

УДК 656.7.071:658.386

ББК 74.570.22

**ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К ПЛАНИРОВАНИЮ ПОДГОТОВКИ
КУРСАНТОВ ЛЕТНЫХ УЧИЛИЩ С УЧЕТОМ УРОВНЯ
НАТРЕНИРОВАННОСТИ И КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ
ПОЛЕТНОГО ЗАДАНИЯ**

Владимир Валентинович Устинов

**старший преподаватель кафедры авиационных электросистем и
пилотажно-навигационных комплексов**

**Московский государственный технический университет гражданской
авиации (Иркутский филиал)**

Иркутск, Россия

ustinov_1956@mail.ru

Павел Сергеевич Назаров

старший преподаватель кафедры радиоэлектронных систем

**Санкт-Петербургский государственный университет гражданской
авиации**

Санкт-Петербург, Россия

nazps@yandex

В статье предложены методики и алгоритмы распознавания маневров и фигур пилотажа, балльной оценки качества выполнения полетного задания, расчета весовых коэффициентов значимостей параметров полета, входящих в критерий оценивания и весовых коэффициентов элементов полета, входящих в упражнение, оценки уровня натренированности курсантов летных училищ с учетом качества выполнения полетного задания и перерывов в летной подготовке.

Ключевые слова: безопасность полетов, программы летной подготовки, оценка натренированности, оценка качества пилотирования, весовые коэффициенты, распознавание образов, вероятность и статистика, нормальный закон распределения случайных величин.

**ONE OF THE APPROACHES TO DESIGNING TRAINING FOR
FLIGHT STUDENTS BASED ON THE PROFICIENCY LEVEL AND THE
PERFORMANCE OF THE FLIGHT TASK**

Vladimir Valentinovich Ustinov

**Senior lecturer of the Department of aviation electrical systems
and flight and navigation systems**

Irkutsk Branch of Moscow State Technical University of Civil Aviation

Irkutsk Russia

Ustinov_1956@mail.ru

Pavel Sergeevich Nazarov

Senior lecturer of the Department of radio electronic systems

Saint Petersburg State University of Civil Aviation

Saint-Petersburg, Russia

nazps@yandex

The article offers methods and algorithms for recognizing maneuvers and aerobatic figures, scoring the quality of flight task performance, calculating the weight coefficients of the significance of flight parameters included in the evaluation criteria and the weight coefficients of flight elements included in the exercise, evaluating the level of training of flight students taking into account the quality of flight task performance and breaks in flight training.

Keywords: flight safety, flight training programs, training assessment, flight performance assessment, weight coefficients, pattern recognition, probability and statistics, normal distribution law of random variables.

Задачи по оценке уровня натренированности летного состава и оценке качества выполнения полетного задания в настоящее время решаются вручную без использования специализированного программного обеспечения, что может привести к появлению ошибок в планировании и выпуску в полет неподготовленного летчика.

В качестве существенного недостатка выступает наличие элемента субъективизма при оценивании уровня профессиональной подготовки лётного состава, не учтены весовые коэффициенты значимостей элементов полета в упражнении, нет учета оценки за качество техники пилотирования каждого элемента и упражнения в целом. Кроме того, оценки за технику пилотирования выставляются по отдельным параметрам полета, с выставлением общей оценки как среднее значение, что противоречит реальным оценкам, выставленным в летных книжках, где инструктор субъективно учитывает значимость параметров и элементов полета. Таким образом, нет обобщенного объективного количественного комплексного показателя качества техники пилотирования по каждому выполненному элементу полета или маневру.

Многоаспектный конструктивный анализ уровня подготовки летного состава с использованием данных систем объективного контроля и ПЭВМ является одним из важнейших звеньев в цепи задач, направленных на повышение уровня безопасности полетов.

Пример выполнения программы подготовки и выставления оценок по нормативным документам показан на рисунке 1.

В работе решались следующие основные задачи:

1. Разработка алгоритмов распознавания элементов полета, фигур пилотажа и маневров ВС.
2. Выбор параметров оценивания.
3. Выбор характерных точек на траектории выполнения заданного маневра.
4. Разработка алгоритма и критерия оценивания качества техники пилотирования.

