

УДК 378.162.33

DOI: 10.26467/2079-0619-2026-29-2-50-60

## Алгоритм создания адаптивных сценариев упражнений на тренажере с применением динамической сложности для повышения эффективности обучения диспетчеров УВД

И.А. Кривогузов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский региональный центр ЕС ОрВД, г. Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация:** Данная статья посвящена разработке инновационного алгоритма создания адаптивных тренажерных сценариев для подготовки диспетчеров управления воздушным движением с применением динамической сложности. Актуальность исследования обусловлена стремительным ростом интенсивности воздушного движения, что требует принципиально новых подходов к обучению специалистов. Традиционные методы тренажерной подготовки, основанные на создании сценария инструктором вручную, не учитывают индивидуальные особенности обучающихся, что снижает эффективность учебного процесса и может приводить к когнитивной перегрузке. Основной целью работы является создание интеллектуальной системы, способной автоматически адаптировать сложность упражнений в реальном времени, учитывая текущий уровень навыков, скорость принятия решений, частоту ошибок и психофизиологическое состояние диспетчера. Предложен комплексный подход, сочетающий анализ профессиональных компетенций, моделирование когнитивной нагрузки и динамическую генерацию тренировочных ситуаций. Особое внимание уделяется балансу между постепенным усложнением задач и предотвращением стрессовых перегрузок. Методология исследования включает разработку математической модели оценки уровня обучаемого, алгоритма динамической корректировки параметров сценария (количество воздушных судов, погодные условия, особые случаи) и системы обратной связи. Разработанная система позволяет создавать персонализированные программы тренировок, максимально приближенные к реальным условиям работы, но с контролируемым уровнем сложности. Практическая значимость исследования заключается в возможности внедрения предложенных решений в существующие тренажерные комплексы, что способствует повышению качества подготовки диспетчеров и, как следствие, безопасности воздушного движения. Научная новизна подтверждается авторскими разработками в области адаптивного обучения и интеграции биометрических показателей в процесс генерации упражнений. Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением базы тренировочных сценариев, внедрением технологий виртуальной реальности и разработкой интеллектуальных систем анализа действий обучаемых на основе методов машинного обучения. Предложенный подход может быть адаптирован и для других профессий, связанных с повышенной ответственностью и необходимостью быстрого принятия решений в стрессовых условиях.

**Ключевые слова:** адаптивный сценарий, алгоритм, динамическая сложность, диспетчер УВД, программы тренировок, тренажерная подготовка.

**Для цитирования:** Кривогузов И.А. Алгоритм создания адаптивных сценариев упражнений на тренажере с применением динамической сложности для повышения эффективности обучения диспетчеров УВД // Научный вестник МГТУ ГА. 2026. Т. 29, № 2. С. 50–60. DOI: 10.26467/2079-0619-2026-29-2-50-60

## An algorithm for creating adaptive exercise scenarios on a simulator using dynamic complexity to improve the effectiveness of ATCO training

I.A. Krivoguzov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg Regional Air Traffic Control Center, Saint-Petersburg, Russia

**Abstract:** This work is devoted to the development of an innovative algorithm for creating adaptive simulator scenarios for training air traffic control (ATC) officers using dynamic complexity. The relevance of the study is caused by the rapid increase in air traffic intensity, which requires fundamentally new approaches to training of specialists. Traditional simulator training methods based on

the manual creation of a scenario by an instructor do not take into account the individual characteristics of students, which reduces effectiveness of the learning process and can lead to cognitive overload. The main goal of this research is to create an intelligent system capable of automatically adapting the complexity of exercises in real time, taking into account the current skill level, decision-making speed, error rate and the psychophysiological state of the controller. The paper offers an integrated approach combining the analysis of professional competencies, modeling cognitive load generation of training situations. Special attention is paid to the balance between the gradual complication of tasks and the prevention of stress overload. The research methodology includes the development of a mathematical model for assessing the student's level, an algorithm for dynamically adjusting scenario parameters (e.g., number of aircraft, weather conditions, emergency situations) and a feedback system. The developed system allows you to create personalized training programs that are as close as possible to real working conditions, but with a controlled level of complexity. The practical significance of this work lies in the possibility of implementing the proposed solutions into existing training complexes, which will contribute to improving the quality of ATC training and as a result, air traffic safety. The scientific novelty is confirmed by the author's developments in the field of students adaptive learning and the integration of biometric indicators into exercise generation process. The prospects of further research are related to the expansion of the base of training scenario database, the introduction of virtual reality technologies and the development of intelligent systems for analyzing learners' actions based on machine learning methods. The proposed approach can also be adapted for other high-responsibility professions requiring quick decision-making in stressful conditions.

**Keywords:** adaptive scenario, algorithm, dynamic complexity, air traffic controller, training programs, simulator training.

