УДК 621.396.96
DOI: 10.26467/2079-0619-2020-23-4-72-83

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АВИАДИСПЕТЧЕРОВ И ПИЛОТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ДИСКРЕТНОЙ МАТЕМАТИКИ

А.И. СТЕПНОВА[1], В.И. КОЧЕРГИН[1], С.М. СТЕПАНОВ[1], В.А. БОРСОЕВ[2]
[1]Ульяновский институт гражданской авиации
имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, г. Ульяновск, Россия
[2]Институт аэронавигации, г. Москва, Россия

Целью статьи является создание базы данных ошибок и разработка алгоритма ситуационной модели принятия решения с учетом наличия потенциальной ошибки со стороны авиадиспетчера или пилота. В данной статье проведен подбор и анализ типовых ошибок авиадиспетчера и пилота, созданы массивы ошибок специалистов, а также составлены бинарные отношения ошибок, основанные на методах дискретной математики. Такое решение вызвано необходимостью формализации взаимодействия специалистов, поскольку по каждой ошибке авиадиспетчера можно сопоставить определенный набор ошибок пилота и наоборот. В случае дальнейшего углубленного анализа можно расширить базу данных путем добавления дополнительных массивов ошибок диспетчера смежного пункта, аэродромной службы, службы планирования и т.д. Цель сформирована после анализа особенности тренажерной подготовки в высших учебных заведениях. Особенность заключается в отсутствии опасных факторов при проведении тренажерной подготовки. Подготовка происходит по идеальной модели. Несомненно, такой подход нацелен на выработку правильного алгоритма действий в штатных или нештатных ситуациях, однако таким образом обучаемый не может отработать навыки принятия решения при наличии ошибки в идеальном алгоритме. При этом действующие специалисты сталкиваются с непреднамеренными ошибками каждый рабочий день, поэтому наличие опыта работы в данной области играет важную роль для минимизации влияния человеческого фактора на безопасность полетов. В нашем случае предлагается включить такой опасный фактор, как непреднамеренная ошибка в программе совместной подготовки авиадиспетчеров и пилотов, что позволит улучшить качество обучения специалистов.

Ключевые слова: авиадиспетчер, пилот, бинарные отношения, массивы ошибок, алгоритм принятия решений, безопасность полетов.

ВВЕДЕНИЕ

Для авиадиспетчеров и пилотов правильное принятие решения является залогом безопасности воздушного движения. В этом случае лицом, принимающим решение, является как авиадиспетчер, так и пилот, которые ответственны за выработку вариантов решения той или иной конфликтной ситуации [1]. В данном случае задачу принятия решения можно отнести к однокритериальной, поскольку решения направлены на достижение одной цели – безопасность воздушного движения.

В процессе принятия решений нельзя забывать о появлении непреднамеренных ошибок, вызванных человеком-оператором. Как известно, одна ошибка человека-оператора не должна приводить к инциденту или катастрофе. В большинстве случаев набор ошибок может привести к особым ситуациям. В данном случае рассматривается набор ошибок авиадиспетчера и пилота [2].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для разработки моделей, анализирующих ситуации с появлением ошибок, целесообразно использовать методы дискретной математики [3].

Ошибки пилотов и диспетчеров в работе представлены в виде множеств, элементами которых являются сами ошибки:

$$M_D = \{D_1, D_2, D_3 \dots D_i / D_1 \in M_D, D_2 \in M_D, \dots, D_i \in M_D\}$$
$$M_P = \{P_1, P_2, P_3 \dots P_j / P_1 \in M_P, P_2 \in M_P, \dots, P_j \in M_P\}, \quad (1)$$

где M_D – множество ошибок диспетчера;
M_P – множество ошибок пилота;
$D_1 \dots D_i$ – элементы множества ошибок диспетчера;
$P_1 \dots P_j$ – элементы множества ошибок пилота.

В нашем случае математическое моделирование позволит проследить тенденцию появления ошибок и выработать оптимальный метод принятия решений.

Множества являются основой для создания баз данных [4, 5]. Для этого были собраны типовые ошибки авиадиспетчеров и пилотов.

В табл. 1 приведены типовые ошибки авиадиспетчеров, а в табл. 2 типовые ошибки пилотов, каждому из которых присвоено обозначение элемента множества. Фрагменты таблиц приведены ниже.

