

Методика расчета времени решения задач ВВОДА ДАННЫХ ЭКИПАЖЕМ В СОВРЕМЕННЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСАХ

О. Н. Корсун, Э. Д. Глухова, В. Д. Ляхов, Н. В. Скрыбиков

Аннотация - Статья посвящена вопросам моделирования операций ввода данных экипажем при решении функциональных задач воздушного судна. Такие модели необходимы для обеспечения процесса проектирования интерфейсов. Актуальность задачи обусловлена тем, что количество сценариев работы экипажа достаточно велико и их воспроизведение на наземных стендах требует значительных трудозатрат. Предлагается методика проведения эксперимента в целях получения исходных данных для моделирования. Она основана на выделении элементарных операций и типовых функций и их реализации несколькими пилотами в рамках некоторого типового сценария. Методика предполагает нахождение статистических характеристик типовых функций по ограниченному объему экспериментальных данных, что позволяет организовать моделирование различных сценариев с целью нахождения как среднего времени ввода, так и характеристик разброса. По результатам эксперимента было установлено, что длительности выполнения типовых операций имеют нормальный или близкий к нормальному закон распределения. Исключение составляет операция набора данных, которая имеет приблизительно логарифмическое нормальное распределение. В ходе исследования также установлено, что при моделировании типовых сценариев, длительность которых не меньше 90 – 120 операций, допустимо заменять логарифмическое нормальное распределение на нормальное. Это упрощает процесс моделирования, и практически не влияет на конечный результат.

Ключевые слова—человеко-машинный интерфейс, моделирование действий оператора, статистический анализ действий оператора, временные характеристики типовых действий оператора.

I. ВВЕДЕНИЕ

Особенностью разработки авиационной техники является участие в процессе большого количества соисполнителей. Исторически сложилось, что аналоговые пульта управления бортовыми системами разрабатывались и поставлялись вместе с самими системами. При переходе к цифровой элементной базе

для ввода данных систем начали использоваться многофункциональные пульта управления (МФПУ). При этом традиции разработки сохранились, и вместе с системой начали поставляться информационные кадры МФПУ. В результате возникает необходимость проработки общих принципов интерфейса МФПУ на ранних этапах разработки, унификации его элементов (в первую очередь, функций ввода информации, рисунок 1) [1-3], а также создание методики разработки кадров МФПУ и средств ее автоматизации [4], которые будут доступны всем соисполнителям и обеспечат необходимое качество и единообразие, как самих кадров, так и разрабатываемой на них документации.

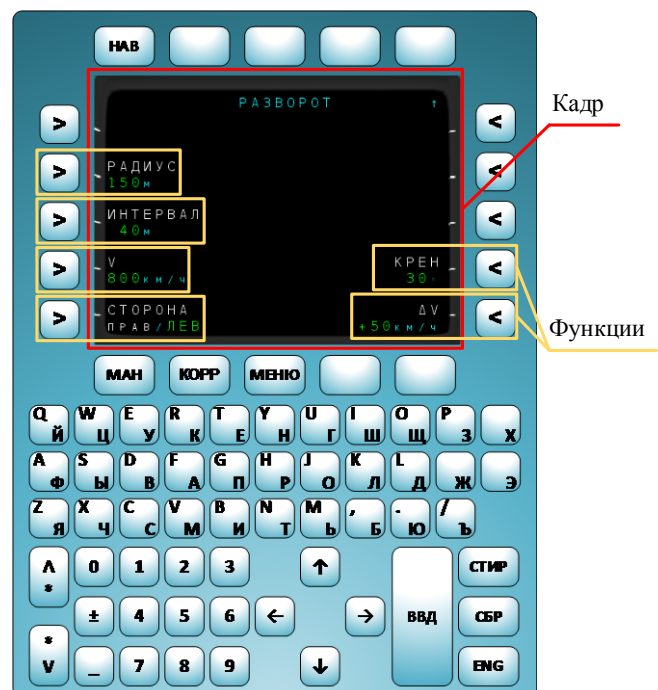


Рис. 1 – Интерфейс многофункционального пульта управления

Важной частью методики разработки кадров является оценка полученных вариантов. Кроме экспертных методов оценивания [5, 6], позволяющих получить субъективное мнение о предмете исследования одного или группы экспертов, ставится задача получения объективных критериев. Такими критериями могут быть, например, количество нажатий, необходимых для решения задачи, время решения задачи. Также возможно экспериментально определить количество

Статья получена 14 марта 2023.

Корсун О. Н.: ФАУ ГосНИИАС, Москва (e-mail: marmotto@rambler.ru).

Глухова Э. Д.: ФАУ ГосНИИАС, Москва (e-mail: emma@greenfil.ru).

Ляхов В. Д.: ФАУ ГосНИИАС, Москва (e-mail: lyakhov_vd@gosniias.ru).

Скрыбиков Н. В.: ФАУ ГосНИИАС, Москва (e-mail: sd-asd-2016@bk.ru).