5. Разработка алгоритма расчета весовых коэффициентов значимостей параметров в характерных точках траектории выполняемого маневра.

6. Разработка алгоритма расчета весовых коэффициентов значимостей элементов полета в упражнении.

7. Разработка методики и алгоритма расчета уровня натренированности летного состава с учетом качества техники пилотирования и перерывов в летной подготовке.

8. Выработка основных подходов к определению ошибок в управлении ВС.

л-г Щербанюк В.Н., б/к		
Упражнение № 4		
Элементы полета	Оценки.	Общая оценка
Взлет	4	4
Набор Н	4	
Виравж $\gamma=45^\circ$	3	
Виравж $\gamma=60^\circ$	5	
Виравж форсир.	4	
Горка $\theta=30^\circ$	4	
Пикирование $\theta=30^\circ$	5	
Горка $\theta=45^\circ$	4	
Боевой разворот	4	
Горизонт. бочка	3	
Нисходящая спираль	5	
Заход на посадку	4	
Посадка	5	

Программа подготовки №1

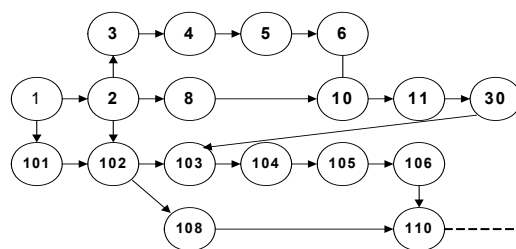


Рисунок 1 – Оценки за технику пилотирования по элементам полета и пример программы летной подготовки

В настоящее время существует несколько подходов к решению задачи распознавания манёвров и фигур пилотажа. Некоторые из них основаны на допусковом контроле и логической обработке регистрируемых параметров и сигналов, правилом классификации других является построение разделяющей гиперплоскости.

Общим недостатком в этих работах является то, что в качестве исходных данных использованы абсолютные значения параметров полета, а процесс

распознавания фигур пилотажа осуществляется на основе информации, полученной по результатам распознавания элементов этих фигур.

Одним из наиболее простых и приемлемых для целей распознавания на комплексе выполняемых фигур пилотажа является метод, основанный на использовании аппарата алгебры-логики, предложенный автором [Кибардин, 1991].

При наличии в авиакомпаниях современных наземных комплексов обработки полетной информации записей бортовых регистраторов, решение задачи распознавания таких основных элементов как взлет и посадка ВС не актуальна. Кроме того, нет также необходимости распознавания характерных точек на траекториях выполнения этих маневров и параметров оценивания. Характерные точки и оцениваемые параметры задаются оператором при запуске программы обработки полетных данных по нормативному «портрету полета».

В работе предложено для апробации алгоритма и критерия оценивания качества техники пилотирования для этапа посадки ВС выделить 5 точек, программно определенных на сигналограмме, и 5 аналоговых параметров.

Данные точки характеризуются следующими показателями:

- выпуск передней стойки шасси;
- выпуск закрылков;
- пролет ДПРМ;
- пролет БПРМ;
- обжатие правой стойки при посадке.

Пример «Портрета полета» для этапа посадки показан в таблице 1, а сигналограмма на рисунке 2 и рисунке 3.

Параметрами для оценивания техники пилотирования в соответствии с рекомендациями нормативных документов и «портретом полета» выбраны: геометрическая высота полета H_r ; приборная скорость полета $V_{пр}$; нормальная перегрузка n_y ; угол крена γ ; угол тангажа $\acute{\omega}$.

Аналогично производится выбор характерных точек и замер параметров в

них и для этапа взлета. Пример сигналограммы показан на рисунке 3.

Следующей задачей ставилась разработка алгоритма и критерия оценки качества техники пилотирования за выполненный элемент полета.