Таблица 1
Table 1

Типовые ошибки авиадиспетчера
Typical error of the air traffic controller

Обозначение элемента множества	Расшифровка ошибки
D_1	диспетчер процедурного контроля неправильно нанес данные на график
D_2	диспетчер процедурного контроля неправильно рассчитал интервал между ВС
D_3	диспетчер процедурного контроля не согласовал условия входа воздушного судна со смежником
D_4	диспетчер процедурного контроля не передал информацию диспетчеру радиолокационного контроля об изменениях в работе запретных зон
D_5	диспетчер процедурного контроля не передал информацию диспетчеру радиолокационного контроля об изменениях в работе зон ограничений
D_6	диспетчер ПК (процедурного контроля) не передал информацию диспетчеру РЛК (радиолокационного контроля) о запуске метеозонда по маршруту
D_7	диспетчер ПК не передал информацию о закрытии аэропорта
D_8	диспетчер ПК отвлек диспетчера РЛК посторонними разговорами
D_9	диспетчер РЛК не запросил у диспетчера ПК информацию об изменениях в работе запретных зон
D_{10}	диспетчер РЛК не запросил у диспетчера ПК информацию об изменениях в работе зон ограничений
...	...
D_{39}	Диспетчер не проинформировал пилота об отказе связи

Составим декартовое произведение множеств $M_D \times M_P$:

$$M = \{(D_i, P_j)/D_i \in M_D, P_j \in M_P\}, \quad (2)$$

где (D_i, P_j) - последовательность ошибок, состоящая из двух элементов D_i и P_j.

Элементы D_i и P_jнаходятся в бинарных отношениях так как $(D_i, P_j) \in R_2$.

Таблица 2
Table 2

Типовые ошибки пилота
Typical error of the pilot

Обозначение элемента множества	Расшифровка ошибки
P_1	пилот не доложил пункт обязательного донесения при отсутствии вторичной радиолокации
P_2	пилот зажал кнопку
P_3	пилот снял наушники,
P_4	пилот вышел из кабины, оставив менее опытного коллегу за управлением воздушным судном в условиях сложной метеорологической обстановки
P_5	пилот передал неверную информацию о времени пролета, расчетном эшелоне на точку
P_6	пилот начал обход опасных метеоявлений без доклада диспетчеру
P_7	пилот начал снижение без доклада диспетчеру
P_8	второй пилот отвлек первого пилота посторонними разговорами
P_9	пилот не доложил о столкновении с метеозондом диспетчеру
P_{10}	пилот неправильно рассчитал запас топлива до запасного аэропорта
...	...
P_{37}	пилот не доложил диспетчеру об изменении маршрута следования

В нашем случае бинарное отношение состоит из 341 пары элементов, поэтому в статье приведен его фрагмент:

$$\begin{gathered} R_2 = \{(D_1, P_1), (D_1, P_2), (D_1, P_3), (D_1, P_4), (D_1, P_5), (D_1, P_6), (D_1, P_7), (D_1, P_{12}), \\ (D_1, P_{13}), (D_1, P_{25}), (D_1, P_{28}), (D_1, P_{37}), (D_2, P_2), (D_2, P_3), (D_2, P_4), (D_2, P_5), (D_2, P_6), \\ (D_2, P_8), (D_2, P_{12}), (D_2, P_{13}), (D_2, P_{24}), (D_2, P_{25}), (D_2, P_{34}), (D_2, P_{37}), (D_3, P_1), (D_3, P_5), \dots \\ \dots (D_{38}, P_{34}), (D_{38}, P_{37}), (D_{39}, P_1), (D_{39}, P_{12}), (D_{39}, P_{13}), (D_{39}, P_{25}), (D_{39}, P_{34}), (D_{39}, P_{37})\}. \end{gathered} \quad (3)$$

Таким образом, для каждой ошибки авиадиспетчера возможен ряд последующих ошибок пилота [6, 7]. Так, если, к примеру, диспетчер процедурного контроля неправильно нанес данные на график, то такая ошибка сопоставима с последующим рядом ошибок пилота. Пилот не доложил пункт обязательного донесения при отсутствии вторичной радиолокации, зажал кнопку, снял наушники, вышел из кабины, передал неверную информацию о времени пролета, начал обход опасных метеорологических явлений без доклада диспетчеру, начал снижение без доклада диспетчеру [8].

После наложения таких опасных факторов возможно неблагоприятное развитие событий в плане разведения воздушных судов (нарушение норм вертикального, бокового, горизонтального, временного эшелонирования, столкновение) [9].