ошибок, допускаемых операторами при выполнении задачи в разных условиях (например, с наименьшим временем или с минимизацией количества ошибок) [7].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

На первых этапах разработка интерфейсов, после анализа функций системы, выполняется анализ решаемых задач на основе системных методов проектирования [8-12]. Результаты оформляются, например, в нотации иерархического анализа задач (деревьев задач) [3, 8, 13-18]. Так, задача ручной коррекции численных координат (первый уровень) декомпозируется на задачи второго уровня в зависимости от используемого метода коррекции: по данным наземных радиотехнических средств навигации VOR или DME, или спутниковой навигационной системы (СНС) (рис. 2). На третьем уровне представлены конкретные операции, которые должны быть выполнены экипажем для выполнения коррекции каждым методом, как правило, это ввод параметров радиомаяков (PM).

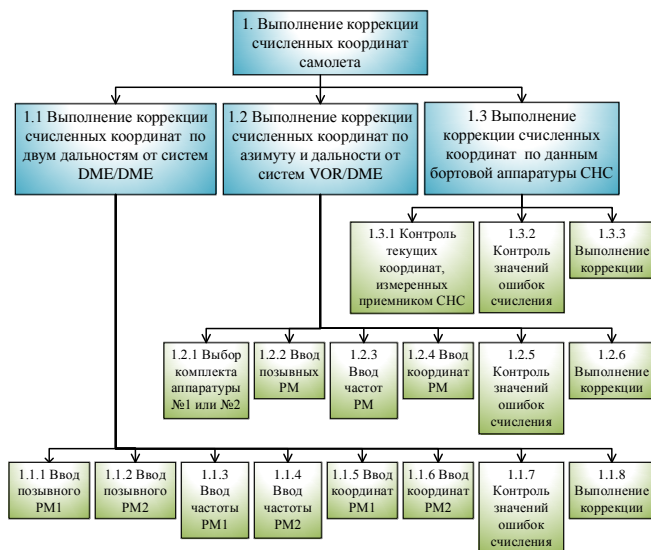


Рис. 2 – Дерево задач выполнения ручной коррекции численных координат

Дерево задач (рис. 2) содержит все задачи, которые могут выполняться экипажем при любом варианте ручной коррекции. Так учитываются функциональные требования к интерфейсу [3, 8].

Далее, на основе этого дерева и проработанного ранее интерфейса МФПУ [4] разрабатываются кадры (рис. 3). При этом кадровая структура соответствует задачам первого и второго уровня, а операции реализуются в содержании кадров.

Для автоматизации этого процесса используется специализированное ПО «АСП МФПУ» [4], позволяющее создавать дерево типовых элементов интерфейса, определять значения свойств этих элементов и наблюдать работу интерфейса на встроенном в ПО интерактивном имитаторе МФПУ.

Для анализа рабочего процесса используется сеть Петри (рис. 4) [18, 19]. Состояния в сети моделируют состояния интерфейса МФПУ в каждый момент

времени, а переходы – деятельность экипажа.

Модели в нотации сетей Петри позволяют наглядно представить порядок работы экипажа при всех основных сценариях, а проведение имитационного моделирования – получить значения времени работы с учетом стохастических характеристик на основе проведенных ранее экспериментов на стендах моделирования.



Рис. 3 – Кадры МФПУ для решения задач ручной коррекции численных координат

Задачей исследования является построение методики получения времен выполнения элементарных операций с помощью МФПУ для их дальнейшего использования при имитационном моделировании работы экипажа с помощью стохастических временных сетей Петри.