**For citation:** Krivoguzov, I.A. (2026). An algorithm for creating adaptive exercise scenarios on a simulator using dynamic complexity to improve the effectiveness of ATCO training. *Civil Aviation High Technologies*, vol. 29, no. 2, pp. 50–60. DOI: 10.26467/2079-0619-2026-29-2-50-60

## Введение

Современная авиационная отрасль характеризуется стремительным ростом интенсивности воздушного движения, оптимизаций структуры воздушного пространства и ужесточением требований к безопасности полетов. Данные параметры играют ключевую роль при работе диспетчера управления воздушным движением (УВД). От профессионализма диспетчера зависят жизни тысяч пассажиров ежедневно, поэтому качество подготовки диспетчера – это основа существования авиации.

Традиционные методы обучения, основанные на стандартных тренажерных сценариях, которые разрабатывают инструкторы самостоятельно, обладают рядом недостатков:

- 1) упражнения не могут подстраиваться под индивидуальный уровень диспетчера, что снижает эффективность тренировок;
- 2) чрезмерно простые либо избыточно сложные задания приводят к потере мотивации или когнитивной перегрузке;
- 3) не учитываются слабые и сильные стороны конкретного диспетчера.

Введение адаптивных сценариев с применением динамической сложности позволит

решить данные проблемы за счет следующих преимуществ:

- 1) автоматического изменения параметров упражнений в зависимости от успешности действий обучаемого;
- 2) минимизации ручного труда инструктора;
- 3) ускорения процесса обучения при сохранении высокого уровня подготовки.

Таким образом, можно сделать вывод, что разработка алгоритма генерации адаптивных сценариев является актуальной научно-практической задачей.

Стоит отметить, что в различных областях исследовалась проблема адаптивного обучения. Например, в авиационной психологии возможность адаптивного обучения летного персонала изучалась многими научными деятелями, в частности Д.А. Евстигнеевым [1]. Также, например, вопросы адаптивного обучения детей и школьников поднимал Лев Выготский еще в XX веке. Система Выготского описана в книге С.Г. Касвинова [2]. Однако в области подготовки диспетчеров данное направление практически не изучено. На тренажерах для диспетчеров используются фиксированные сценарии для подготовки, разработанные ответственными инструкторами.

Существующие международные документы<sup>1</sup> носят рекомендательный характер и не описывают конкретных алгоритмов, а в России подобные технологии и вовсе не применяются, что подтверждает необходимость дальнейшего изучения данной области.

Итак, целью настоящего исследования является разработка алгоритма создания адаптивных сценариев на тренажере, которые обеспечат персонализированное обучение диспетчера за счет динамической сложности.

Основными задачами являются следующие:

1) провести анализ современных методов подготовки авиадиспетчеров и выявить их недостатки;

2) разработать математическую модель адаптации сложности.

Результаты настоящей работы могут быть применены в учебных центрах подготовки диспетчеров, при модернизации тренажерных систем путем интеграции, а также для разработки нормативной документации по использованию адаптивных технологий при подготовке диспетчеров.

Исследование направлено на решение актуальной проблемы – оптимизации подготовки диспетчеров путем внедрения адаптивных технологий и сочетает теоретическую глубину и практическую значимость для развития авиационной отрасли в целом.

## Теоретические основы обучения диспетчеров УВД

Современные требования к подготовке диспетчеров обязательно регламентируются. Например, требования к компетенциям, когнитивным и коммуникативным навыкам описаны в документах ИКАО<sup>2</sup>. В данном документе описаны следующие требования:

1) конкретное количество часов тренажерной подготовки диспетчера (около 500 ч);

2) решение конфликтов (отводится не более 3 мин на решение одного конфликта);

3) корректная работа с экипажами воздушных судов (ВС) (четкость фразеологии);

4) знание английского языка (не ниже 4-го уровня по шкале ИКАО).

Несомненно, современный диспетчер должен обладать техническими навыками (работа с автоматизированными системами УВД); когнитивными способностями (распределение внимания и скорость реакции) и определенными психологическими качествами (работа в команде и стрессоустойчивость).

Увеличение количества часов тренажерной подготовки – это качественная мера, но она не станет достаточно эффективной. Современные требования диктуют необходимость комплексной и качественной подготовки диспетчеров. Так, обязательная стресс-подготовка и тренировка когнитивной гибкости описаны в документе Евроконтроля<sup>3</sup>.

