

УДК 621-501.72

**А.А. Стенин, проф., д-р техн. наук, О.М. Польшакова, ст. преп., Д.А. Гуменный, канд. техн. наук, С.А. Стенин**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» им. Игоря Сикорского, г. Киев, Украина*

*E-mail: srg2005@ukr.net*

## Оценка деятельности экипажей летательных аппаратов при их подготовке на тренажерных системах

Статья посвящена разработке методики и алгоритма оценивания деятельности группы операторов по результатам выполнения упражнений на тренажере. Приведенные в ней результаты дают возможность получить в реальном масштабе времени либо оценки экипажа в целом по режимам и учебным задачам при наличии оценок отдельных членов экипажа, либо оценки каждого члена экипажа по режимам и учебным задачам при наличии оценок экипажа в целом.

**летательный аппарат, экипаж, оператор, тренажер, оценка, структурно-логическая схема**

**О.А. Стенін, проф., д-р техн. наук, О.М. Польшакова, ст. викл., Д.О. Гуменний, канд. техн. наук, С.О. Стенін**

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» ім. Ігоря Сікорського, м.Київ, Україна*

**Оцінювання діяльності екіпажів літальних апаратів при їх підготовці на тренажерних системах**

Стаття присвячена розробленню методики та алгоритму оцінювання діяльності групи операторів за результатами виконання вправ на тренажері. Наведені у ній результати надають можливість отримати у реальному масштабі часу або оцінку екіпажу в цілому за режимами та навчальними завданнями при наявності оцінок окремих членів екіпажу, або оцінок кожного члену екіпажу за режимами та навчальними задачами при наявності оцінок екіпажу в цілому.

**літальний апарат, екіпаж, оператор, тренажер, оцінка, структурно-логічна схема**

### **Анализ основных публикаций и определение места исследований.**

Характеризуя деятельность экипажей летательных аппаратов (ЛА), нельзя не отметить следующее обстоятельство. Игнорирование взаимодействия в экипажах отдельных операторов может являться одной из причин снижения показателей качества работы системы «экипаж-ЛА» в целом [1].

Экипаж (группа операторов) является полиэргатической системой, качество функционирования которой определяется характеристиками не только отдельных операторов, но и коллектива как целого. Качество функционирования зависит от множества факторов, таких как слаженность коллектива, совместимость его членов, структура связей в коллективе, распределение функций и так далее [2, 3].

Для коллектива операторов, если он рассматривается как целое, гораздо сложнее получить количественные характеристики подобные характеристикам одного оператора, а некоторые характеристики вообще присущи только коллективу и не имеют аналогов для одного оператора. При анализе деятельности группы операторов, а также от того насколько неформальная структура группы совпадает с

формальной. В частности, формированию согласованных групп экипажей посвящена работа авторов [4]. Полученные ниже результаты касаются не только экипажей летательных операторов, но и любого коллектива операторов, управляющих сложными техническими системами.

**Постановка задачи.** Будем считать, что рабочие группы экипажей для обучения уже сформированы, тогда можно рассмотреть вопросы, касающиеся объединения (разделения) оценок при коллективной деятельности экипажа. Кроме того, будем выделять три уровня оценок: нижний (оценка по параметру); средний (оценка за режим (совокупность параметров)); верхний (оценка за учебную задачу (совокупность режимов)).

Задача оценки экипажей летательных аппаратов при их подготовке на тренажерных системах заключается в возможности получения в реальном масштабе времени либо оценки экипажа в целом по режимам и учебным задачам при наличии оценок отдельных членов экипажа, либо оценки каждого члена экипажа по режимам и учебным задачам при наличии оценок экипажа в целом.

**Изложение основного материала.** Для решения данной задачи необходимо иметь структурно-логическую схему взаимодействия операторов внутри экипажа, для которой примем в качестве функциональной единицы оценки деятельности экипажа отдельный режим.

Можно представить следующие основные варианты взаимодействия отдельных операторов экипажей при выполнении отдельного режима:

Вариант 1. Выполнение режима одним оператором.

Вариант 2. Параллельное (автономное) выполнение режима несколькими операторами.

Вариант 3. Параллельное (совместное) выполнение режима несколькими операторами.

Вариант 4. Последовательно-параллельное (автономное) выполнение режима несколькими операторами.

Вариант 5. Последовательное выполнение режима несколькими операторами.

Вариант 6. Последовательно-параллельное (смешанное) выполнение режима несколькими операторами.

Вариант 7. Параллельное (смешанное или совместно-автономное) выполнение режима несколькими операторами.

Вариант 8. Последовательно-параллельное (совместное) выполнение режима несколькими операторами.