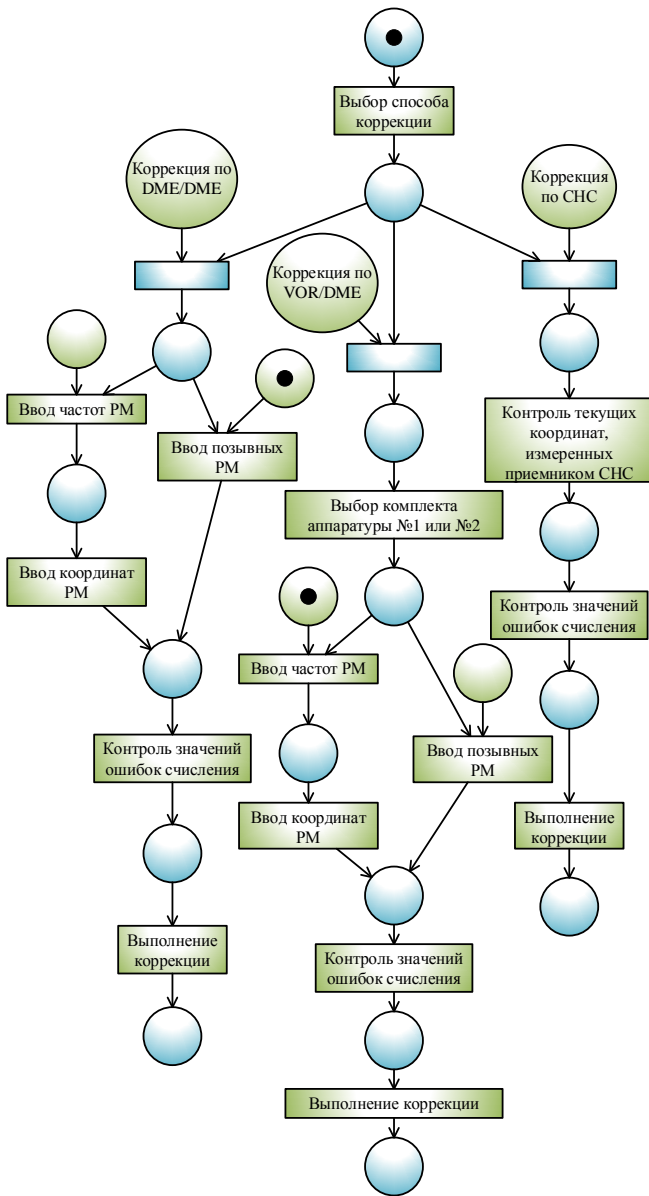


Рис. 4 – Сеть Петри, моделирующая работу экипажа при выполнении задач ручной коррекции численных координат

III. ОПИСАНИЕ ПРЕДЛАГАЕМОЙ МЕТОДИКИ

Методика состоит из двух частей: экспериментального исследования, необходимого для получения времени выполнения элементарных операций, и моделирования сетями Петри произвольных сценариев.

Для экспериментальной части исследования создается тестовый сценарий, содержащий все типовые операции. Далее выбираются испытуемые, которым объясняется задача исследования и порядок его проведения.

Испытуемые вводят данные сценария на стенде моделирования необходимое количество раз, при этом происходит фиксация времени каждого нажатия кнопки МФПУ или его имитатора.

Данные обрабатываются, в результате чего получаются значения времен элементарных операций и их стохастические характеристики.

Для второй части исследования разрабатываются

целевые сценарии, содержащие операции тех же типов, что и экспериментальный сценарий. Сценарии моделируются при помощи сетей Петри, значения времен выполнения операций определяются исходя из полученных экспериментальных данных выполнения тестового сценария. Запускается статистическое моделирование, например, по 300 реализациям, результаты которого фиксируются и затем обрабатываются. Окончательно для каждого сценария получаются оценки среднего времени выполнения этого сценария и характеристики разброса.

IV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Для экспериментального исследования были выбраны кадры МФПУ, используемые при предполетной подготовке. По этим кадрам в соответствии с логикой выполнения предполетной подготовки был написан сценарий, содержащий 94 операции.

Два оператора выполнили предусмотренные сценарием операции по четыре раза, используя встроенный в ПО «АСП МФПУ» имитатор. В рассматриваемом эксперименте ввод данных производился с помощью манипулятора мышью. Фиксация времени нажатия производилась автоматически средствами ПО «АСП МФПУ», реализующими режим «эксперимент». В этом режиме все действия на имитаторе записываются в отдельный текстовый файл с указанием времени возникновения события (рисунок 5).

Далее были построены графики по каждой реализации, которые для двух операторов оказались достаточно похожими, проведено осреднение по всем восьми реализациям (рисунок 6).

На построенном графике были обнаружены значения, похожие на выбросы. После анализа сценария оказалось, что эти значения соответствуют операциям контроля согласованности данных, при которых нажатия кнопок МФПУ не производится.

Кадр	Функция	Кнопка	Время между нажатиями кнопок
0	МЕНЮ	- КВСЭл	1.06
1	ИНС	КВС1л	3.06
2	ИНС	ВЫСТАВКА ВВД	2.87
3	ИНС	- КВС2л	0.94
4	ИНС	НАЧ ДАННЫЕ КВС2л	0.75
5	ИНС	НАЧ ДАННЫЕ ВВД	0.94
6	ИНС	- КВС5л	2.06
7	ИНС	КООРД СТОЯНКИ 5	1.31
8	ИНС	КООРД СТОЯНКИ 6	0.50
9	ИНС	КООРД СТОЯНКИ 1	1.63
10	ИНС	КООРД СТОЯНКИ 3	0.50
11	ИНС	КООРД СТОЯНКИ 0	0.87
12	ИНС	КООРД СТОЯНКИ 4	0.62
13	ИНС	КООРД СТОЯНКИ 1	2.26
14	ИНС	КООРД СТОЯНКИ 4	0.37
15	ИНС	КООРД СТОЯНКИ 3	0.81
16	ИНС	КООРД СТОЯНКИ 5	1.31
17	ИНС	КООРД СТОЯНКИ 9	0.57
18	ИНС	КООРД СТОЯНКИ 5	1.00
19	ИНС	КООРД СТОЯНКИ 3	0.43
20	ИНС	КООРД СТОЯНКИ ВВД	1.13
21	ИНС	- КВСЭл	4.62
22	ИНС	РЕЖИМ КВСЭл	0.50
23	ИНС	РЕЖИМ ВВД	1.13
24	ИНС	- КВС5л	1.56
25	ИНС	ТЕСТ ВВД	0.87
26	ИНС	- ПЛАН ПОЛ	2.07
27	ПЛАН ПОЛЕТА	- КВС1л	2.18
28	ПЛАН ПОЛЕТА	ПОЛЕТ ЗАД № 5	1.39
29	ПЛАН ПОЛЕТА	ПОЛЕТ ЗАД № 4	0.50
30	ПЛАН ПОЛЕТА	ПОЛЕТ ЗАД № 7	0.63