Стоит отметить, что метод Выготского можно применить не только по отношению к детям и подросткам. Изложенная здесь [2] концепция зоны ближнего развития может быть столпом обучения диспетчера УВД. Метод описывает, что ребенок может сделать самостоятельно, а что – с помощью взрослого, соответственно, диспетчер может справиться с определенной задачей самостоятельно, а с какой-то с помощью автоматизированной системы. Итак, задачи, которые ставятся перед диспетчером, должны быть выполнимы, однако для обучения и прогресса необходимо, чтобы каждая последующая задача была сложнее текущего уровня, но эта задача может быть выполнена диспетчером с поддержкой. Такой принцип и должен ложиться в основу предлагаемого алгоритма в качестве динамической сложности.

Кроме того, необходимо учитывать когнитивные аспекты профессиональной деятельности диспетчера. Процесс обучения обязан быть эффективным, поэтому необходимо избегать перегрузок. Предложенная Джоном

<sup>1</sup>Doc 9868: Procedures for air navigation service-Training. 3rd ed. // ICAO, 2020. 152 p.

<sup>2</sup>Doc 10056: Manual of air traffic controller competency-based training and assessment. 2nd ed. // ICAO, 2022. 451 p.

<sup>3</sup> Eurocontrol safety regulation requirement (ESSAR 6). Software in ATM functional systems. 2nd ed. // ICAO, 2010. 20 p.

Свеллером теория когнитивной нагрузки [3] утверждает, что рабочая память человека имеет ограниченную емкость, следовательно, чтобы максимизировать усвоение материала, необходимо соблюдать баланс между внутренней нагрузкой (сложностью материала или задачи) и внешней нагрузкой (форма подачи материала) с учетом индивидуальных способностей конкретного человека, в данном случае диспетчера. Эта теория может быть применена к диспетчерам для улучшения качества подготовки. Также о процессах обучения мозга и избегании перегрузок писала Елена Сосновцева [4].

Подводя итог, можно сказать, что эффективное обучение и тренировка диспетчера УВД требует индивидуализации и адаптации под когнитивные возможности конкретного человека. Постепенное усложнение сценариев (от низкой интенсивности воздушного движения до высокой, с добавлением отказов и сложных метеорологических условий), выдача обратной связи (корректировка ошибок в процессе разбора совершенных действий) и имитация реальных условий (помехи радиосвязи или любые стресс-факторы) – все это представляет собой уникальный метод достижения качественной подготовки персонала к профессиональной деятельности.

Для тренажеров в целом можно выделить следующие недостатки:

- отсутствие адаптивности (сценарии не меняются в зависимости от успешного или неудачного прохождения упражнения обучаемым);
- шаблонность (на базе одного упражнения создаются множества с незначительными отличиями);
- ручное составление упражнений (инструктор вынужден самостоятельно задумываться над задачами, конфликтами и подбором сложности конкретного упражнения).

Несмотря на ограничения современных диспетчерских тренажеров, их недостаточную гибкость, можно с уверенностью сказать, что внедрение адаптивных сценариев на основе динамической сложности обосновано и практически значимо.

## Генерация адаптивных сценариев

Чтобы изложить метод создания адаптивных сценариев на основе динамической сложности, необходимо обозначить ключевые аспекты, на основе которых будет построена предлагаемая методика.

Итак, для начала необходимо ввести определение динамической сложности. Динамическая сложность – это автоматическая корректировка параметров упражнения на основе частоты ошибок, времени реакции и текущего уровня стресса.

Стоит отметить, что адаптивные технологии уже применяются для обучения специалистов в других областях. Так, для пилотов существуют тренажеры ALSIM ALX<sup>4</sup>, где применяются адаптивные системы. В медицине существуют VR-тренажеры для хирургов также с использованием адаптивных технологий, в частности Osso VR<sup>5</sup>. Подобные алгоритмы применяются в игровых обучающих симуляторах, например в MFS2024<sup>6</sup>. Отсюда напрашивается вывод, что адаптивные технологии успешно применяются в других областях, в профессиях, представители которых наряду с диспетчером УВД несут колоссальную ответственность (пилоты и хирурги в приведенном примере), а также должны быть хорошо подготовлены, чтобы принимать точные, быстрые и подходящие решения в любой, даже самой стрессовой ситуации. Однако теперь необходимо такую технологию применить для подготовки именно диспетчеров УВД.

<sup>4</sup> ALSIM. Flight training solutions [Электронный ресурс] // alsim. URL: <https://www.alsim.com> (дата обращения: 18.10.2025).

<sup>5</sup> OSSO VR [Электронный ресурс] // Ossovr. URL: <https://www.ossovr.com> (дата обращения: 18.10.2025).

<sup>6</sup> Microsoft Flight Simulator 2024. [Электронный ресурс] // flightsimulator. URL: <https://www.flightsimulator.com> (дата обращения: 18.10.2025).