Более наглядно приведенные бинарные отношения можно представить через фактор-множество всех возможных сочетаний ошибок:

$$\Big[\overset{D_1}{\{P_1,P_2,P_3,P_4,P_5,P_6,P_7,P_{12},P_{13},P_{25},P_{28},P_{37}\}}\overset{D_2}{\{P_2,P_3,P_4,P_5,P_6,P_8,P_{12},P_{13},P_{24},P_{25},P_{34},P_{37}\}} \overset{D_3}{\{P_1,P_5,P_6,P_7\}}\overset{D_4}{\{P_2,P_3,P_4,P_5,P_6,P_7,P_8,P_{14},P_{17},P_{20},P_{24},P_{28},P_{29},P_{34},P_{37}\}} \overset{D_5}{\{P_2,P_3,P_4,P_5,P_6,P_7,P_8,P_{14},P_{17},P_{20},P_{24},P_{28},P_{29},P_{34},P_{37}\}}\overset{D_6}{\{P_6,P_8,P_9,P_{14},P_{27},P_{28},P_{34}\}}\overset{D_7}{\{P_{10}\}}\cdots \cdots\overset{D_{37}}{\{P_2,P_6,P_8,P_{17},P_{19},P_{20},P_{26},P_{27},P_{34},P_{36},P_{37}\}}\ \overset{D_{38}}{\{P_2,P_6,P_{22},P_{24},P_{26},P_{27},P_{34},P_{37}\}}\Big]. \quad (4)$$

Такое бинарное отношение можно представить через матрицу смежности.

Однако для отображения полной картины необходимо рассматривать не только набор ошибок пилота или авиадиспетчера, которые могут повлиять на развитие ситуации, а также ошибки других служб и диспетчеров смежных диспетчерских пунктов [10, 11].

Для корректности модели введены дополнительные множества, такие, как множество ошибок служб M_S и множество ошибок смежников M_C. Каждое из множеств, также как и в случае ошибок авиадиспетчеров и пилотов, состоит из ряда элементов:

$$\begin{aligned} M_S &= \{S_1,\ S_2,\ S_3, \dots, S_k / S_1 \in M_s,\ S_2 \in M_s, \dots, S_k \in M_S\} \\ M_C &= \{C_1,\ C_2,\ C_3, \dots, C_q / C_1 \in M_C,\ C_2 \in M_C, \dots, C_q \in M_C\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Элементами множества M_S могут быть такие ошибки, как:

S_1 – ошибка инженера светотехнического обеспечения полетов (при проверке работоспособности оборудования не переключил резервное оборудование на основное);

S_2 – ошибка представителей зонального центра (специалистом выслан некорректный план воздушного судна);

S_3 – ошибка метеорологической службы (после поступления информации от диспетчера об опасных метеорологических явлениях в его зоне ответственности был составлен некорректный SIGMET (Significant Meteorological Information)) и т.д.

Элементами множества M_C могут быть такие ошибки, как:

C_1 – руководитель полетов не контролировал работу смены;

C_2 – старший диспетчер смены не контролировал работу смены;

C_3 – диспетчер смежного центра не проинформировал о неблагоприятной тенденции развития ситуации и т.д.

Если говорить об ошибках, то нельзя забывать о том, что большая часть ошибок исправляется этими же специалистами на начальном этапе без ухудшения безопасности полетов. Однако есть вероятность непринятия своевременного решения из-за дефицита времени, притупления внимания не только авиадиспетчером или пилотом, но и другими специалистами (службами и смежниками) [12, 13].

Для описания вводится дополнительные множества решений для специалистов:

$$\begin{aligned} M_{R_D} &= \{R_{D_1},\ R_{D_2}, R_{D_3}, \dots, R_{D_m} / R_{D_1} \in M_{R_D},\ R_{D_2} \in M_{R_D}, \dots, R_{D_m} \in M_{R_D}\} \\ M_{R_P} &= \{R_{P_1},\ R_{P_2}, R_{P_3}, \dots, R_{P_n} / R_{P_1} \in M_{R_P},\ R_{P_2} \in M_{R_P}, \dots, R_{Pn} \in M_{R_P}\} \\ M_{R_S} &= \{R_{S_1},\ R_{S_2}, R_{S_3}, \dots, R_{S_w} / R_{S_1} \in M_{R_S},\ R_{S_2} \in M_{R_S}, \dots, R_{S_w} \in M_{R_S}\} \\ M_{R_C} &= \{R_{C_1},\ R_{C_2}, R_{C_3}, \dots, R_{C_f} / R_{C_1} \in M_{R_C},\ R_{C_2} \in M_{R_C}, \dots, R_{C_f} \in M_{R_C}\}, \end{aligned} \quad (6)$$

где M_{R_D} – множество решений авиадиспетчера; M_{R_P} – множество решений пилота; M_{R_S} – множество решений служб; M_{R_C} – множество решений смежников.