Рис. 5 – Экспериментальные данные



Рис. 6 – Осреднение времени между нажатиями кнопок МФПУ по 8 реализациям

Для расчета времени этих неявных операций была применена модель парной линейной регрессии:

$$Y_i = ax_i + b, \text{ где } (1)$$

Y_i – время между нажатиями кнопок i – ой функции в i – ом эксперименте (суммарное время выполнение операции);

x_i – количество контролируемых параметров в i – ой функции;

a – среднее время контроля одного параметра;

b – среднее время завершения блока операций контроля;

Оценки параметров a и b были рассчитаны по формулам (1) и (2)

$$\hat{a}(z_n) = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2)$$

$$\hat{b}(z_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \hat{a} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

В результате решения были получены оптимальные (в смысле минимума квадрата ошибок рассогласования) оценки параметров a и b :

$$a = 0,96 \text{ с}$$

$$b = 3,52 \text{ с}$$

В соответствии с этой моделью был построен график зависимости времени выполнения группы операций контроля от количества контролируемых параметров (рис. 7).

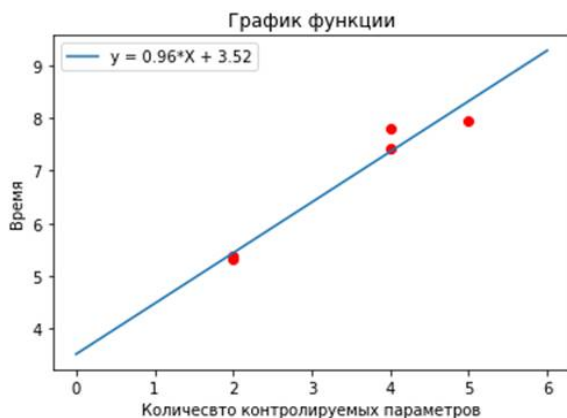


Рис. 7 – Модель парной линейной регрессии и экспериментальные значения

На график в виде отдельных точек были также нанесены суммарные значения времени выполнения операции. Сравнение показывает хорошее совпадение принятой простой модели с результатами эксперимента.

Операции контроля были учтены и график времени был перестроен (рис. 8), при этом общее количество операций увеличилось до 117.

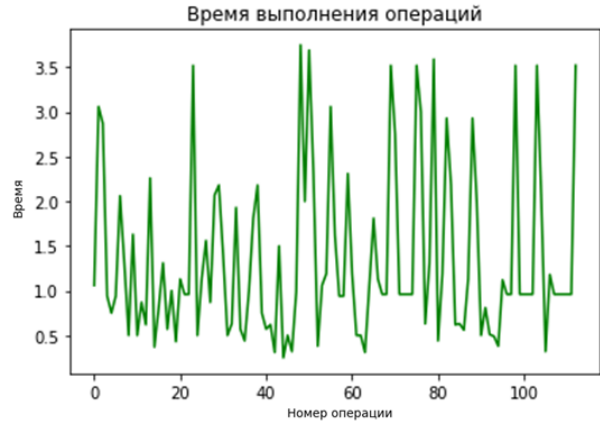


Рис. 8 – Среднее время выполнения операций по 8 реализациям

Далее был проведен анализ операций тестового сценария (рисунок 5). После группировки были выделены следующие типы операций:

1. Смена кадра (голубой)
2. Выбор функции в кадре (оранжевый)
3. Набор данных (зеленый)
4. Команда ввода данных (желтый)
5. Контроль

Из экспериментальных данных были выбраны все операции каждого типа и проведено осреднение по восьми реализациям. При этом были получены оценки математического ожидания (МО) и среднеквадратического отклонения (СКО) (таблица 1).

Таблица 1 – Среднее время и СКО для операций каждого типа

Тип операции	МО	СКО
Смена кадра	2.938 с	0.834 с
Выбор функции в кадре	2.661 с	0.356 с
Набор данных	0.865 с	0.494 с
Команда ввода данных	1.075 с	0.146 с
Контроль	0.96 с	0.100 с

Для проведения статистического моделирования на основе полученных данных проводилась по критерию Пирсона проверка гипотез о законах распределения случайной величины «время выполнения операции» для операций каждого типа (рис. 9 - 11).