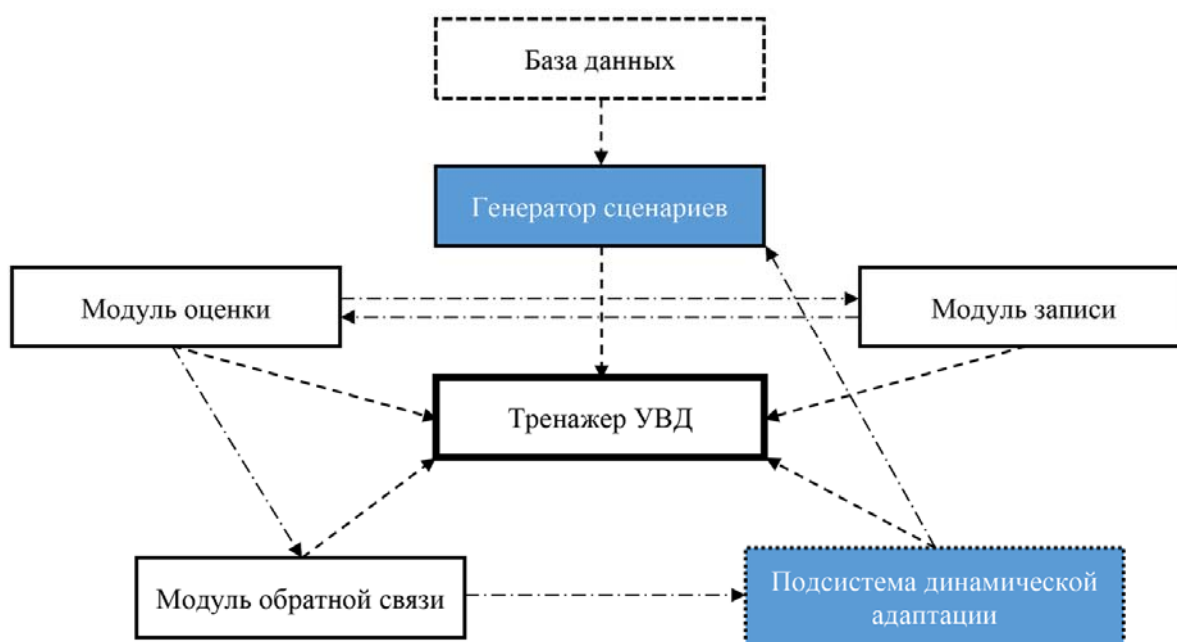


Рис. 1. Архитектура тренажера для диспетчеров УВД  
Fig. 1. Architecture of a simulator for air traffic controllers

Перейдем непосредственно к описанию алгоритма составления адаптивных сценариев с применением динамической сложности. Концептуальная модель и архитектура тренажера с такой системой представлена на рис. 1.

На рис. 1 выделены именно те компоненты тренажера УВД, которые предлагается усовершенствовать (генератор сценариев) и внедрить (модуль обратной связи и подсистема динамической адаптации) по сравнению с существующими тренажерными системами.

Итак, для начала необходимо понять, как система будет генерировать любой сценарий для тренировки. Для начала она будет брать реальные воздушные суда, которые пролетели через тот или иной сектор, для которого создается упражнение, либо будет генерировать синтетические путем компоновки данных из базы данных, которая будет содержать различные позывные воздушных судов, различные маршруты, которые используются в секторе, эшелоны полета и типы воздушных судов. В целом процесс компоновки параметров воздушно-

го судна ( $m_k$ ) можно представить в виде следующей функции:

$$\mathcal{F}(id, t, \tau) \rightarrow \{m_k\}_{k=1}^N, \quad (1)$$

где  $id$  – идентификатор воздушного судна (позывной, сквок),  $t$  – время появления воздушного судна,  $\tau$  – тип воздушного судна,  $m_k$  – смоделированная отметка от ВС в момент времени  $t$ , которую в свою очередь можно представить в виде матрицы

$$\{m_k\} = \begin{pmatrix} x_k \\ y_k \\ z_k \\ v_k \\ \theta_k \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где  $x_k, y_k, z_k$  – координаты появления воздушного судна,  $v_k$  – текущая скорость воздушного судна (путевая в километрах в час для перемещения отметки на индикаторе воздушной обстановки и приборная в узлах или числе Маха для регулирования ВС, диспетчер видит на индикаторе только путевую скорость),  $\theta_k$  – курс воздушного судна, который далее коррелируется с маршрутом.

