

УДК 629.7.018.74

Н.В. ЗОСИМОВИЧ, В.Б. РЕВЕНКО*Житомирский военный институт им. С.П. Королева
Национального авиационного университета, Житомир, Украина*

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

На основании методов структурно-параметрического анализа антропометрических характеристик человека-оператора в системе управления наземным авиационным комплексом управления беспилотным летательным аппаратом для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды предложены схемы размещения информационных панелей, оценены возможности регулирования в следящей системе управления беспилотным летательным аппаратом и предложены подходы к проектированию ее основных элементов и характеристик.

Ключевые слова: экологический и природоресурсный мониторинг, беспилотный летательный аппарат, авиационный комплекс, информационная панель, летчик-оператор, монитор, стимул, математическая модель.

Введение

В различных областях современной экологической науки возникают аналогичные с точки зрения методики исследования задачи, решение которых требует оперативной природоресурсной и экологической информации из труднодоступной области в заданный момент времени и с достаточной периодичностью. Решение такой задачи является реальным при использовании современных технических средств.

В наше время во многих странах создано большое количество беспилотных летательных аппаратов (БЛА), различающиеся схемой, конструкцией и летно-техническими характеристиками, и, к тому же наблюдается тенденция к созданию многоцелевых БЛА со взлетной массой до 100 кг [1].

Проектирование управляющих полей авиационных комплексов является составной частью проектирования БЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды и непосредственно связано с проектированием АК в целом.

Правильная организация информационной панели (ИП) авиационного комплекса (АК), выбор и размещение органов ручного управления существенно влияют на восприятие оператором необходимой информации при полете на всех этапах маршрута, а также на возможность быстрого реагирования при изменении обстановки. Основные показатели ИП АК связаны с геометрией размещения индикаторов и органов управления, определяемой зонами восприятия зрительного аппарата человека, антро-

пометрическими данными и временными затратами на управление. Успешное выполнение операций оператором по управлению БЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды и его системами непосредственно влияет на безопасность полета и эффективность действий, формируется понятие наиболее рациональной зоны размещения, допустимой и недопустимой зон.

В практике проектирования АК принято, что любое увеличение экипажа летательного аппарата (ЛА) (числа операторов) по сравнению с минимально возможным (одним летчиком-оператором) требует тщательного обоснования с учетом допустимой загрузки на всех этапах функционирования, затрат на автоматизацию процессов управления, на обучение дополнительных операторов, а также анализа возможного уровня снижения летно-технических характеристик комплекса [2].

Анализ публикаций и исследований

Информационная панель предназначено для представления оператору (операторам) необходимой информации о текущем состоянии АК и его систем, по которой человек производит оценку обстановки и принимает решения, а также для реализации решений с помощью органов управления или их имитаторов. При структурно-параметрической компоновке управляющих и информационных панелей (УП и ИП) в качестве исходных используются антропометрические данные, особенности восприятия информации человеком в полете, динамические харак-

теристики человека как звена в системе управления [3]. В настоящее время накоплен значительный объем экспериментальных статистических данных, на основании которых разработаны рекомендации по рациональному проектированию ИП АК [1 – 4].

Постановка задачи исследования

На основании структурно-параметрического анализа [5, 6] антропометрических данных и особенностей зрительного аппарата человека [4, 5] предстоит обосновать рекомендации по размещению средств индикации и органов управления БЛА.

Структурная схема работы оператора в следящей системе приведена на рис. 1. На схеме показаны этапы деятельности оператора АК по управлению БЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды в замкнутой системе: обнаружение сигнала рассогласования между заданным движением и состоянием управляемого объекта, опознавание сигнала по величине и направлению, оценка ситуации и принятие решения по способу управления, ручное управление объектом. Все эти процессы могут происходить одновременно.

В некоторых случаях используют упрощенную передаточную функцию от величины рассогласования φ к управляющему воздействию ψ в виде [1]:

$$\varphi = \varphi(\psi, k, \tau, \pi),$$

где k – коэффициент усиления оператора; τ – постоянная времени запаздывания при восприятии информации (0,25 с); π – постоянная времени запаздывания моторной реакции (0,125 с); φ – преобразователь Лапласа.

Для объективной оценки надежности (безошибочной работы) и точности функционирования человека-оператора создаются специальные компьютерные имитационные и лабораторные динамические стенды [6, 7].