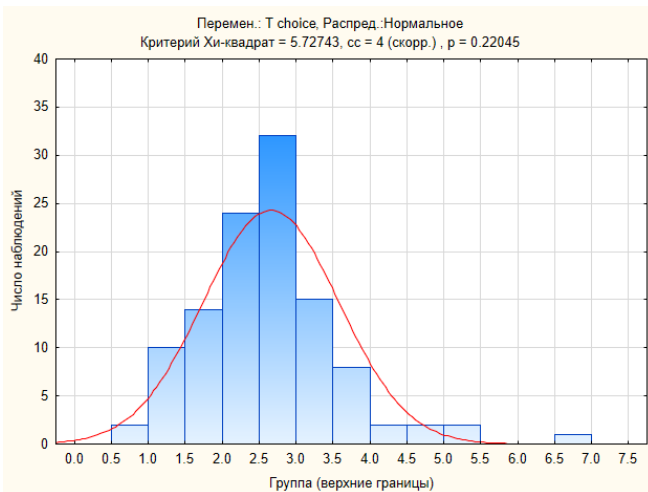


Рис. 8 – Нормальное распределение случайной величины времени выполнения операций типа выбор функции

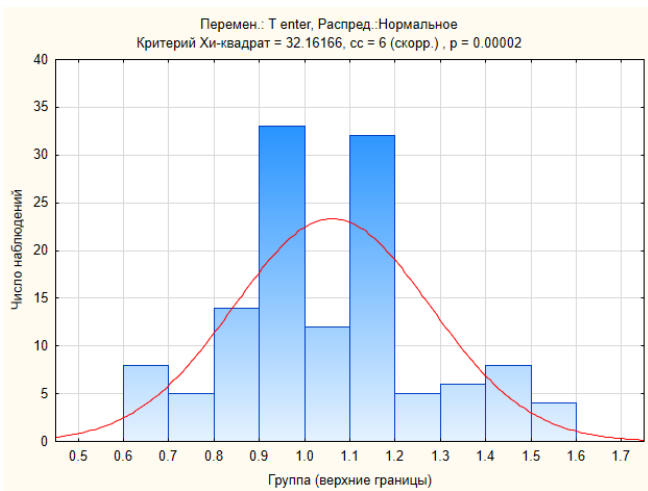


Рис. 10 – Близкое к нормальному распределение случайной величины времени выполнения операций типа ввод данных.

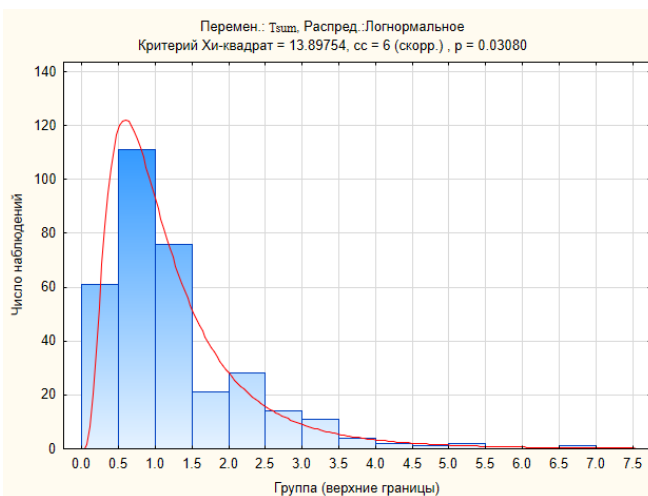


Рис. 11 – Близкое к логарифмическому нормальному распределению случайной величины времени выполнения операций типа набор данных

Для операций выбор функции и ввод данных закон

распределения времени выполнения близок к нормальному (рис. 9 и рис. 10).

Для операции набор данных закон распределения приближается к логарифмическому нормальному (рис. 11).

Для проверки результатов было проведено статистическое моделирование тестового сценария по 300 реализациям (таблица 2). Каждая операция моделировалась нормальной случайной величиной, кроме операции набора данных, имеющей логарифмическое нормальное распределение. Распределение времени длительности выполнения сценария, как и следовало ожидать в соответствии с центральной предельной теоремой теории вероятности, оказалось нормальным (рис. 12).

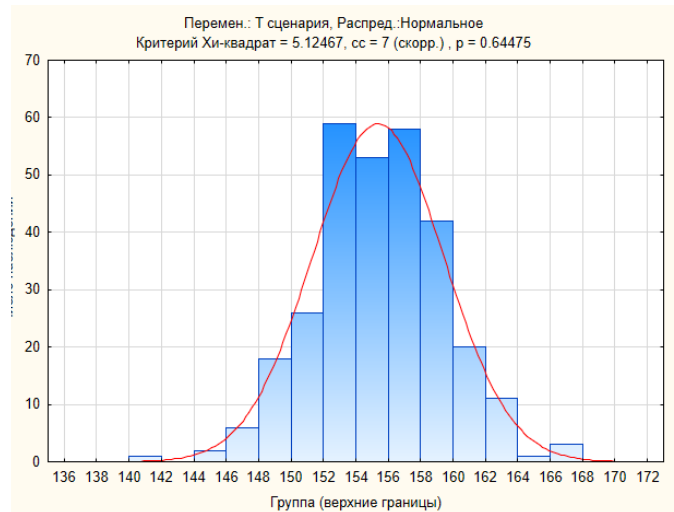


Рис. 12 – Нормальный закон распределения времени выполнения тестового сценария

Принятые при моделировании значения МО и СКО длительности операций каждого типа задавались согласно таблице 1. После выполнения статистического моделирования по 300 реализациям также вычислялись оценки для операций каждого типа (таблица 2). Хорошая степень соответствия оценок, вычисленных по 300 реализациям и заданных при моделировании значений, подтверждает, что при проведении экспериментов и при обработке данных не было допущено грубых ошибок.