Конкретное воздушное судно после генерации отметки будет выглядеть следующим образом:

$$\mathcal{F}_{real}(AFL1147,12:14,A321) = \begin{pmatrix} 557522 \\ 0376156 \\ 37000 \\ 0,78 \\ 315 \end{pmatrix}$$

или

$$\mathcal{F}_{sim}(SDM001,12:00,SU95) = \begin{pmatrix} 572568 \\ 0392471 \\ 36000 \\ 0,76 \\ 075 \end{pmatrix}.$$

Основываясь на базе воздушных судов, базе маршрутов, базе погодных условий, базе особых случаев, система формирует сценарий ( $\epsilon_i$ ). Данный процесс можно описать следующей функцией:

$$\epsilon_i = \langle C_i, A_i, W_i, F_i, T_i \rangle, \quad (3)$$

где  $C_i$  – сложность сценария ( $C_i \in [1,10]$ ),  $A_i$  – количество воздушных судов в упражнении ( $A_i \in [10,40]$ ),  $W_i$  – параметр погодных условий,  $F_i$  – параметр нештатных ситуаций,  $T_i$  – продолжительность упражнения ( $T_i \in [25,60]$ ).

Параметр  $C_i$  подразумевает количество конфликтов, которое предложит решить система диспетчеру, причем под числами от 1 до 10 будет зашифровано количество конфликтов в качестве нечеткого множества [5], где 1 – «очень легко», 4–6 конфликтов, а 10 – «невозможно», 22–25 конфликтов.

Параметр  $A_i$  может варьироваться, но не может быть меньше или больше определенного значения в зависимости от выбранной сложности сценария, например, при выборе уровня сложности «10» количество воздушных судов не может быть меньше 35.

Параметр  $W_i$  бинарный, это значит, что метеорологические условия влияют или не влияют на полеты, однако если влияют, то имеется возможность инструктору выбрать конкретное метеорологическое условие, например турбулентность, грозовую деятельность и прочие, причем один диспетчер в течение обучения обязан отработать все метеорологические условия. Система будет под-

сказывать, основываясь на предыдущих тренажерных сессиях, какие метеорологические условия этот диспетчер еще не отработывал.

Параметр  $F_i$  аналогичен предыдущему параметру и также является бинарным. Это значит, что особый случай либо присутствует, либо отсутствует в упражнении, однако если присутствует, то имеется возможность инструктору выбрать конкретный особый случай, например отказ двигателя, потеря статуса RVSM и подобные, причем один диспетчер в течение обучения обязан отработать все особые случаи. Система будет подсказывать, основываясь на предыдущих тренажерных сессиях, какие особые случаи этот диспетчер еще не отработывал.

Параметр  $T_i$  зависит от необходимости данного упражнения: так, оптимальная длительность тренировочного упражнения от 30 до 45 мин в зависимости от задачи, поскольку при концентрации на сложной задаче внимание падает через 45 мин. Данное число подтверждает норма СанПиН<sup>7</sup>, поэтому предлагаемая длительность и является оптимальной. Если упражнение делается на проверку согласно российскому законодательству<sup>8</sup>, то оно должно длиться 2 ч, однако предлагается сделать упражнения на проверку продолжительностью 1 ч, поскольку концентрация внимания падает и интенсивное выполнение задания после 1 ч сложной работы дается диспетчеру с трудом. В работе

<sup>7</sup> Постановление Главного государственного санитарного врача РФ № 2 от 28 января 2021 г. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс] // ГАРАНТ. URL: <https://base.garant.ru/400274954/> (дата обращения: 18.10.2025).

<sup>8</sup> Приказ Минтранса РФ № 93 от 14 апреля 2010 г. «Об утверждении Порядка функционирования непрерывной системы профессиональной подготовки, включая вопросы освидетельствования, стажировки, порядка допуска к работе, периодичности повышения квалификации руководящего и диспетчерского персонала» [Электронный ресурс] // ГАРАНТ. URL: <https://base.garant.ru/199197/> (дата обращения: 18.10.2025).