Структурно-параметрический анализ антропометрических данных и размещение средств индикации и управления наземным авиационным комплексом

Структурно-параметрическое проектирование УП и ИП АК опирается на статистические антропометрические данные, т.е. на данные по результатам измерения размеров человека и отдельных частей его тела. Статистика установила, что антропометрические данные не являются постоянными во времени и в пространстве. Так, начиная, примерно, с 60-х гг. прошлого столетия, наблюдается увеличение среднего роста человека. В различных районах земного шара рост также может значительно варьироваться. Различаются антропометрические данные и в зависимости от пола [4].

История развития авиации показала, что некоторый запас по размерам АК позволил продлить жизнь некоторых авиационных комплексов на многие годы [5, 6]. Основными для структурно-параметрического проектирования УП и ИП АК являются размеры человека в положении сидя. Условно все размеры можно разделить на общие данные и определяющие зоны досягаемости [2]. На рис. 2 приведены основные размеры тела человека в положении стоя и сидя. Статистические числовые данные из разных источников сведены в табл. 1. Эти данные необходимо скорректировать на размер одежды [8].

На основании структурно-параметрического анализа [9, 10] антропометрических данных и особенностей зрительного аппарата человека [9 – 11] разработаны рекомендации по размещению средств индикации и органов управления в зонах досягаемости – оптимальной и допустимой (рис. 3). К оптимальной зоне относятся: А-1, В-1, С-1; допустимые зоны: А-2, В-2, С-2. Рекомендации по использованию зон приведены в табл. 2.

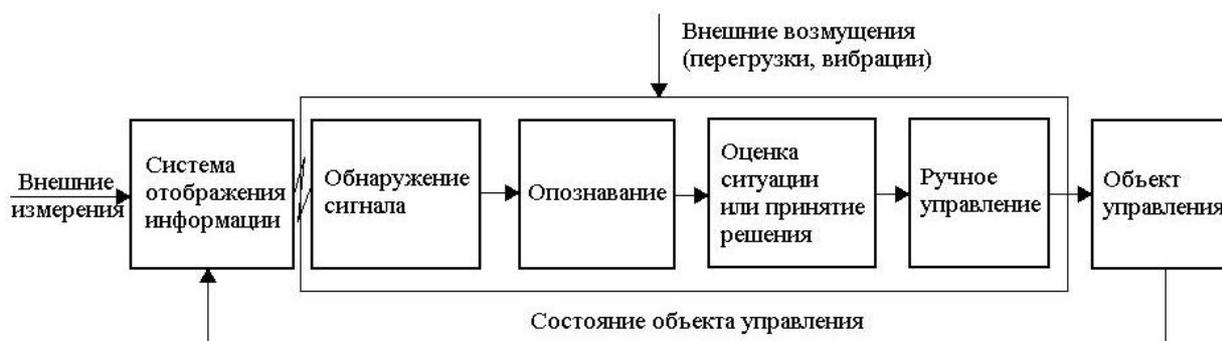


Рис. 1. Структурная схема системы управления БЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды с человеком-оператором