Таблица 1 – Пример «Портрета полета» для этапа посадки

Номер сообщения	Краткий текст сообщения	Полный текст сообщения
1	2	3
113	V > допустимой при отклонённых закрылках	Скорость более допустимой при отклонённых закрылках
118	V > допустимой при выпущенных шасси	Скорость более допустимой при выпущенных шасси
249	При снижении V < реком. при H < 10 км.	При снижении на высоте менее 10000 м скорость менее рекомендованной
261	Высота пролёта ДПРМ более установленной	Высота пролёта ДПРМ более установленной

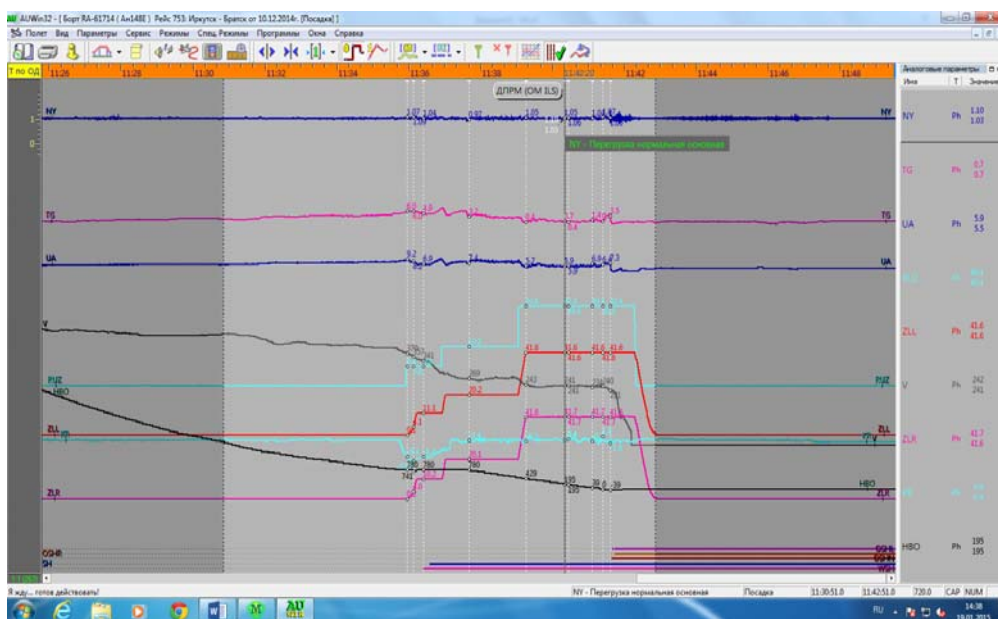


Рисунок 2 – Пример сигналограммы с выводом характерной точки «Пролет ДПРМ» и значений выбранных параметров