Таблица 2 Результаты статистического моделирования по 300 реализациям для операций каждого типа

Тип операции	МО	СКО
Смена кадра	2.995 с	0.761 с
Выбор функции в кадре	2.680 с	0.346 с
Набор данных	0.894 с	0.479 с
Команда ввода данных	1.079 с	0.153 с
Контроль	0.960 с	0.100 с

Далее были рассчитаны доверительные интервалы. Доверительный интервал для среднего времени

выполнения сценария, посчитанного по 8 реализациям по уровню $\pm 2\text{СКО}$ (что примерно соответствует доверительной вероятности 0.95 при нормальном распределении):

$$148.88 \text{ с} \leq 158.42 \text{ с} \leq 168.85 \text{ с}$$

Доверительный интервал для среднего времени выполнения сценария, полученного с помощью статистического моделирования, посчитанного по 300 реализациям по уровню $\pm 2\text{СКО}$:

$$147.81 \text{ с} \leq 156.15 \text{ с} \leq 164.50 \text{ с}$$

Итак, оценка среднего времени выполнения сценария, полученная экспериментально по 8 реализациям, близка к расчетной и находится внутри расчетного доверительного интервала, что подтверждает их правильность. Близость границ доверительных интервалов указывает на соответствие экспериментальной и расчетной оценок СКО.

Представленные выше результаты статистического моделирования получены при условии, что распределение операций набора данных (наиболее часто встречающихся в сценарии) принималось логарифмически нормальным. На основании центральной предельной теоремы теории вероятности можно предположить, что конечный результат не должен измениться существенно, если использовать нормальное распределение, что упрощает процесс моделирования. Для этого варианта были получены следующие значения среднего и границ доверительного интервала:

$$145.98 \text{ с} \leq 155.36 \text{ с} \leq 164.75 \text{ с}$$

Сравнение показывает хорошее совпадение результатов, незначительное отличие имеет место только для нижней границы доверительного интервала, поскольку в этом случае сказывается асимметрия логнормального распределения.

V. ПРОВЕРКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ НА ТЕСТОВОМ СЦЕНАРИИ

С целью проверки возможности моделирования на основе полученных результатов произвольных сценариев был создан второй сценарий, содержащий 125 операций.

Для этого сценария была создана модель на основе полученных при экспериментальном исследовании данных и проведено статистическое моделирование по 300 реализациям.

Для проверки методики было выполнено второе экспериментальное исследование, при котором те же два испытуемых, что и в первом, в тех же условиях выполнили второй сценарий по два раза.

По результатам статистического моделирования и экспериментального исследования были рассчитаны средние и максимальные и минимальные времена выполнения всего сценария. Эти значения были занесены в сводную таблицу вместе с результатами первого экспериментального исследования (таблица 3).

Итак, и на произвольном сценарии экспериментальная оценка близка к расчетной и находится в пределах расчетного доверительного интервала.

Таблица 3 Сравнение расчетного времени выполнения тестового сценария с полученным в эксперименте

Вариант расчета	Второй сценарий
МО по экспериментальным реализациям	172.960 с
МО по 300 реализациям статистического моделирования	178.4 с
МО $\pm 2\text{СКО}$ по 300 реализациям статистического моделирования	[167,9; 188,9] с

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложенная методика обеспечивает получение статистических характеристик временных интервалов выполнения различных типовых операций путем осреднения по нескольким операторам;
2. Методика позволяет выполнять расчет времени произвольных сценариев, состоящих из тех же типовых операций с погрешностью порядка 2-5%.
3. Для обеспечения высокой точности моделирования необходимо увеличить объем экспериментов эксперименты, например, до 8-10 операторов.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Cooper A. et al. *About Face: The Essentials of User Interface Design*. Wiley, 1995. 580 p.
- [2] Holder B. E., McKenzie W. A. *Style Guide and Formatting Methods for Pilot Quick Reference Handbooks Field*. Patent No.: 8,527,871 B2 United State Patent, Sep. 3, 2013. Appl. No.: 12/783.126 : May 19, 2010 /– 20 Claims, 49 Drawing Sheets.
- [3] Анохин А. Н., Назаренко Н. А. *Проектирование интерфейсов. //Человеко-машинные системы, Биотехносфера, 2010, №2(8). С. 21-27.*
- [4] Glukhov M. A. et al. *Application of in-house software to improve the design process of multifunctional aircraft indicators and control panels*. Journal of Physics: Conference Series, Volume 1864, 13th Multiconference on Control Problems. – 2020. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1864/1/012118> (дата обращения: 22.06.2021).
- [5] Анохин А.Н. *Методы экспертных оценок.* – Обнинск: ИАТЭ, 1996. – 148 с.
- [6] Greshnikov I.I. et al. *Expert assessment of the cockpit crew information and control field*. Journal of physics: conference series 11. "XI International Scientific and Technical Conference on Robotic and Intelligent Aircraft Systems Improving Challenges, RIASIC 2020" IOP Publishing Ltd, Vol. 1958. 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1958/1/012018.