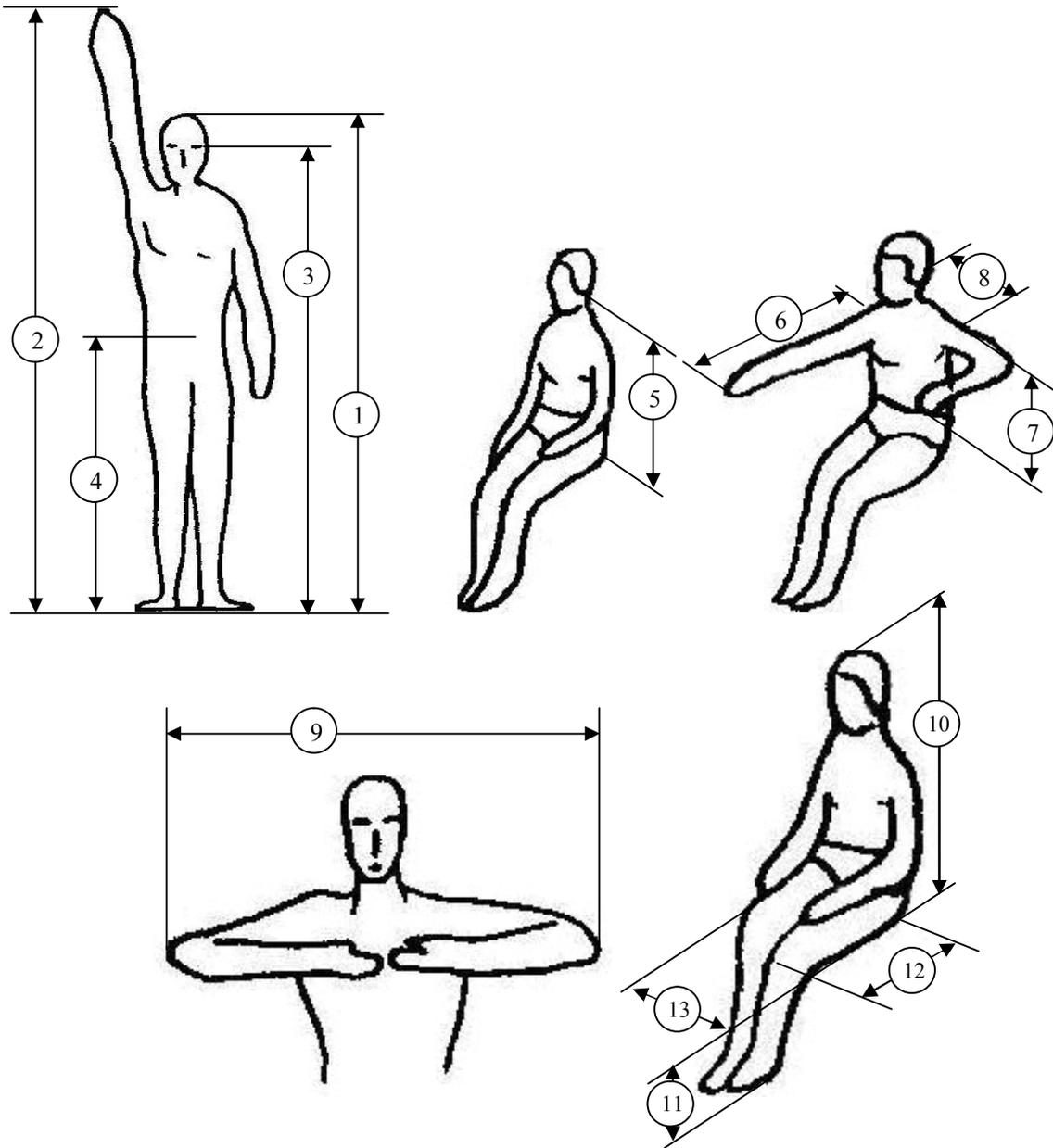


Рис. 2. Основные размеры человека в положении стоя и сидя [3]

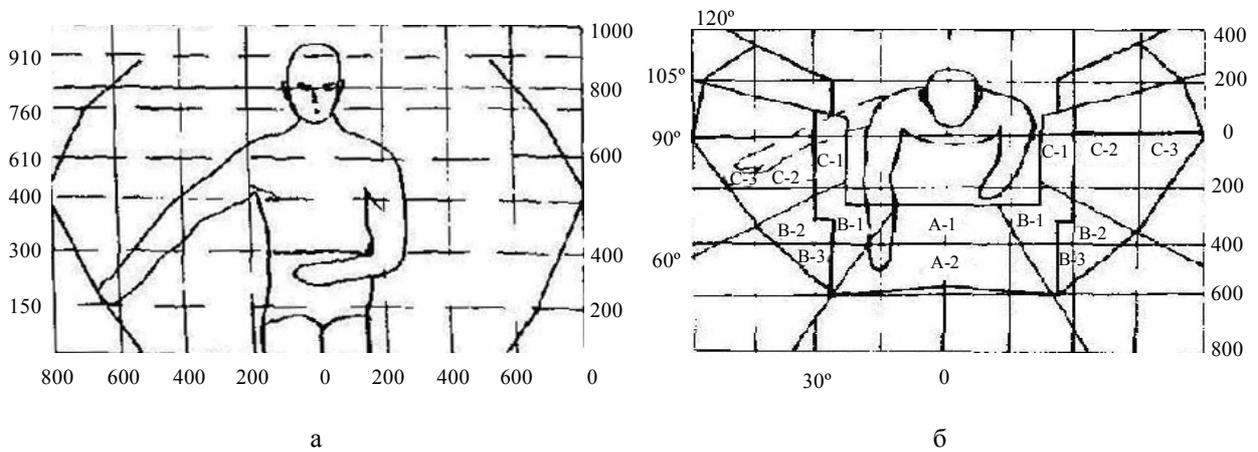


Рис. 3. Зоны досягаемости оператора в вертикальной (а) и горизонтальной (б) плоскостях [4]