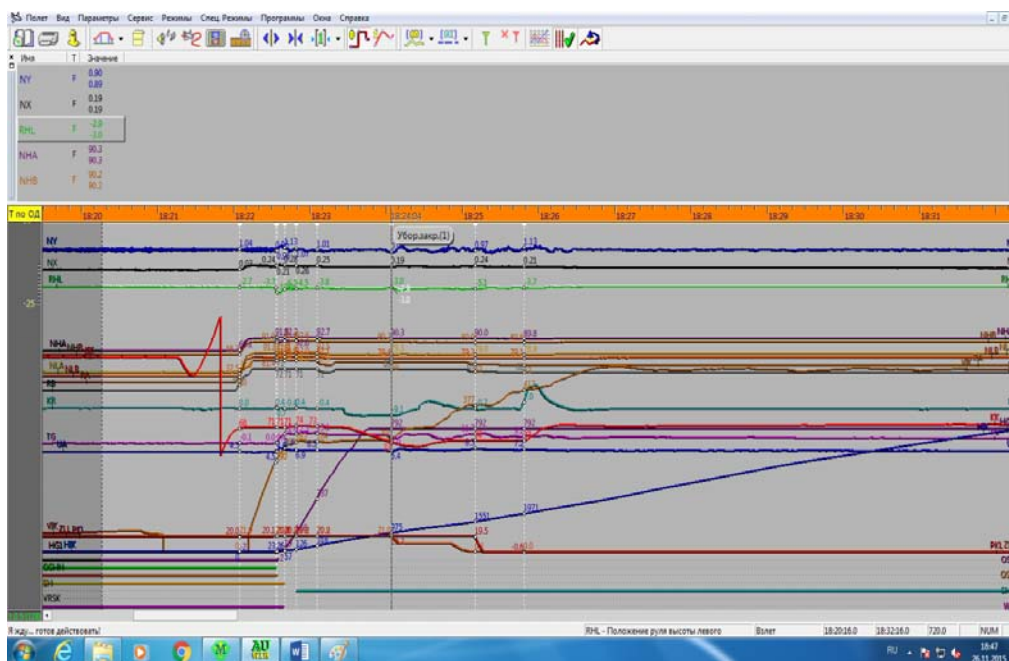


Рисунок 3 – Пример сигналлограммы с выводом характерной точки «Уборка закрылков» и значений выбранных параметров

В настоящее время существуют методики, изложенные в работах [Полуэктов, 2008; Устинов, 2011].

Однако они имеют множество недостатков, основными из которых являются:

1. Необходимость хранения большого объема данных о параметрах полета на всем временном интервале оценивания.
2. Не учтены значимости параметров.
3. Не учтены корреляционные связи между параметрами.
4. Не обоснован принцип выбора параметров оценивания.
5. Оценивание качества техники пилотирования производится на основании субъективного мнения инструкторов, а балльные оценки выставляются по существующим нормативным документам при анализе сигналлограмм за выполнение отдельных элементов полета и упражнений в целом. Пример выставления оценок по нормативным документам показан в таблице 2.

В работе в качестве критерия оценивания используется показатель степени n -мерного нормального закона распределения [Вентцель, 2006].

Таблица 2 – Пример выставления оценок по нормативным документам

Оцениваемые элементы	5	4	3	По 2-х балльной системе
Взлет: атаки	<u>установ</u>	больше на 1°	больше на 2°	
Выражи: γ до 45°				
Выдерживание V, км/ч	40	60	80	80
Выдерживание H, м:				
-предельно малой	+20	+40	+80	+80
-малой	20	40	80	80
-средней и большой	40	60	100	100

Из общего выражения вытекают все формы нормального закона для любого числа измерений и для любых видов зависимости между случайными величинами.

Анализ этих законов позволяет определить критерий оценки качества техники пилотирования, который может быть выражен формулой [Кибардин, 1999; Кашковский, 2013].

$$X_0^T M^{-1} X_0 \leq G(t),$$

где $X_0 = \frac{(\bar{X} - X)^2}{\sigma^2};$

M – корреляционная матрица размерностью $n \times n$;

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор текущих значений параметров;

$\bar{X} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ – вектор математических ожиданий значений параметров;

$\sigma^2 = (\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2)$ – вектор среднеквадратических значений параметров;

$G(t)$ – эталонные значения критерия оценивания, выраженные в долях среднеквадратических отклонений.

Так как произведение предложенных матриц является числом, то оценка может быть представлена шкалой, показанной на рисунке 4.

Весовые коэффициенты значимостей параметров в алгоритме оценивания определяются путем обработки карт попарного сравнения [Устинов, Маликова, 1988].

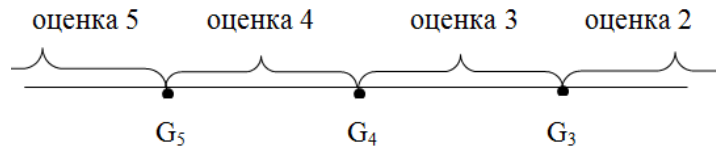


Рисунок 4 – Пример выставления балльных оценок за технику пилотирования

Весовые коэффициенты вычисляются по формуле

$$K_i^1 = \frac{\sum_{j=1}^n X_{i,j}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{i,j}} \quad ; \quad \sum_{j=1}^n K_i^1 = 1.$$

Коэффициент конкордации или согласованности мнений экспертов W определяется по формуле:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n)}.$$

В общем виде ставится задача решения системы вида: для расчета весовых коэффициентов значимостей элементов полета в упражнении обычные математические методы недостаточны из-за вырожденности матриц коэффициентов. Поэтому для расчетов брались балльные оценки за технику пилотирования по элементам полета и упражнения в целом из летных книжек, и использовался метод сингулярного разложения [Форсайт, 1980].

$$Ax=b,$$

где A – матрица коэффициентов размерностью $m \times n$ -оценки за элементы полета;

b – матрица правых частей, размерностью $m \times 1$ -оценки за упражнение в целом.