На этих основных вариантах могут быть составлены более сложные комбинации взаимодействия операторов. Совокупность определенных режимов с полученными комбинациями взаимодействия операторов для конкретной учебной задачи и определяет структурно-логическую схему взаимодействия операторов экипажа для данной учебной задачи. Пример такой схемы, составленный для удобства дальнейшего рассмотрения из основных вариантов взаимодействия операторов, приведен на рис. 1. Здесь номер режима совпадает с номером варианта взаимодействия трех операторов при выполнении этого режима.

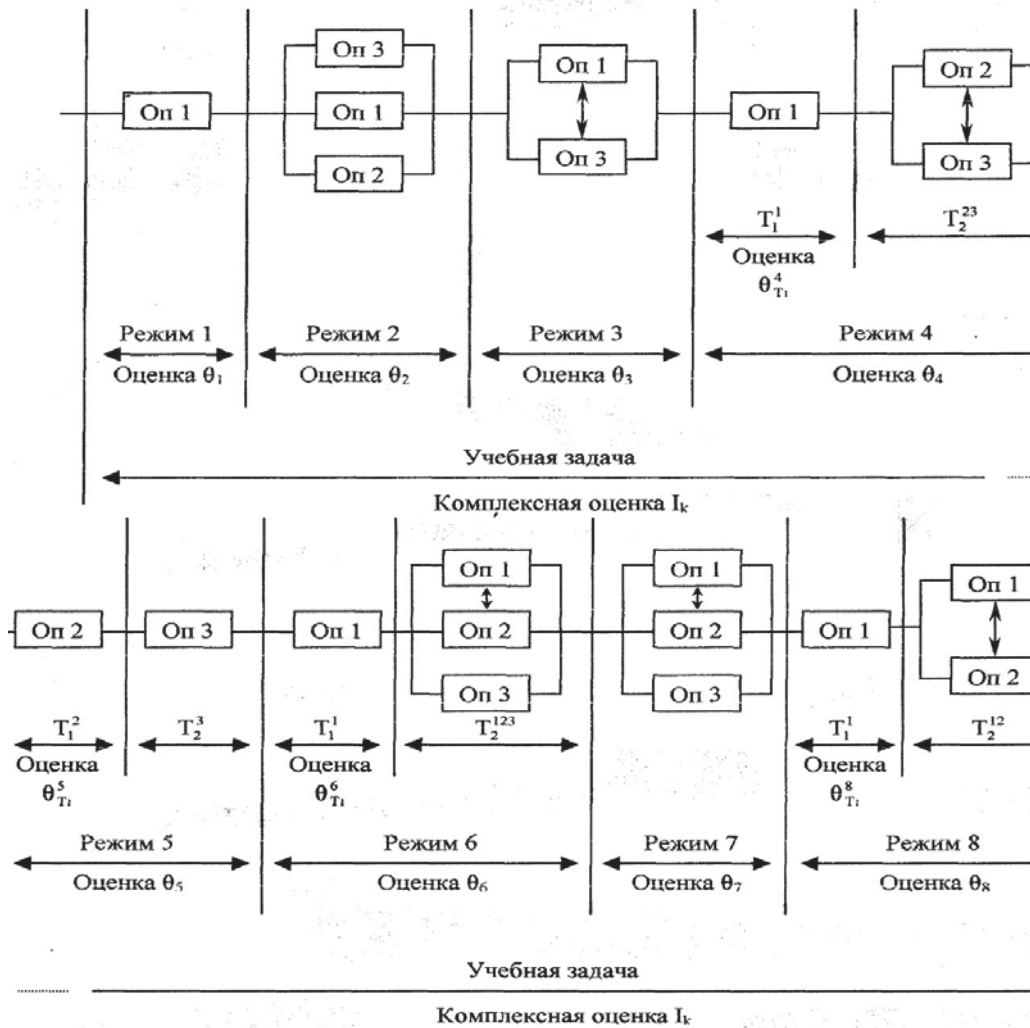


Рисунок 1 - Структурно-логическая схема взаимодействия операторов экипажа

Задача разделения оценок при коллективной деятельности операторов заключается в следующем: при наличии оценок деятельности экипажа по каждому режиму и всей учебной задаче в целом, выделить оценки каждого оператора при выполнении отдельных режимов и всей учебной задачи в целом.

Задача объединения оценок при коллективной деятельности операторов заключается в следующем: при наличии оценок деятельности отдельного члена экипажа по каждому режиму и всей учебной задаче в целом, определить оценки экипажа в целом при выполнении отдельных режимов и всей учебной задачи.