Таблица 1

Антропометрические характеристики [2]

Характеристика	Позиция на рис. 2	Величина (см)			
		Мужчины		Женщины	
		МО	СКО	МО	СКО
1. Общие данные:					
Рост стоя	1	167,8	5,8	156,7	5,7
Высота с поднятой рукой	2	206,8	8,3	190,2	7,5
Высота глаз в положении стоя	3	156,9	5,8	145,8	5,5
Длина ноги	4	90,1	4,3	83,5	4,1
2. Пределы досягаемости сидя:					
Высота глаз над сиденьем	5	80,0	3,5	72,0	3,0
Длина руки	6	74,3	3,3	66,6	3,1
Длина предплечья	7	25,2	1,0	22,5	0,9
Ширина плеч	8	41,0	2,0	37,0	1,8
Расстояние между локтями	9	93,5	3,1	91,9	2,9
3. Условия покидания рабочего места					
Рост сидя от поверхности сидения	10	88,7	3,1	84,1	3,0
Высота от пола до сидения	11	42,2	2,2	37,0	2,2
Расстояние от спины до колен	12	54,5	2,5	52,5	2,3
Ширина бедер	13	38,0	2,0	41,2	1,8

Примечание: МО – математическое ожидание, СКО – среднеквадратическое отклонение; величина МО ±1 СКО соответствует 68 % измерений; величина МО ±2 СКО соответствует 95 % измерений; величина МО ±3 СКО соответствует 99 % измерений

Таблица 2

Зоны размещения устройств индикации и органов управления

Условия эксплуатации	Рекомендуемые зоны
Условия пользования	
Частое	A-1, B-1, C-1
Нечастое	A-2, B-3, C-3
Высокая точность считывания	A-1, A-2, B-2, B-3
Меньшие требования к остроте зрения	C-1, C-2, C-3
Характер манипуляций	
Нажатие кнопки	A-2, B-3, C-3
Движение рычагом	A-1
Работа кистью руки	A-1, B-2, C-2
Длительные и тонкие манипуляции	A-1, A-2, B-1, B-2
С силой более 12 кг на руку	A-1, A-2, C-2

Таблица 3

Характеристики оператора [9]

Характеристика	Величина
Время восприятия показаний приборов	0,2 – 0,8 с
Время переноса взгляда на новые приборы	0,167 с
Время опознания предмета	0,5 с
Время на принятие решения	1,0 с
Время запаздывания нервно-мышечной реакции оператора	0,1 – 1,0 с
Максимальное значение растягивающих усилий:	
– установившееся	30 кг
– кратковременное	100 кг
– длительное неустойчивое	12 – 18 кг
Количество движений без нагрузки:	
– руки	5 Гц
– предплечья	78 Гц
– запястья	11 – 12 Гц

Для экипажа операторов из двух и более человек размещение возможно рядом в одном помещении или в различных помещениях. В зависимости от функционального разделения задач при двух и более членах экипажа операторов возможны варианты полностью совпадающих по составу ИП АК, с частичным использованием общих устройств индикации и со специализированными УП и ИП (аналогично летчика и штурмана-оператора).

Оценка возможностей человека как регулятора в следящей системе управления БЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды

Человек-оператор в системе наземного АК по управлению БЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды выполняет ряд функций ручного управления – от простейших, типа нажатия кнопок, до сложных движений органов управления с целью перевести БЛА или его системы в заданное состояние (табл. 3).

В процессе пилотирования БЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды оператор в соответствии с задачей и воспринимаемыми сигналами вектора $E(t)$ (так называемыми стимулами) вырабатывает управляющие воздействия $C(t)$, которые передаются к объекту управления (рис. 4). Через соответствующие внутренние обратные связи оператор может и воспринимать составляющие вектора $C(t)$.