Решения подобраны для каждого элемента множества ошибок авиадиспетчера и пилота и отображены во фрагментах табл. 3 и 4.

Таблица 3
Table 3

Исправления типовых ошибок авиадиспетчера
Correction of air traffic controller typical errors

Обозначение элемента множества	Расшифровка исправления
R_{D_1}	исправление ошибки на графике
R_{D_2}	перерасчет интервалов
R_{D_3}	вызов смежника для координации
R_{D_4}	запрос информации у зонального центра о работе запретной зоны
R_{D_5}	запрос информации у зонального центра о работе зоны ограничений
R_{D_6}	запрос информации у зонального центра о запуске метеозонда
R_{D_7}	запрос смежника о режиме работы аэропорта
R_{D_8}	контроль руководителя полетов или старшего диспетчера за работой смены
R_{D_9}	запрос информации у зонального центра о работе запретной зоны
$R_{D_{10}}$	запрос информации у зонального центра о работе зоны ограничений
...	...
$R_{D_{39}}$	контроль руководителя полетов или старшего диспетчера за работой смены

Таблица 4
Table 4

Исправления типовых ошибок пилота
Correction of pilot typical errors

Обозначение элемента множества	Расшифровка исправления
R_{P_1}	доклад пунктов обязательного донесения
R_{P_2}	контроль информации на приборной панели
R_{P_3}	контроль со стороны второго пилота
R_{P_4}	контроль со стороны второго пилота
R_{P_5}	перерасчет времени, эшелона полета
R_{P_6}	доклад диспетчеру о начале обхода
R_{P_7}	доклад диспетчеру о начале снижения
R_{P_8}	контроль за выполнением трудовой дисциплины
R_{P_9}	контроль второго пилота за действиями первого пилота
$R_{P_{10}}$	перерасчет запаса топлива вторым пилотом
...	...
$R_{P_{37}}$	контроль диспетчера смежной зоны за маршрутом следования воздушного судна

Для принятия решений по возможным вариантам предлагается использовать функции алгебры-логики или исчисления предикатов. Результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5
Table 5

Функции алгебры логики
Functions of logic algebra

D	P	S	C	$D \cap P$	$D \cap P \cap S$	$D \cap P \cap S \cap C$	$D \cup P$	$D \cup P \cup S$	$D \cap P \cup S$	$D \cup P \cap S$	$D \cup P \cup S \cup C$	$D \cap P \cup S \cup C$	$D \cup P \cap S \cup C$	$D \cup P \cup S \cap C$	$D \cap P \cap S \cup C$	$D \cap P \cup S \cap C$	$D \cup P \cap S \cap C$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

При этом 0 говорит об отсутствии ошибки, а 1 о ее наличии.

На основе имеющихся массивов ошибок и массивов решений можно составить логическую модель наличия или отсутствия конфликтной ситуации, которая представлена в табл. 6.

Таблица 6
Table 6

Логическая модель
Logical model

№	Состояние алгоритма	Логическое условие	Реакция объекта
1.	Отсутствие авиационного события	$R_{D_m} \cap \overline{R_{S_w}} \cap \overline{R_{P_n}} \cap \overline{R_{C_f}}$ $\overline{R_{D_m}} \cap R_{S_w} \cap \overline{R_{P_n}} \cap \overline{R_{C_f}}$ $\overline{R_{D_m}} \cap \overline{R_{S_w}} \cap R_{P_n} \cap \overline{R_{C_f}}$ $\overline{R_{D_m}} \cap \overline{R_{S_w}} \cap \overline{R_{P_n}} \cap R_{C_f}$	$\overline{K}$
2.	Наличие авиационного события	$\overline{R_{D_m}} \cap \overline{R_{S_w}} \cap \overline{R_{P_n}} \cap \overline{R_{C_f}}$	K

Исходя из логического условия программы операционно-логической тренировки, отсутствие авиационного события (после завершения операции будет отображаться в виде присвоенного знака $\overline{K}$) будет возможным при наличии решения одного из элементов последовательности: наличие исправления ошибки диспетчера R_{D_m}, наличие исправления ошибки пилота R_{P_n}, наличие исправления ошибки службы R_{S_w}, наличие исправления ошибки смежником R_{C_f} [14, 15].