Рассмотрим вопросы разделения оценок при указанных ранее основных вариантах взаимодействия операторов в рамках отдельного режима. Пусть  $\theta_i^{(j)}$  – оценка  $j$ -го оператора  $l$ -м режиме.

**Вариант 1.**

В этом случае оценка за режим является одновременно и оценкой конкретного оператора его выполняющего. В частности, для режима 1 (рис. 1) оценка первого оператора определяется как

$$\theta_1^1 = \theta_1, \tag{1}$$

второй и третий операторы не оцениваются.

### Вариант 2.

Пусть число операторов равно  $k$ , а число контролируемых параметров равно  $m$ , причем первый оператор при управлении контролирует  $m_1$  параметр, второй –  $m_2$  и так далее,  $k$ -й оператор –  $m_k$ . Заданы коэффициенты значимости каждого параметра соответственно, то есть, заданы  $\lambda_i, (i = \overline{1, m})$ . Считаем, что на нижнем уровне формируются. Далее будем разделять три уровня оценки  $I_i, (i = \overline{1, m})$  по каждому параметру. Так как работа операторов в данном случае независима, для оценки каждого из них необходимо агрегировать оценки только по контролируемым параметрам. Для этого необходимо пересчитать коэффициенты значимости следующим образом.

Для удобства коэффициенты значимости  $\lambda_i, (i = \overline{1, m})$  и оценки  $I_i$  можно представить как  $\lambda_{ij}$  и  $I_{ij}, (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, k})$ , где  $j$  — определяет номер оператора, а  $i$  — число контролируемых им параметров. Тогда перечисленные значения  $\lambda_{ij}$  определяются как

$$\bar{\lambda}_{ij} = \frac{\lambda_{ij}}{\sum_{i=1}^{m_j} \lambda_{ij}}, (j = \overline{1, k}). \quad (2)$$

Отсюда оценка  $j$ -го оператора за режим

$$\theta^{(j)} = \sum_{i=1}^{m_j} \bar{\lambda}_{ij} I_{ij}, (j = \overline{1, k}). \quad (3)$$

В частности, для режима 2 (рис. 1) подобным образом оцениваются все три оператора, то есть рассчитываются оценки  $\theta_2^{(1)}, \theta_2^{(2)}, \theta_2^{(3)}$ .

### Вариант 5.

Пусть имеется следующая цепочка из  $k$  операторов (рис. 2).

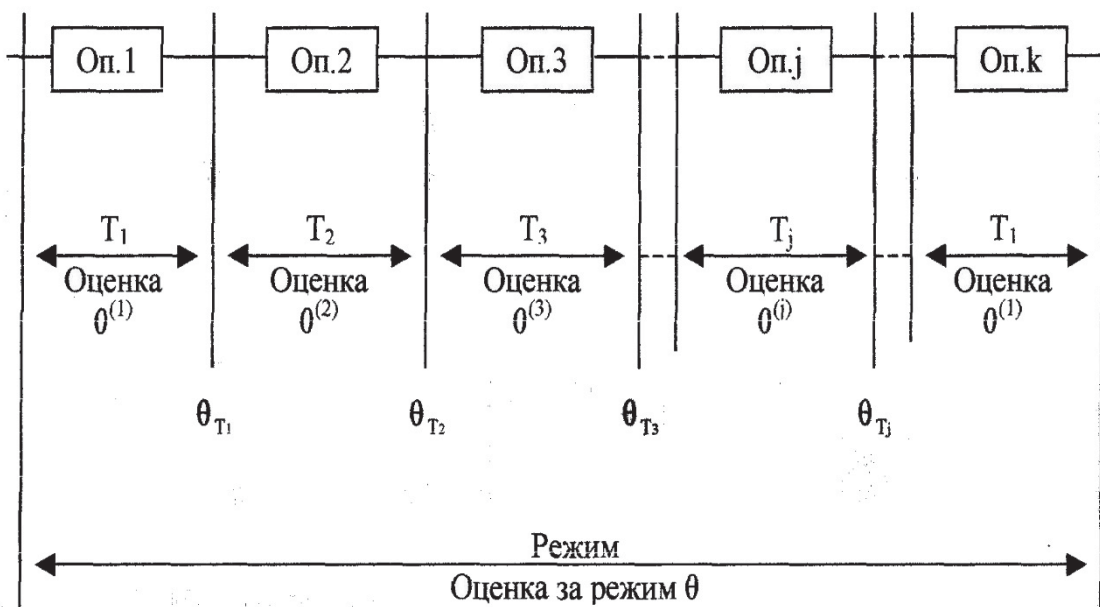


Рисунок 2 - Структурно-логическая схема для  $k$  работающих последовательно операторов

Все операторы при управлении, работают последовательно и контролируют  $m$  параметров.