Восприятие оператором стимула происходит либо непосредственно, т.е. наблюдением визуально за БЛА, либо с помощью специальных технических устройств (мониторов). Понятие монитора имеет довольно широкое толкование. Его можно определить как совокупность средств, формирующих и передающих стимулы на вход того или иного канала восприятия оператора. Командный стимул $E = f(i, y, t \pm \tau^*)$, где i и y – входной и выходной сигналы замкнутой человеко-машинной системы, t – текущий момент времени, τ^* – временной ин-

тервал, определяющий либо прогнозируемую ($\tau^* > 0$), либо уже переданную ($\tau^* < 0$) информацию.

Структурно наибольшее распространение получили зрительные мониторы (дисплеи): пилотажно-навигационные мониторы, командные (директорные) приборы. В последние годы значительное внимание уделяется разработке так называемых тактильных и слуховых мониторов, передающих информацию через тактильный и слуховой анализатор человека [9, 11]. Систему подвижности современных пилотажных стенов также можно рассматривать как монитор (дисплей), воздействующий на вестибулярный анализатор и передающий линейные и угловые ускорения.

В зависимости от состава и вида командных стимулов мониторы бывают:

- компенсаторные (рис. 5, а);
- сопровождающие, или мониторы преследования (рис. 5, б);
- предсказывающие, или мониторы с предвидением (рис. 5, в).

Для компенсаторного монитора командным стимулом является сигнал, пропорциональный ошибке слежения [10]:

$$E(j\omega) = [I(j\omega) - Y(j\omega)]W_d(j\omega),$$

где $W_d(j\omega)$ – линейный фильтр (в простейшем случае $W_d = 1$). Для директорного прибора сигнал $E(j\omega)$ является суммарной реакцией фильтров $W_{d_i}(j\omega)$ на соответствующие фазовые координаты:

$E(j\omega) = \sum_i Y_i(j\omega)W_{d_i}(j\omega)$. На экране сопровождающего монитора, кроме сигнала ошибки слежения, воспроизводится входной сигнал $i(t)$ и (или) реакция объекта управления $y(t)$.

Монитор с предвидением отличается от предыдущего тем, что он осуществляет прогноз (или прошлую информацию) о дополнительных сигналах i, y на момент времени $t^* = t + \tau^*$, где τ^* – интервал прогноза, t – текущий момент времени.

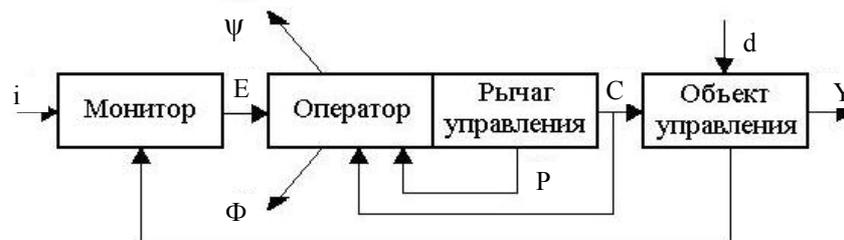


Рис. 4. Элементы системы управления БЛА: i – входной (командный сигнал); d – внешнее возмущение; P – усилие, прикладываемое к рычагу управления; Φ – физиологическая реакция; ψ – психофизиологическая реакция; Y – выходной сигнал

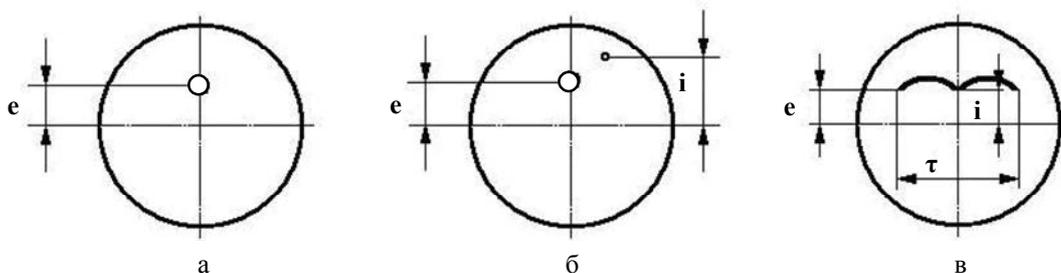


Рис. 5. Типы мониторов в зависимости от командных стимулов

Каждый из рассмотренных мониторов определяет тип человеко-машинной системы в управлении наземным авиационным комплексом. Первому из приведенных выше мониторов соответствует компенсаторная система слежения. В случае визуального наведения БЛА на ориентир, движущийся на фоне земли или объектов, человеко-машинная система представляет собой систему сопровождения, и командным стимулом являются сигналы $i(t)$ и $e(t)$. Система с предвидением имеет место при пилотировании БЛА на малых высотах. Такой тип системы может быть создан с помощью пилотажного монитора, на экран которого, наряду с текущей информацией, выводится и прогноз координат БЛА для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды.