Для решения этой системы исходная матрица A преобразуется к виду:

$$A=U\Sigma V^T.$$

Сначала путем замены переменных, исходную матрицу заменяют на типовую:

$$\Sigma Z=d,$$

где $Z=V^T x$; $d=U^T b$.

Так как известны Z и V , можно определить и неизвестные x исходные уравнения:

$$Ax=b, \quad x=VZ.$$

Оценка уровня натренированности летного состава с учетом качества выполнения полетного задания и перерывов в летной деятельности проводилась по методике, изложенной в литературе [Назаров, 2016].

Известно, что в процессе освоения каких-либо практических навыков степень их закрепления подчиняется экспоненциальному закону [Шишкин, 2007]

$$K_n = K_0 + (1 - e^{-aCn}),$$

где K_0 – начальное значение коэффициента натренированности;

K_n – степень закрепления навыков;

C – балльная оценка за полет;

n – количество упражнений заданных программой подготовки;

a – коэффициент.

Для расчета K_n , для заданного количества полетов, рассчитывается коэффициент «а» в соответствии с этим рассчитываются значения функции распределения по формуле:

$$F(x) = \left(1 - e^{-acn}\right)$$

Принимаем значения этой функции как эталонные значения.

$$K_{H1} = 0.05 + (1 - e^{-5 \times 0.12 \times 1}) = 0.05 + (1 - e^{-0.6}) = 0.05 + (1 - 0.55) = 0.5$$

$$K_{H3} = 1 - e^{-5 \times 0.12 \times 3} = 1 - e^{-1.8} = 1 - 0.17 = 0.83$$

$$K_{H2} = 1 - e^{-5 \times 0.12 \times 2} = 1 - e^{-1.2} = 1 - 0.3 = 0.7$$

$$K_{H4} = 1 - e^{-5 \times 0.12 \times 4} = 1 - e^{-2.4} = 1 - 0.09 = 0.91$$

$$K_{H5} = 1 - e^{-5 \times 0.12 \times 5} = 0.05 + (1 - e^{-3}) = 1 - 0.05 = 0.95 \approx 1.$$

Уменьшение K_n является лишь функцией времени перерыва в тренировке и определяется выражением:

$$K_n(t) = K_n(t_0) \times e^{-b(t-t_0)},$$

где K_n – натренированность на момент времени t_0 ;

b – коэффициент, определяемый для каждого летчика экспериментально, исходя из возможных перерывов в летной деятельности;

t – текущий (заданный) момент времени.

Коэффициент растренированности рассчитывается по формуле:

$$K_p = e^{-bt}.$$

При принятых значениях: $K_p=0.05$, $T=15$ исходное уравнение будет иметь вид:

$$0.05 = e^{-15b}.$$

Решаем это уравнение относительно коэффициента «б»:

$$\ln 0.05 = -15b,$$

$$b = -\frac{\ln 0.05}{15} = 0.2.$$

По предлагаемой методике рассчитываются все коэффициенты «а» и «б» для других упражнений.

Так как курсанты летных училищ летают с определенной периодичностью по расписанию, и перерывы в полетах не более трех дней, коэффициентом растренированности K_p можно пренебречь, так как (K_p по расчетным данным равен 0.05).

Пример графика изменения коэффициента натренированности показан на рисунке 5.

В работе также предложена программа на алгоритмическом языке Delphi, позволяющая реализовать предложенные алгоритмы отслеживания уровня натренированности с учетом качества выполнения полетного задания, которая позволяет просмотреть процесс выполнения программы летной подготовки.