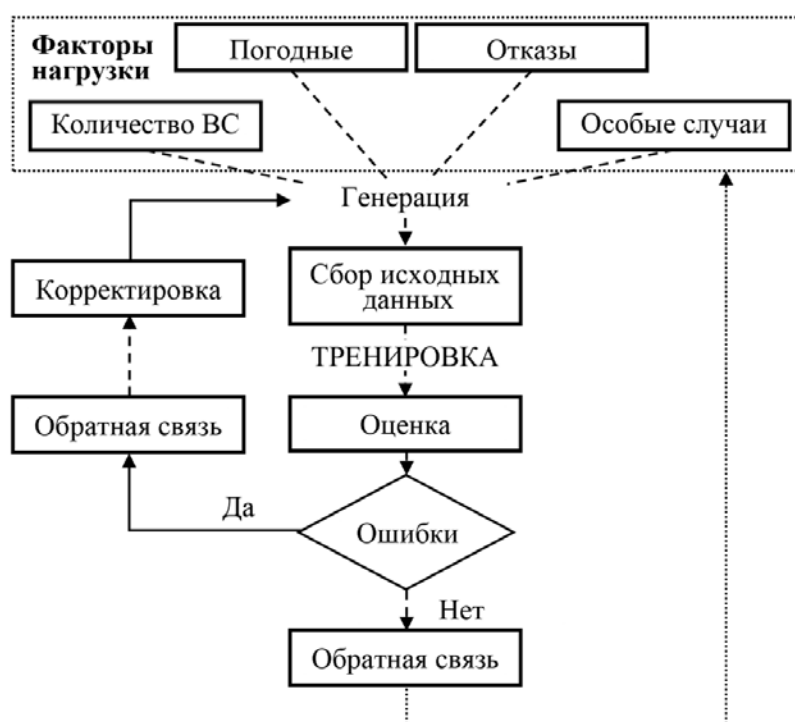


Рис. 2. Блок-схема адаптации сценариев  
Fig. 2. Flowchart of scenario adaptation

диспетчера, да и в любой работе, от которой зависят человеческие жизни, важны внимание и концентрация [6, 7].

На основании пяти параметров из всего множества различных сценариев система формирует дискретное пространство тех, которые будут использоваться. Большой диапазон значений обеспечивает огромное количество вариаций [8], в связи с этим вероятность повторения сценария для одного и того же диспетчера исключена.

Итак, сценарий создан, он уже является адаптивным, однако благодаря модулю компетенций система сможет повысить его адаптивность путем определения сложности упражнения и количества воздушных судов исходя из оценки конкретного диспетчера.

### Динамическая сложность

Качественная работа предлагаемого алгоритма заключается в циклическом процессе. Непрерывный мониторинг параметров диспетчера, количественная оценка принятия решений диспетчером – два этих параметра поз-

волят производить адаптацию сценариев с повторной тренировкой. Возможно представить данный алгоритм в нескольких вариантах.

Итак, первое представление будет аналитическое. В виде функции данный алгоритм имеет следующий вид:

$$\epsilon_{i+1} = f_{\epsilon_i}(A_i, P_i, W_i), \quad (4)$$

где  $\epsilon_{i+1}$  – адаптивный сценарий,  $f_{\epsilon_i}(x)$  – функция адаптации текущего сценария,  $A_i$  – точность команд в текущем сценарии,  $P_i$  – физиологические параметры диспетчера в течение тренировки на текущем сценарии,  $W_i$  – нагрузка на диспетчера в текущем сценарии.

Также возможно и второе представление алгоритма в виде блок-схемы [9, 10]. Она изображена на рис. 2.

Для качественной адаптации упражнения на тренажере под конкретного диспетчера система должна оценивать несколько параметров.

1. Точность принимаемых решений ( $A$ ) [11, 12] – способность диспетчера выдавать

Таблица 1  
Table 1

Критерии оценки точности принимаемых решений  
Decision-making accuracy assessment criteria

Точность, %	Оценка	Адаптивное действие
> 85	Отлично	Увеличить сложность
70–85	Норма	Без изменений
< 70	Неудовлетворительно	Уменьшить сложность

Таблица 2  
Table 2

Критерии оценки времени реакции  
Reaction time assessment criteria

Время реакции	Оценка	Адаптивное действие
$\leq RT_{\text{норм}}$	Отлично	Увеличить сложность
до $1,5 \cdot RT_{\text{норм}}$	Норма	Без изменений
$> 1,5 \cdot RT_{\text{норм}}$	Неудовлетворительно	Уменьшить сложность

корректные команды в различных ситуациях. Данный параметр рассчитывается по следующей формуле:

$$A = \frac{n_{\text{пр}}}{n} \cdot 100 \%, \quad (5)$$

где  $n_{\text{пр}}$  – количество правильно принятых решений,  $n$  – общее количество решений.

$$RT_{\text{норм}} = 5 \cdot (1 + 0,1 \cdot N) \cdot (1 + 0,2 \cdot W) + (1 + 0,2 \cdot SF) + (1 + 0,2 \cdot EM), \quad (6)$$

где  $N$  – количество воздушных судов в сценарии,  $W$  – количество погодных условий в сценарии,  $SF$  – количество отказов системы в сценарии,  $EM$  – количество особых случаев в сценарии.

Критерии оценки приведены в табл. 2.

3. Частота ошибок ( $ER$ ) – количество совершаемых диспетчером ошибок за определенный промежуток времени. Данный параметр рассчитывается по следующей формуле:

$$ER = \frac{n_{\text{ош}}}{T}, \quad (7)$$

где  $n_{\text{ош}}$  – количество допущенных нарушений норм эшелонирования;

Критерии оценки приведены в табл. 1.