В этом случае согласно алгоритмам раздела 2 на первом интервале  $T_1$  оценка  $\theta_{T_1}$  и является оценкой первого оператора в данном режиме

$$\theta^{(1)} = \theta_{T_1}. \quad (4)$$

На втором интервале оценка второго оператора оказывается независимой от оценки первого оператора. Беря за основу соотношения времени работы двух операторов и значение оценки  $\theta_{T_2}$ , определенное последовательной работой, оценку второго оператора можно определить следующей, полученной эмпирическим путем формулой

$$\theta^{(2)} = \theta_{T_2} + \frac{T_2(\theta_{T_2} - \theta_{T_1})}{\sum_{i=1}^2 T_i}. \quad (5)$$

Рассуждая аналогичным образом для следующих операторов, можно получить рекуррентное соотношение для оценки  $j$ -го оператора

$$\theta^{(j)} = \theta_{T_j} + \frac{T_j(\theta_{T_j} - \theta_{T_1})}{\sum_{i=1}^j T_i}, (j = \overline{1, k}). \quad (4)$$

Следует отметить, что не все  $k$  операторов обязательно будут работать в данном режиме и не всегда они располагаются в указанном порядке, В таком случае для работы рекуррентной формулы необходимо провести соответствующие преобразования. В частности, для режима 5 (рис. 1) таким образом оцениваются только операторы 2 и 3, то есть имеем  $\theta_5^{(2)}, \theta_5^{(3)}$ .

### Вариант 3.

Разделение оценок при совместной работе нескольких операторов рассмотрим на примере работы двух операторов. Пусть они при управлении контролируют  $m$  параметров, из которых  $m_1$  параметр являются определяющими при управлении для первого оператора (остальные, как правило, не имеют возможности их контролировать), а  $m_2$  параметра являются определенными для второго оператора при тех же условиях. При совместном управлении существует определенное влияние (на практике, как правило, незначительное) изменения органов управления одного оператора на изменение значений контролируемых другим оператором параметров.

Такое допущение позволяет избежать сложных математических выкладок, и решить задачу в рамках предложенных в разделе 2 алгоритмов оценки и контроля.

При реализации данного режима по известным коэффициентам значимости  $\lambda_i, (i = \overline{1, m})$  можно определить общую оценку за режим:

$$\theta = \sum_{i=1}^m \lambda_i I_i, \quad (6)$$

где  $I_i$  – значение критерия оценки на нижнем уровне, то есть по  $i$ -му параметру.

Полученную оценку можно представить как

$$\theta = \sum_{j=1}^2 \theta_{\Delta}^{(j)}, \quad (7)$$

где

$$\theta_{\Delta}^{(j)} = \sum_{i=1}^{mj} \lambda_{ij} I_{ij}, (j = 1, 2) \quad (8)$$

вклад  $j$ -го оператора в общую оценку за режим.

Влияние  $j$ -го оператора на общую оценку можно представить следующим коэффициентом:

$$\alpha_j = \frac{\theta_{\Delta}^{(j)}}{\theta}. \quad (9)$$

Если ввести нормированные коэффициенты  $\lambda_{ij}$ , рассчитанные аналогично формуле (2), то по формуле (3) можно рассчитать первое приближение оценки первого и второго операторов за режим, то есть  $\tilde{\theta}^{(1)}$  и  $\tilde{\theta}^{(2)}$ .

Коррекция оценок каждого из двух операторов за режим проводится следующим образом:

$$\begin{aligned} \theta^{(1)} &= \tilde{\theta}^{(1)} + a_2(\theta - \tilde{\theta}_{\Delta}^{(2)}); \\ \theta^{(2)} &= \tilde{\theta}^{(2)} + a_1(\theta - \tilde{\theta}_{\Delta}^{(1)}). \end{aligned} \quad (10)$$

В случае  $k$  операторов формулы (8) и (10) имеют следующий вид:

$$\theta = \sum_{j=1}^k \theta_{\Delta}^{(j)}; \quad (11)$$

$$\theta^{(j)} = \tilde{\theta}^{(j)} + \sum_{\substack{i \neq j \\ i=1}}^k \alpha_i (\theta - \tilde{\theta}_{\Delta}^{(i)}). \quad (12)$$

В частности, для режима 3 (рис. 1) таким образом могут быть оценены операторы 1 и 3, то есть получены оценки  $\theta_3^{(1)}$  и  $\theta_3^{(3)}$ .