Процесс перерывов в летной подготовке осуществляется автоматически, а выполнение полетного задания вносится вручную по количеству выполняемых упражнений и полученной балльной оценки за технику пилотирования.

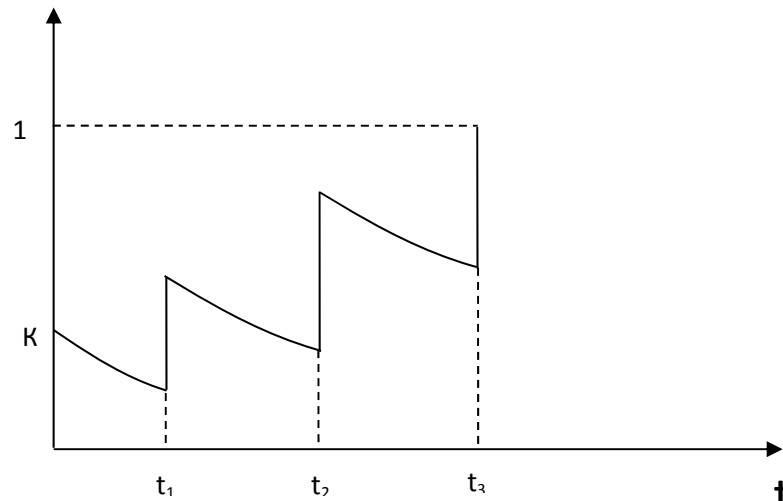


Рисунок 5 – График изменения коэффициента натренированности летного состава с учетом перерывов в подготовке

Пример функций работы программы показан на рисунках 6, 7.

Натренированность летного состава АП

Файл Настройки Таблица ?

1 эскадрилья

Натренированность Редактор КБП

№ П/П	Воинское звание	Фамилия Имя Отчество	Классность летчика	Номер упражнения	Время перерыва	Ко	Вылетов по упражнению	Оценка упражнения	коэфф. А	коэфф. Р	Кн
9	лейтенант	Агеев Ю.П.	б/к	1	5	0,3	1	3	0,149		0,3
2	майор	Карацуба В.И.	1	10	4	0,8	8	4	0,149		0,8
1	майор	Громов И.Ю.	1	1	4	0,85	9	5	0,149		0,85
11	лейтенант	Циренгаев Р.В.	б/к	1	2	0,3	1	3	0,149		0,9
3	капитан	Оленьев М.В.	1	2	6	0,6	4	4	0,149		0,79
6	ст. лейтенант	Лемех Ю.Н.	3	11	4	0,45	3	3,5	0,149		0,5
5	капитан	Мишин И.Л.	2	2	7	0,55	4	4	0,149		0,55
4	капитан	Петров К.Р.	2	2	3	0,6	4	4	0,149		0,6
7	ст. лейтенант	Таржиев Р.М.	3	2	7	0,45	3	4	0,149		0,52
10	лейтенант	Терешков А.В.	б/к	2	5	0,3	2	3	0,149		0,3
9	лейтенант	Щербенок В.Н.	б/к	3	2	0,3	2	4	0,149		0,4