- [7] Анохин А.Н., Ивкин А.С., Чепурко В.А. *Методы оценки человеко-машинного интерфейса операторов АЭС* // Доклады БГУИР. – 2015. – № 2 (88). С. 109–113.
- [8] Adelstein B., Hobbs A., O'Hara J., et al. *Design, development, testing, and evaluation: human factors engineering*. NASA/TM-2006-214535. NASA, 2006.
- [9] Anokhin A. N. *The system approach to analysis and description of operator activity* / Proceedings of the 19th European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2008) (25-28 March, 2008, Vienna, Austria) // Edited by R. Trappl. – Vienna: Austrian Society for Cybernetic Studies, 2008.
- [10] Hu Y et al. *Analysis and Verification Method of Crew Operation Procedure in Civil Aircraft System Engineering Process*. ICASIT 2020: Proceedings of the 2020 International Conference on Aviation Safety and Information Technology. – 2020. – ISBN: 978-1-4503-7576-4. – Pages 342–347. – URL: <https://doi.org/10.1145/3434581.3434693> (дата обращения: 22.06.2021).
- [11] Hu Y et al. *Civil Aircraft Flight Crew Operation Procedure Design Method Based on System Engineering*. ICASIT 2020: Proceedings of the 2020 International Conference on Aviation Safety and Information Technology. – 2020. ISBN: 978-1-4503-7576-4. – Pages 336–341. – URL: <https://doi.org/10.1145/3434581.3434692> (дата обращения: 22.06.2021).
- [12] Anokhin A. N. *The structural system approach to functional design of control room*. Proceedings of the International Control Room Design Conference: ICOCO 2010 (Paris, France, Oct. 25-26, 2010) // Edited by J. Wood. – Loughborough: Institute of Ergonomics and Human Factors, 2010. p. 132-139.
- [13] Kirwan B., Ainsworth L. K. *A Guide to Task Analysis*. London: Taylor & Francis, 1992.
- [14] J. Annett, K. Duncan. *Task analysis and training design*. *Occup. Psychol.*, 1967, 41. P. 211–221.
- [15] Корсун, О. Н. *Применение целеориентированного проектирования при разработке кадров пилотажной и навигационной индикации* / О. Н. Корсун, Э. Д. Глухова, Н. В. Скрябиков // Управление в аэрокосмических системах (УАКС-2022) им. академика Е.А. Микрина : Материалы 15-ой мультikonференции конференции по проблемам управления, Санкт-Петербург, 04–06 октября 2022 года. – Санкт-Петербург: "Концерн "Центральный научно-исследовательский институт "Электронприбор", 2022. – С. 32-35. – EDN DSTIXR.
- [16] Stanton N. A. *Hierarchical task analysis: development, application, and extensions*. *Applied Ergonomics*, 2006, №1 (37). P. 55-79.
- [17] E. Hollnagel. *Handbook of Cognitive Task Design*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Mahwah, New Jersey, 2003.
- [18] Mamessier S, Feigh K *HTA-Based Tracking of Pilot Actions in the Cockpit*. *Advances in Physical Ergonomics and Human Factors*, pp 93-103. 2016 DOI: 10.1007/978-3-319-41694-6_10
- [19] Creissac Campos J. et al. *Supporting the Analysis of Safety Critical User Interfaces: An Exploration of Three Formal Tools*. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*. – Vol. 6. – No. 4. – pp 341–369. – URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/331490.331493> (дата обращения: 22.06.2021).

Methodology for obtaining time intervals of crew data entry tasks performance in modern avionic systems

O. N. Korsun, E.D. Glukhova, V. D. Lyakhov, N. V. Skryabikov

Abstract— This article deals with the modelling of crew data input operations to perform functional tasks of an aircraft. Such models are needed to support the interface design process, as the number of crew operation scenarios is quite large and their reproduction on ground benches requires considerable efforts. A methodology is proposed for conducting an experiment in order to obtain initial data for modelling. It is based on the identification of elementary operations and typical functions and their implementation by several pilots within the framework of some typical scenario. The methodology involves finding statistical characteristics of typical functions over a limited amount of experimental data, which provides necessary data for simulation of a variety of arbitrary scenarios. This statistical simulation enables to find both mean and variance for scenarios performance time intervals. According to the results of the experiment, it was found that the durations of typical operations have normal or close to normal distributions. The exception is the data entry operation, which has an approximately lognormal distribution. The study also found that it is acceptable to replace the lognormal distribution with a normal distribution when modelling typical scenarios with durations of at least 90 to 120 operations. This simplifies the simulation process and produces small effect on the final result.