2. Время реакции ( $RT_{\text{норм}}$ ) [13, 14] – время от момента возникновения ситуации до момента принятия диспетчером решения. На каждый сценарий предусмотрено свое нормальное время реакции в зависимости от его сложности. Оно рассчитывается по следующей формуле:

$T$  – продолжительность упражнения.

Целевой показатель для любого диспетчера – это работа без ошибок. Критерии оценки данного параметра приведены в табл. 3.

4. Физиологические показатели (HRV) [15] – вариабельность сердечного ритма, которая отражает уровень стресса диспетчера. Вариабельность сердечного ритма – это показатель колебаний между сокращениями. Критерии оценки данного параметра представлены в табл. 4.

Представленные в табл. 1–4 адаптивные действия системы имеют строгий алгоритм. То есть в случае увеличения сложности система будет предпринимать одно из следую-

Таблица 3  
Table 3

Критерии оценки частоты ошибок  
Error rate assessment criteria

Частота ошибок	Оценка	Адаптивное действие
$0 \frac{\text{ошибок}}{\text{час}}$	Отлично	Увеличить сложность
$1 \frac{\text{ошибка}}{\text{час}}$	Удовлетворительно	Без изменений
$> 1 \frac{\text{ошибки}}{\text{час}}$	Неудовлетворительно	Уменьшить сложность

Таблица 4  
Table 4

Критерии оценки физиологических показателей  
Physiological parameters assessment criteria

HRV, мс	Оценка	Адаптивное действие
60–100	Отлично	Увеличить сложность
30–59	Норма	Без изменений
< 30	Неудовлетворительно	Уменьшить сложность

щих действий: увеличение количества воздушных судов либо добавление фактора нагрузки, например погодные условия или особый случай. В случае же уменьшения сложности – одно из следующих действий: ограничение количества воздушных судов, которые собираются войти в сектор, упрощение погодных условий либо создание релаксационной паузы, то есть формирование дальнейшего потока таким образом, чтобы у диспетчера была возможность отдохнуть (активный отдых [16]) в процессе упражнения.

### Заключение

Проведенное исследование подтвердило высокую эффективность разработанного алгоритма адаптивных сценариев с динамической сложностью для тренажерной подготовки диспетчеров. Основным достижением работы стало создание комплексной системы,

способной в реальном времени анализировать текущий уровень подготовки специалиста, его психофизиологическое состояние и на этой основе генерировать персонализированные тренировочные задания. Важнейшим преимуществом системы является ее способность автоматически поддерживать оптимальный уровень когнитивной нагрузки, что особенно ценно в условиях интенсивной работы авиадиспетчеров. Динамическая адаптация сложности упражнений предотвращает как перегрузку, так и недостаточную нагрузку, обеспечивая плавное и последовательное развитие профессиональных навыков. Гибкий алгоритм комбинирования сценария позволяет создавать практически неограниченное количество вариантов упражнений, что исключает эффект «заучивания» и поддерживает высокий уровень вовлеченности обучающихся. При этом система сохраняет возможность ручной корректировки со стороны инструктора, сочетая таким образом преимущества

автоматизации и профессионального контроля. Полученные результаты открывают новые перспективы для совершенствования системы подготовки диспетчеров. Внедрение предложенных решений в учебные центры позволит не только повысить качество подготовки специалистов, но и оптимизировать ресурсы, выделяемые на обучение. Дальнейшее развитие проекта предполагает расширение функциональности за счет интеграции технологий виртуальной и дополненной реальности, что сделает тренировки еще более реалистичными и эффективными.

### Список литературы

1. Евстигнеев Д.А. Авиационная психология: учебник. В 2 т. Ульяновск: УВАУ ГА (И), 2012. 280 с.
2. Касвинов С.Г. Система Выготского. Кн. 1: Обучение и развитие детей и подростков. Харьков: Райдер, 2013. 460 с.
3. Sweller J. Cognitive load theory // *Psychology of learning and motivation*. 2011. Vol. 55. Pp. 37–76. DOI: 10.1016/B978-0-12-387691-1.X0001-4
4. Сосновцева Е.В. Мозг в порядке: Как улучшить память, справиться с перегрузкой и вернуть ясность ума. М.: Альпина Паблишер, 2025. 325 с.
5. Лисицына Л.С. Основы теории нечетких множеств. СПб.: Университет ИТМО, 2020. 74 с.
6. Hari J. Stolen focus: Why you can't pay attention and how to think deeply again. New York: Crown, 2025. 368 p.
7. Гиппенрейтер Ю.Б., Романов В.Я. Психология внимания. М.: ЧеРо, 2001. 309 с.
8. Ландо С.К. Комбинаторика и теория графов. М.: МЦНМО, 2005. 358 с.
9. Вирт Н. Алгоритмы и структуры данных / Пер. с англ. Ф.В. Ткачева. М.: ДМК Пресс, 2010. 272 с.
10. Семакин И.Г., Шестаков А.П. Основы алгоритмизации и программирования. Практикум: учеб. пособие. М.: Академия, 2013. 144 с.