Рисунок 6 – Диаграмма прохождения подготовки летного состава

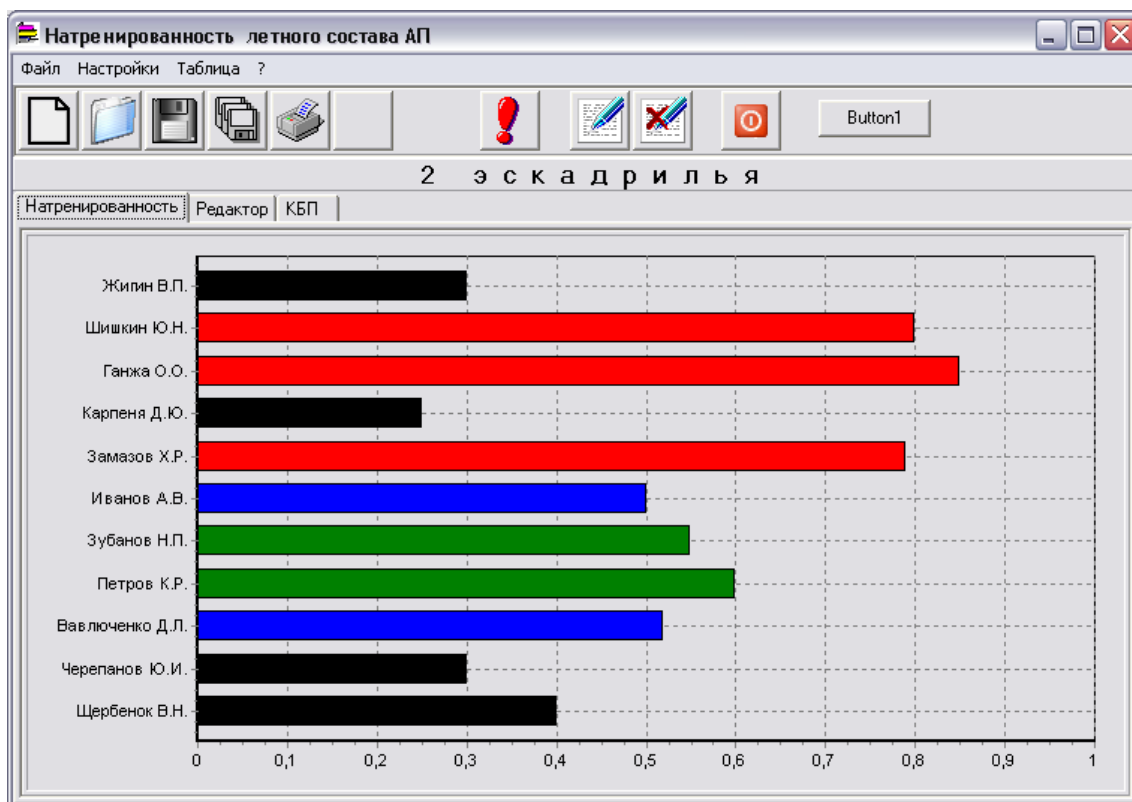


Рисунок 7 – Диаграмма отслеживания уровня натренированности летного состава

Библиографический список

1. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей: учебное пособие для вузов. 10-е изд. М.: Высшая школа, 2006. 575 с.
2. *Кашковский В. В.* Методика объективной оценки профессиональной подготовленности летного состава маневренных самолетов / В. В. Кашковский, В. В. Устинов // Научный вестник МГТУГА, 2013. № 187 (1). С. 161–163.
3. *Кибардин Ю. А.* Методика и алгоритм распознавания маневров и фигур пилотажа по данным СОК / Ю. А. Кибардин, В. В. Устинов // Научно-методические материалы по проблемам обеспечения безопасности полетов. М.: ВВИА, 1991. С. 1–18.
4. *Кибардин Ю. А.* Устройство для оценки качества пилотирования самолета летчиком / Ю. А. Кибардин, В. В. Кашковский, В. В. Устинов, Ю. Н. Шишкин. Патент на изобретение RU 2136046 С1, 27.08.1999. Заявка № 98106546/09 от 30.03.1998.
5. *Назаров С. П.* Один из подходов к оцениванию уровня подготовки курсантов летных училищ с учетом качества выполнения полетного задания / С. П. Назаров, В. В. Устинов // Сборник трудов III Всероссийской научно-технической конференции преподавателей, научных работников и аспирантов с международным участием

«Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации». ИФ МГТУ ГА, Иркутск, 2016. С. 84-91.

6. *Полуэктов С. П.* Методика и алгоритм объективного оценивания уровня натренированности летного состава (депонированная рукопись) / С. П. Полуэктов, В. В. Устинов, Ю. Н. Шишкин // Сборник рефератов деп. рукописей, вып. 82, серия Б, инф. Б, М.: ЦВНИ МО РФ, 2008.