Во всех остальных случаях, в том числе и в оставшихся основных вариантах, взаимодействия соответствующие на рис. 1 режимам 4, 6, 7, 8, разделение оценок производится сочетанием предложенных выше алгоритмов. Например, для режима 4 оценка каждого из трех операторов производится следующим образом:

1. Оценка оператора 1 определяется как  $\theta_4^{(1)} = \theta_{T1}^4$ .
2. По формуле (6) определяется общая оценка  $\theta_4^{(2,3)}$  параллельной (автономной) работы операторов 2 и 3.
3. По формуле (3) определяется оценка  $\theta_4^{(2)}$  и  $\theta_4^{(3)}$  каждого из операторов 2 и 3.

В результате, для каждой учебной задачи на основании ее структурно-логической схемы можно получить оценки операторов в каждом режиме (разделение оценок). Так, для учебной задачи представленной на рис. 1 получаются следующие наборы оценок для каждого из операторов:

1-й оператор:  $\theta_1^{(1)}, \theta_2^{(1)}, \theta_3^{(1)}, \theta_4^{(1)}, \theta_5^{(1)}, \theta_6^{(1)}, \theta_7^{(1)}, \theta_8^{(1)}$ ;

2-й оператор:  $\theta_2^{(2)}, \theta_4^{(2)}, \theta_5^{(2)}, \theta_6^{(2)}, \theta_7^{(2)}, \theta_8^{(2)}$ ;

3-й оператор:  $\theta_2^{(3)}, \theta_3^{(3)}, \theta_4^{(3)}, \theta_5^{(3)}, \theta_6^{(3)}, \theta_7^{(3)}$ .

Поскольку каждая из учебных задач, решаемая операторами в процессе обучения, определяется совокупностью режимов, а следовательно совокупностью полученных оценок каждым оператором по каждому режиму, возникает необходимость получения результирующей оценки каждого оператора за выполнение конкретной учебной задачи, то есть возникает задача объединения оценок  $\theta_i^{(j)}$ .

Такое объединение целесообразно проводить по алгоритму формирования среднего уровня и верхнего уровня оценок, приведенному в работе авторов [5].

**Выводы.** Приведенные в данной статье результаты дают возможность получить в реальном масштабе времени либо оценки экипажа в целом по режимам и учебным задачам при наличии оценок отдельных членов экипажа, либо оценки каждого члена экипажа по режимам и учебным задачам при наличии оценок экипажа в целом. Полученные результаты касаются не только экипажей летательных операторов, но и любого коллектива операторов, управляющих сложными техническими системами.

## Список литературы

1. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов ЛА [Текст] / под ред. Шукшунова В.Е. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
2. Губинский, А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем [Текст] / А.И. Губский – Л.: Наука, 1982. – 270 с.
3. Зайцев, В.С. Системный анализ операторской деятельности [Текст] / В.С. Зайцев – М.: Радио и связь, 1990. – 120с.
4. Стенин, А.А. Социометрический подход к формированию экспертных групп на основе методов взаимной компетенции и диаграмм Вейча [Текст] / А.А. Стенин, А.Н. Губский, С.А. Стенин // Проблемы информационных технологий; Херсонский национальный технический университет. – 2012. – №2(012). – С. 6-10.
5. Стенин, А.А. Синтез иерархической структуры критериев оценки деятельности операторов сложных технических систем [Текст] / А.А. Стенин, С. А. Стенин, М.М. Ткач, А.Н. Губский, С.А. Стенин // Вісник НТУУ КПІ.-Інформатика та обчислювальна техніка. – К.: Век. – 2012. – №57. – С.40-45.

**Alexandr Stenin, Prof., DSc., Olga Polshakova, Sr. Lect., Dmitryy Gumenniy, Phd tech. sci., Sergey Stenin**

*National Technical University of Ukraine “Kievskiy politechnichny institute” named after Igor Sykorsky, Kiev, Ukraine*

### **Evaluation of the activity of crews of aircraft during their training on simulator**

An effective means to improve the training of operators are automated training systems (ATS). In recent years, ATS in addition to traditional areas, such as aviation, aerospace, marine fleet are finding increasingly wide application in industry, energy and other sectors of the economy.

Improvement of operator performance is the subject of a number of sciences and, in particular, the theory of ergatic systems.

Outlined in this article, the results enable us to obtain real-time estimates of the crew in general, the modes and learning objectives in the presence of ratings of individual members of the crew, or the grades of every crew member on the modes and learning objectives in the presence ratings of the crew as a whole. The results relate not only to the crews of aircraft operators, but also to any group of operators that control complex technical systems.

**aircraft, crew, operator, simulator, evaluation, structural-logical scheme**

Одержано 05.04.17