Наличие авиационного события (после завершения операции будет отображаться в виде присвоенного знака K) будет возможным при отсутствии решения одного из элемента последовательности: отсутствие исправления ошибки диспетчера $\overline{R_{D_m}}$, либо отсутствие исправления ошибки пилота $\overline{R_{P_n}}$, либо отсутствие исправления ошибки службы $\overline{R_{S_w}}$, либо при отсутствии исправления ошибки смежником $\overline{R_{C_f}}$ [16].

На рис. 1 представлен и показан алгоритм для написания программы операционно-логической тренировки.

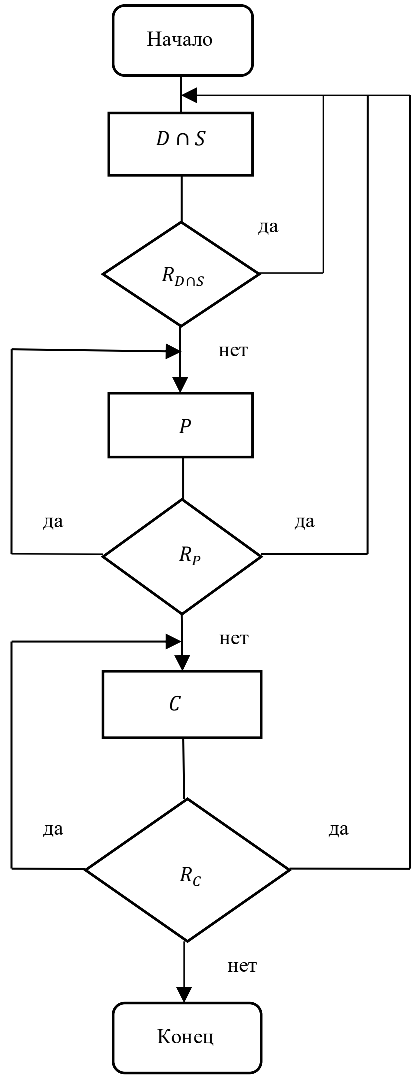

Рис. 1. Алгоритм работы программы операционно-логической тренировки
Fig. 1. The algorithm of the operational and logical training program

Операционная последовательность работы алгоритма:

1. Диспетчер D и авиационные службы S выполняют свои технологические операции с наличием ошибки (элементы D и S объединены в один блок для упрощения логической цепочки, что не влияет на логическую цепочку).
2. Осуществляется подбор исправлений обнаруженной ошибки R_D и R_S.
3. При наличии исправленной ошибки авиадиспетчера и авиационной службы осуществляется переход в начало цикла.
4. При отсутствии решения авиадиспетчера и службы пилот P выполняет технологические операции до появления ошибки.
5. При наличии исправленной ошибки R_P пилотом осуществляется переход в начало цикла (при этом происходит исправление ошибки пилота, диспетчера и службы) или в середину цикла до тех пор, пока не возникнет новая ошибка пилота (при этом ошибка диспетчера и службы остаются неисправленными).
6. При отсутствии решения осуществляется технологическая операция смежника C.
7. При обнаружении ошибок и подбора исправления R_C осуществляется переход в начало цикла (поскольку исправить ошибку может диспетчер и служба) или переход до блока технологической операции смежника (поскольку смежник может сам исправить свою ошибку).
8. При отсутствии исправления ошибки осуществляется завершение цикла, что свидетельствует о наличии катастрофы или авиационного инцидента.

Таким образом, вероятен автоматический подбор возможных вариантов развития событий и каждой ошибке авиадиспетчера, пилота, служб и смежников присвоено соответствующее решение, поэтому бинарное отношение ошибок будет соответствовать бинарному отношению решений [17, 18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, используя методы дискретной математики, проведена формализация взаимодействия авиадиспетчеров и пилотов [19]. В статье представлены бинарные отношения ошибок диспетчера и пилота, что позволяет рассматривать проблему человеческого фактора не как набор отдельных ошибок авиационных специалистов, а как систему взаимосвязанных элементов. При этом массивы ошибок специалистов и служб представлены для представления возможности расширения данного исследования.

