publication 20.09.2017