11. Лестер Д. Остановись и подумай: Идеи и стратегии, помогающие принимать верные решения: пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2025. 272 с.

12. Теория принятия решений: В 2 т. Т. 1. учебник и практикум для вузов / Под ред. В.Г. Халина. М.: Юрайт, 2025. 250 с.

13. Gazzaniga M.S. The cognitive neurosciences. 4th ed. England: Bradford Press, 2009. 1377 p.

14. Чуприкова Н.И. Время реакций человека: Физиологические механизмы, вербально-смысловая регуляция, связь с интеллектом и свойствами нервной системы: монография. М.: Издательский дом ЯСК, 2019. 432 с.

15. Малах О.Н., Крестьянинова Т.Ю., Питкевич Ю.Э. Вариабельность сердечного ритма в оценке функционального состояния организма человека: монография. М.: КноРус, 2019. 118 с.

16. Санджай Г. Устойчивый мозг: как сохранить мозг продуктивным в любом возрасте / Пер. с англ. И. Чорного. М.: Эксмо, 2024. 400 с.

### References

1. Yevstigneev, D.A. (2012). Aviation psychology: Textbook. In 2 volumes. Ulyanovsk: UVAU GA (I), 280 p. (in Russian)
2. Kasvinov, S.G. (2013). The Vygotsky system. Book 1: Learning and development of children and adolescents. Kharkiv: Raider, 460 p. (in Russian)
3. Sweller, J. (2011). Cognitive load theory. *Psychology of learning and motivation*, vol. 55, pp. 37–76. DOI: 10.1016/B978-0-12-387691-1.X0001-4
4. Sosnovtseva, E.V. (2025). Brain in order: How to improve memory, cope with overload and restore mental clarity. Moscow: Alpina Publisher, 325 p. (in Russian)
5. Lisitsyna, L.S. (2020). Fundamentals of fuzzy set theory. St. Petersburg: Universitet ITMO, 74 p. (in Russian)

6. **Hari, J.** (2025). Stolen focus: Why you can't pay attention and how to think deeply again. New York: Crown, 368 p.

7. **Gippenreiter, Yu.B., Romanov, V.Ya.** (2001). Psychology of attention. Moscow: CheRo, 309 p. (in Russian)

8. **Lando, S.K.** (2025). Combinatorics and graph theory. Moscow: MTsNMO, 358 p. (in Russian)

9. **Wirth N.** Algorithms and Data structures. New Jersey: Prentice-hall, 2009. 212 p.

10. **Semakin, I.G., Shestakov, A.P.** (2013). Fundamentals of algorithmization and programming: Practicum: Textbook. Moscow: Izdatelskiy thentr "Academia", 144 p. (in Russian)

11. **Lester, J.** (2024). Pause to think. Using mental models to learn and decide. Columbia Business School Publishing, 232 p.

12. **Khalin, V.G.** (Ed.). (2025). Decision theory in 2 Volumes. Vol. 1: Textbook and

workshop for universities. Moscow: Yurayt, 250 p. (in Russian)

13. **Gazzaniga, M.S.** (2009). The cognitive neurosciences. 4th ed. England, Bradford Press, 1377 p.

14. **Chuprikova, N.I.** (2019). Human reaction time: Physiological mechanisms, verbal-semantic regulation, connection with intelligence and nervous system properties: Monograph. Moscow: Izdatelskiy dom YaSK, 2019. 432 p. (in Russian)

15. **Malakh, O.N., Krestyaninova, T.Yu., Pitkevich, Yu.E.** (2019). Heart rate variability in assessing the functional state of the human body: Monograph. Moscow: Kompaniya KnoRus, 118 p. (in Russian)

16. **Gupta, S.** (2022). Keep sharp: Build a better brain at any age. New York, Simon & Schuster, Inc., 336 p.

### Сведения об авторе

**Кривогузов Иван Александрович**, диспетчер ОНУВД РДЦ, Региональный центр ЕС ОрВД (Санкт-Петербург), [krivoguzov78@yandex.ru](mailto:krivoguzov78@yandex.ru).

### Information about the author

**Ivan A. Krivoguzov**, Air Traffic Controller, Regional Control Center of The United Air Traffic Management System (Saint-Petersburg), [krivoguzov78@yandex.ru](mailto:krivoguzov78@yandex.ru).

Поступила в редакцию	29.04.2025	Received	29.04.2025
Одобрена после рецензирования	06.11.2025	Approved after reviewing	06.11.2025
Принята в печать	26.03.2026	Accepted for publication	26.03.2026