В учебных заведениях, которые специализируются на подготовке авиадиспетчеров и пилотов, тренажерные комплексы позволяют отработать только технологические навыки отдельно диспетчера и пилота. Модель применима для создания тренажерных комплексов совместной подготовки авиадиспетчеров и пилотов [20]. При этом идет направленность не только на получение специалистами навыков выполнения технологических операций, но и на выявление опасных факторов полета, формирование комплексного подхода к пониманию проблемы и методов ее решения.

Такой метод подготовки полезен как авиадиспетчерам, так и пилотам, поскольку на сегодняшнее время рассматриваемые специальности имеют узкую направленность, что, несомненно, влияет на уровень квалификации человека-оператора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Горбатов В.А., Горбатов А.В., Горбатова М.В.** Дискретная математика: учебник для студентов втузов. М.: АСТ: Астрель, 2003. 447 с.
2. **Степнова А.И., Степанов С.М.** Человеческий фактор при автоматизации процесса управления воздушным движением // Научный вестник УВАУ ГА (И). 2015. № 7. С. 48–51.

3. **Борисов В.Е.** Определение вероятности безошибочной работы диспетчера / В.Е. Борисов, В.В. Борсоев, С.М. Степанов, А.И. Степнова // Научный Вестник МГТУ ГА. 2018. Т. 21, № 3. С. 47–55. DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-3-47-55

4. **Лебедев А.М.** Метод расчёта ожидаемого предотвращённого ущерба от авиационных происшествий: монография. Ульяновск: УВАУ ГА, 2007. 155 с.

5. **Зубков Б.В., Рыбалкин В.В.** Человеческий фактор и безопасность полетов. М.: МГТУ ГА, 1994. 68 с.

6. **Евстигнеев Д.А.** Подготовка авиационного персонала в области человеческого фактора: метод. указания по изучению дисциплины. Ульяновск: УВАУ ГА, 2009. 65 с.

7. **Updegrove J.A., Jafer S.** Optimization of air traffic control training at the Federal Aviation Administration Academy [Электронный ресурс] // Aerospace. 2017. Vol. 4, iss. 4. 50. URL: https://www.mdpi.com/2226-4310/4/4/50 (дата обращения 20.05.2020). DOI: https://doi.org/10.3390/aerospace4040050

8. **Kuznetsova N.B.** Transmission of information and communication as a human factor crucial in aircraft maintenance // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2017. № 2. С. 240–246.

9. **Анодина Т.Г., Кузнецов А.А., Маркович Е.Д.** Автоматизация управления воздушным движением: учебник для вузов / Под ред. Кузнецова А.А. М.: Транспорт, 1992. 279 с.

10. **Козлов А.С.** Человеческий фактор и система обеспечения безопасности полетов // Научный Вестник МГТУ ГА. 2012. № 182. С. 84–88.

11. **Борсоев В.А.** Принятие решения в задачах управления воздушным движением. Методы и алгоритмы / В.А. Борсоев, Г.Н. Лебедев, В.Б. Малыгин, Е.Е. Нечаев, А.О. Никулин, Тин Пхон Чжо. Под ред. Е.Е. Нечаева. М.: Радиотехника, 2018. 432 с.

12. **Плотников Н.И.** Ресурсы пилота. Надежность: монография. Новосибирск: ЗАО ИПЦ «АвиаМенеджер», 2013. 264 с.

13. **Пятко С.Г.** Повышение эффективности управления воздушным движением в Московской зоне ЕС ОрВД [Электронный ресурс] // Aviation explorer. URL: https://www.aex.ru/docs/4/2017/12/22/2701 (дата обращения 11.06.2020).

14. **Золотых В.И.** О состоянии безопасности полетов // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2017. № 3 (3). С. 59–67.

15. **Лушкин А.М.** Методика оценивания уровня безопасности полетов по совокупности авиационных событий // Научный Вестник МГТУ ГА. 2010. № 162. С. 125–130.

16. **Артюхович М.В., Феоктистова О.Г.** Роль инженерно-технического персонала в обеспечении безопасности полетов // Научный Вестник МГТУ ГА. 2014. № 204. С. 39–43.

17. **Пономаренко В.А.** Психология человеческого фактора в опасной профессии. Красноярск: Поликом, 2006. 629 с.

18. **Шумилов И.С.** Авиационные происшествия. Причины возникновения и возможности предотвращения. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 328 с.

19. **Розов С.А.** Определение уровня безопасности полетов с учетом проявления человеческого фактора, внешней среды и безопасности авиационной техники: дис. … канд. техн. наук. М.: ГосНИИ ГА, 2001. 225 с.