7. *Устинов В. В.* Алгоритмическое обеспечение поддержки принятия решений инструкторским составом по планированию летной подготовки // Международная научно-техническая конференция, посвященная 40-летию образования МГТУ ГА. М.: МГТУ ГА, 2011. С. 40-50.

8. *Устинов В. В.* Методика, алгоритм и программа статистической обработки результатов экспертного опроса / В. В. Устинов, Т. В. Маликова. М.: М-во обороны СССР в/ч 11520. 1988. 20 с. Библиогр.: С. 20. Деп. в УПИМ, вып.6, серия Б. 1988. № 3147.

9. *Форсайт Дж.* Машинные методы математических вычислений / Дж. Форсайт, М. Малькольм, К. Моулер. М.: Мир, 1980. 280 с.

10. *Шишкин Ю. Н.* Методика объективного оценивания уровня обученности курсантов летных училищ и планирования их летной подготовки / Ю. Н. Шишкин, В. В. Устинов, А. С. Желтухин // Межвузовский сборник «Актуальные проблемы вузов ВВС», вып.23. М: МО РФ, ВВС, 2007. С. 15-18.

References

1. *Forsythe J.* (1980) Machine methods of mathematical calculations. J Forsythe, M. Malcolm, K. Moulser. M: Mir, 1980. 280 p. (In Russian).

2. *Kashkovsky V. V.* (2013) Method of objective assessment of the professional training of the flight crew of maneuverable aircraft / V. V. Kashkovsky, V. V. Ustinov // Scientific Bulletin of MSTUCA, 2013. No. 187 (1). Pp. 161-163. (In Russian).

3. *Kibardin Y. A.* (1999) Device for evaluating the quality of piloting an aircraft by a pilot / Y. A. Kibardin, V. V. Kashkovsky, V. V. Ustinov, Y. N. Shishkin. The patent for the invention EN 2136046 C1, 27.08.1999. Application N. 98106546/09 dated 30.03.1998. (In Russian).

4. *Kibardin Y. A.* (1991) Method and algorithm for recognition maneuvers and maneuvers according to SDC / Y. A. Kibardin, V. V. Ustinov // Scientific and methodological materials on safety. M: VVIA, 1991. Pp. 1-18. (In Russian).

5. *Nazarov S. P.* (2016) One of the approaches to assessing the level of training of flight students taking into account the quality of flight tasks / S. P. Nazarov, V. V. Ustinov // Collected

papers of the 3d all-Russian scientific and technical conference of teachers, researchers and postgraduates with international participation "Current problems and prospects of civil aviation development". MSTU CA, Irkutsk, 2016. Pp. 84-91. (In Russian).

6. *Poluektov S. P.* (2008) Method and algorithm for objective assessment of the level of training of flight personnel (deposited manuscript) / S. P. Poluektov, V. V. Ustinov, Y. N. Shishkin // Collection of abstracts of deposited manuscripts, vol. 82, series B, INF. B, M.: CVNI MO RF, 2008. (In Russian).

7. *Shishkin Y. N.* (2007) Method of objective assessment of the level of training of flight students and planning their flight training / Y. N. Shishkin, V. V. Ustinov, A. S. Zheltukhin // Intercollegiate collection "Actual problems of air force universities", vol.23. M: MD RF, AF, 2007. Pp. 15-18. (In Russian).

8. *Ustinov V. V.* (2011) Algorithmic support for decision-making by instructors for flight training planning // International Scientific and Technical Conference dedicated to the 40th anniversary of the MSTUCA. M: MSTUCA, 2011. Pp. 40-50. (In Russian).

9. *Ustinov V. V.* (1988) Methodology, algorithm and program for statistical processing of expert survey results / V. V. Ustinov, T. V. Malikova. M: MD of the USSR m/u 11520. 1988. 20 p. bibliography.: P. 20. Dep. v UPIM, vyp.6, seriya B. 1988. № 3147. (In Russian).

10. *Ventzel E. S.* (2006) Theory of probability: a textbook for universities. The 10th ed. M: Vysshaya Shkola, 2006. 575 p. (In Russian).