Keywords— man-machine interface, modelling of operator activities, statistical analysis of operator activities, time characteristics of typical operator performances

REFERENCES

- [1] Cooper A. et al. *About Face: The Essentials of User Interface Design*. Wiley, 1995. 580 p.
- [2] Holder B. E., McKenzie W. A. *Style Guide and Formatting Methods for Pilot Quick Reference Handbooks Field*. Patent No.: 8,527,871 B2 United State Patent, Sep. 3, 2013. Appl. No.: 12/783.126 : May 19, 2010 /– 20 Claims, 49 Drawing Sheets.
- [3] Anokhin A.N., Nazarenko N.A. *Interface design*. Biotekhnosfera, 2010, no. 2, pp. 21– 27 (in Russ.).
- [4] Glukhov M. A. et al. *Application of in-house software to improve the design process of multifunctional aircraft indicators and control panels*. Journal of Physics: Conference Series, Volume 1864, 13th Multiconference on Control Problems. – 2020. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1864/1/012118>
- [5] Anokhin A. N. *Expert_evaluation_techniques*. Obninsk: IATE MEPHI, 1996. – 148 p.
- [6] Greshnikov I.I. et al. *Expert assessment of the cockpit crew information and control field*. Journal of physics: conference series 11. "XI International Scientific and Technical Conference on Robotic and Intelligent Aircraft Systems Improving Challenges, RIASIC 2020" IOP Publishing Ltd, Vol. 1958. 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1958/1/012018.
- [7] Anokhin A. N. *Empirical evaluation of human-machine interface of NPP operators*. Proceedings of BSUIR. – 2015. – № 2 (88). P. 109–113.
- [8] Adelstein B., Hobbs A., O'Hara J., et al. *Design, development, testing, and evaluation: human factors engineering*. NASA/TM-2006-214535. NASA, 2006.
- [9] Anokhin A. N. *The system approach to analysis and description of operator activity /* Proceedings of the 19th European Meeting on Cybernetics and Systems Research (EMCSR 2008) (25-28 March, 2008, Vienna, Austria) // Edited by R. Trappl. – Vienna: Austrian Society for Cybernetic Studies, 2008.
- [10] Hu Y et al. *Analysis and Verification Method of Crew Operation Procedure in Civil Aircraft System Engineering Process*. ICASIT 2020: Proceedings of the 2020 International Conference on Aviation Safety and Information Technology. – 2020. – ISBN: 978-1-4503-7576-4. – Pages 342–347. – URL: <https://doi.org/10.1145/3434581.3434693> (дата обращения: 22.06.2021).
- [11] Hu Y et al. *Civil Aircraft Flight Crew Operation Procedure Design Method Based on System Engineering*. ICASIT 2020: Proceedings of the 2020 International Conference on Aviation Safety and Information Technology. – 2020. ISBN: 978-1-4503-7576-4. – Pages 336–341. – URL: <https://doi.org/10.1145/3434581.3434692> (дата обращения: 22.06.2021).
- [12] Anokhin A. N. *The structural system approach to functional design of control room*. Proceedings of the International Control Room Design Conference: ICOCO 2010 (Paris, France, Oct. 25-26, 2010) // Edited by J. Wood. – Loughborough: Institute of Ergonomics and Human Factors, 2010. p. 132-139.
- [13] Kirwan B., Ainsworth L. K. *A Guide to Task Analysis*. London: Taylor & Francis, 1992.
- [14] J. Annett, K. Duncan. *Task analysis and training design*. Occup. Psychol., 1967, 41. P. 211–221.
- [15] Korsun O. N., Glukhova E. D., Skryabikov N. V. *Goal-Directed Design in the Development of Flight Control and Navigation Frames*. Proceedings of the 15th multiconference conference on control problems, Saint-Petersburg, 04-06 October 2022. - Saint-Petersburg: Concern Central Research Institute Elektropribor, 2022. - P. 32-35. - EDN DCTIXR.

- [16] Stanton N. A. *Hierarchical task analysis: development, application, and extensions*. Applied Ergonomics, 2006, №1 (37). P. 55-79.
- [17] E. Hollnagel. *Handbook of Cognitive Task Design*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Mahwah, New Jersey, 2003.
- [18] Mamessier S, Feigh K *HTA-Based Tracking of Pilot Actions in the Cockpit*. Advances in Physical Ergonomics and Human Factors, pp 93-103. 2016 DOI: 10.1007/978-3-319-41694-6_10
- [19] Creissac Campos J. et al. *Supporting the Analysis of Safety Critical User Interfaces: An Exploration of Three Formal Tools*. ACM Transactions on Computer-Human Interaction. – Vol. 6. – No. 4. – pp 341–369. – URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/331490.331493> (date: 22.06.2021).

Korsun O. N.: State Research Institute of Aviation Systems (GosNIIAS), Moscow, head of department, Dr. Sc. (eng), professor (e-mail: marmotto@rambler.ru).

Glukhova E. D.: State Research Institute of Aviation Systems(GosNIIAS), Moscow, aspirant (e-mail: emma@greenfil.ru).

Lyakhov V. D.: State Research Institute of Aviation Systems(GosNIIAS), Moscow, aspirant (e-mail: lyakhov_vd@gosniias.ru).

Skryabikov, N. V.: State Research Institute of Aviation Systems(GosNIIAS), Moscow, technician, and student of Moscow Aviation Institute (e-mail: sd-asd-2016@bk.ru).