20. **Степнова А.И.** Анализ эффективности программы совместной тренажерной подготовки авиадиспетчеров и пилотов / А.И. Степнова, С.М. Степанов, В.В. Борсоева, В.А. Борсоев // Научный Вестник МГТУ ГА. 2019. Т. 22, № 5. С. 32–42. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-5-32-42

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Степнова Анастасия Ивановна, аспирант кафедры авиационной техники Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, Nast9679@yandex.ru.

Кочергин Виктор Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры авиационной техники Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, Uvauga-kvs@yandex.ru.

Степанов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры авиационной техники Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, Uvauga-kvs@yandex.ru.

Борсоев Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой навигационного обеспечения полетов и аэронавигационной информации Института аэронавигации (г. Москва), Borsoev@aeronav.aero

DEVELOPMENT OF INTERACTION MODEL FOR AIR TRAFFIC CONTROLLERS AND PILOTS USING DISCRETE MATHEMATICS METHODS

Anastasiia I. Stepnova[1], Viktor I. Kochergin[1], Sergei M. Stepanov[1], Vladimir A. Borsoev[2]

[1]*Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Air Chief Marshal B.P. Bugaev, Ulyanovsk, Russia*

[2]*Institute of Air Navigation, Moscow, Russia*

ABSTRACT

The purpose of the article is to create a database of errors and to develop an algorithm for a situational decision-making model taking into account availability of potential errors of air traffic controllers and pilots. Air traffic controllers and pilots typical errors were compiled and analyzed, arrays of specialists errors were created, binary error relations based on methods of discrete mathematics were also compiled in this article. This decision is caused by the need to formalize the interaction of specialists, since each error of the air traffic controller can be compared with a certain set of pilot errors and vice versa. In case of further in-depth analysis, it is possible to expand the database by adding additional errors arrays of the adjacent point controller, aerodrome service, planning service, etc. The goal is formed after analyzing the features of simulator training in higher educational institutions. The peculiarity is the absence of hazardous factors during the simulator training. This training takes place according to the ideal model. Undoubtedly, this approach is aimed at developing the correct algorithm of actions in normal or abnormal flight conditions, but thus the trainee can't work out the decision-making skills if there is an error in the ideal algorithm. At the same time, existing specialists face unintended errors every working day, so having experience in this field plays an important role in minimizing the impact of the human factor on flight safety. In our case, it is proposed to include such a dangerous factor as an unintentional error in the joint training program for air traffic controllers and pilots, which will improve the training quality of specialists.

Key words: air traffic controller, pilot, binary relation, arrays of errors, decision-making algorithm, flight safety.

REFERENCES

1. **Gorbatov, V.A., Gorbatov, A.V. and Gorbatov, M.V.** (2003). *Diskretnaya matematika. Uchebnik dlya VTUZov* [Discrete mathematics]. Moscow: AST: Astrel, 447 p. (in Russian)

2. **Stepnova, A.I. and Stepanov, S.M.** (2015). *Analysis of possible operator errors during air traffic control.* Ulyanovsk: UVAU GA (I), no. 7, pp. 48−51. (in Russian)

3. Borisov, V.E., Borsoeva, V.V., Stepanov, S.M. and Stepnova, A.I. (2018). *The probability determination of error-free air traffic controller operation.* Civil Aviation High Technologies, vol. 21, no. 3, pp. 47–55. DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-3-47-55. (in Russian)

4. Lebedev, A.M. (2007). *Metod rascheta ozhidayemogo predotvrashchennogo ucherba ot aviatsionnykh proisshestviy: Monografiya* [The method of calculating the expected avoided damage from the accident: Monography]. Ulyanovsk: UVAU GA, 155 p. (in Russian)

5. Zubkov, B.V. and Ribalkin, V.V. (1994). *Chelovecheskiy factor i bezopasnost poletov* [Human factor and flight safety]. Moscow: MGTU GA, 68 p. (in Russian).

6. Yevstigneyev, D.A. (2009). *Podgotovka aviatsionnogo personala v oblasti chelovecheskogo faktora: metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu distsipliny* [The aviation personnel training in human factor: Training manual]. Ulyanovsk: UVAU GA, 65 p. (in Russian)

7. Updegrove, J.A. and Jafer, S. (2017). *Optimization of air traffic control training at the Federal Aviation Administration Academy*. Aerospace, vol. 4, iss. 4, 50. Available at: https://www.mdpi.com/2226-4310/4/4/50 (accessed 20.05.2020). DOI: https://doi.org/10.3390/aerospace4040050

8. Kuznetsova, N.B. (2017). *Transmission of information and communication as a human factor*. Crede Experto: transport, society, education, language, no. 2, pp. 240–246.

9. Anodina, T.G., Kuznetsov, A.A. and Markovich, E.D. (1992). *Avtomatizatsiya upravleniya vozdushnym dvizheniyem* [Automation of air traffic control]. Moscow: Transport, 280 p. (in Russian)

10. Kozlov, A.S. (2012). *The human factor like the main element in system of safety of flight.* Nauchnyy Vestnik MGTU GA, no. 182, pp. 84–88. (in Russian)

11. Borsoyev, V.A., Lebedev, G.N., Malygin, V.B., Nechayev, Ye.Ye., Nikulin, A.O. and Tin Pkhon Chzho. (2018). *Prinyatiye resheniya v zadachakh upravleniya vozdushnym dvizheniyem. Metody i algoritmy* [Decision making in tasks of the air traffic control. Methods and algorithms], in Nechaev Ye.Ye. (Ed.). Moscow: Radiotekhnika, 432 p. (in Russian)

12. Plotnikov, N.I. (2013). *Resursy pilota. Nadezhnost*: *Monografiya* [Resources of a pilot. Reliability: Monograph]. Novosibirsk: ZAO IPTS «AviaMenedzher», 264 p. (in Russian)

13. Pyatko, S.G. (2017). *Povysheniye effektivnosti upravleniya vozdushnym dvizheniyem v Moskovskoy zone ES OrVD* [Improving the efficiency of air traffic control in Moscow zone of the ATC]. Available at: https://www.aex.ru/docs/4/2017/12/22/2701 (accessed 11.06.2020). (in Russian)

14. Zolotykh, V.I. (2017). *On the aviation units flights safety state problem.* Vozdushno-kosmicheskiye sily. Teoriya i praktika, no. 3 (3), pp. 59–67. (in Russian)

15. Lushkin, A.M. (2010). *Method of estimation of flight safety level on set of air events*. Nauchnyy Vestnik MGTU GA, no. 162, pp. 125–130. (in Russian)

16. Artyukhovich, M.V. and Feoktistova, O.G. (2014). *The role of the technical staff in the flight safety*. Nauchnyy Vestnik MGTU GA, no. 204, pp. 39–43. (in Russian)

17. Ponomarenko, V.A. (2006). *Psikhologiya chelovecheskogo faktora v opasnoy professii* [Psychology of the human factor in a dangerous profession]. Krasnoyarsk: Polikom, 629 p. (in Russian)

18. Shumilov, I.S. (2006). *Aviatsionnyye proisshestviya. Prichiny vozniknoveniya i vozmozhnosti predotvrashcheniya* [Aviation accidents. Causes and possibilities of prevention]. Moscow: Izdatelstvo MGTU im. N.E. Baumana, 328 p. (in Russian)

19. Rozov, S.A. (2001). *Opredeleniye urovnya bezopasnosti poletov s uchetom proyavleniya chelovecheskogo faktora, vneshney sredy i bezopasnosti aviatsionnoy tekhniki: dis. … kand. tekhn. nauk* [Determining the level of flight safety, considering the manifestation of human factors, the external environment and the aircraft safety. Thesis. … Cand. Technical Sciences]. Moscow: GosNII GA, 225 p. (in Russian)

20. Stepnova, A.I., Stepanov, S.M., Borsoeva, V.V. and Borsoev, V.A. (2019). *Analysis of effectiveness of the program of joined air traffic controlles and pilots training.* Civil Aviation High Technologies, vol. 22, no. 5, pp. 32–42. DOI: 10.26467/2079-0619-2019-22-5-32-42. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anastasiia I. Stepnova, Post-Graduate Student of the Aviation Technique Chair, Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Air Chief Marshal B.P. Bugaev, Nast9679@yandex.ru.

Viktor I. Kochergin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Aviation Technique Chair, Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Air Chief Marshal B.P. Bugaev, Uvauga-kvs@yandex.ru.

Sergei M. Stepanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Aviation Technique Chair, Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Air Chief Marshal B.P. Bugaev, Uvauga-kvs@yandex.ru.

Vladimir A. Borsoev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Navigation Providence of Flight and Aeronautical Information Chair, Moscow Institute of Air Navigation, Borsoev@aeronav.aero.

Поступила в редакцию 17.06.2020
Принята в печать 23.07.2020

Received 17.06.2020
Accepted for publication 23.07.2020