Структурно-параметрический тип системы «БЛА-оператор», динамика ее элементов, характеристики входных воздействий, качество пилотирования определяются различными переменными, основными из которых являются переменные задачи. К таковым относят все внешние, по отношению к оператору, элементы, влияющие на характеристики его действий: объект и рычаг (манипулятор) управления, монитор (дисплей), сигналы, воздействующие на систему (командный сигнал $i(t)$ и возмущение $d(t)$).

Все задачи пилотирования могут быть подразделены на структурные подзадачи ограниченной продолжительности [7]. В случае, если динамические характеристики БЛА в процессе пилотирования не меняются или меняются незначительно, что является справедливым в большинстве случаев, то ММ объекта управления описывается системой линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами или передаточными функциями. Рычаги (манипуляторы) управления, предназначенные для передачи управляющих реакций оператора, бывают:

– подвижные, для которых выходные сигналы пропорциональны угловому или линейному перемещению ($c(t) = x_B(t)$) – при управлении в вертикальной плоскости или $c(t) = x_Э(t)$ – при управле-

нии по крену), а в некоторых случаях – усилию, прикладываемому к рычагу (манипулятору) при его перемещении ($c(t) = P(t)$);

– неподвижные, для которых выходные сигналы пропорциональны прикладываемому усилию.

Свойства входного сигнала или возмущения в значительной степени влияют на характеристики управляющих действий оператора. Во многих задачах пилотирования входной сигнал $i(t)$ или $d(t)$ близок по своим свойствам к случайному стационарному процессу. Параметры его спектральной плотности определяются исследуемой задачей пилотирования [11]. К основным структурным параметрам входного сигнала относятся его дисперсия, и ширина спектра ω_1 . Величине ω_1 может соответствовать частота формирующего фильтра, определяющая уменьшение спектра входного сигнала. Для прямоугольного спектра на частоте ω_1 происходит резкое изменение спектральной плотности [8].

При случайном входном сигнале оператор обычно не может прогнозировать его величину, и если этот сигнал не выводится на экран монитора (дисплея), то система «БЛА-оператор» является компенсаторной [1, 11]. При детерминированном входном сигнале, близком по своим свойствам к гармоническому, оператор, вначале реагируя лишь на ошибку, довольно быстро распознает его и выделяет из сигнала $e(t)$. В течение коротких промежутков времени он может действовать по программе

$$C(j\omega) = \frac{1}{W_C(j\omega)} I(j\omega),$$

размыкая контур «БЛА-оператор». Таким образом, в процессе выполнения задачи система «БЛА-оператор» последовательно претерпевает изменения - от компенсаторной через сопровождающую к системе с полным предвидением.

Влияние переменных на поведение оператора может быть определено по его реакции [9]. Существуют следующие реакции:

- управляющая (управляющее воздействие) C ;
- психофизиологическая ψ ;
- физиологическая Φ .

Показателями физиологической реакции являются частота пульса, кровяное давление, температура тела, частота дыхания и др. [5].

Структурно-параметрический анализ методов моделирования человеко-машинной системы в управлении наземным АК

Одним из возможных методов структурно-параметрической оценки проектируемой человеко-машинной системы со сложными функциями оператора является математическое моделирование (рис. 6).

В блоке 1 формируется последовательность изменения состояний внешней среды или управляемого объекта во времени t в соответствии с принятыми законами распределения фаз перехода. Блок 2 определяет число одновременно поступающих сообщений – количество информационных каналов. Блок 3 осуществляет проверку условия одновременной работы двух операторов. При выполнении условия $P_{сов} < \varepsilon$, второй оператор может быть в резерве. Блоки 4 и 5 выполняют оценку ошибки $P_{ош}$ и длительность выполнения операции $t_{абс}$ соответственно, при функционировании одного или двух операторов. Показатели $P_{ош}$ и $t_{абс}$ являются сложными функциями уровня их квалификации, характера поступающей информации, возможного дефицита времени и внешних воздействий на операторов. Блок 6 осуществляет проверку условия возникновения напряженности во времени $H < H_0$, после чего в блоке 7 или 8 выполняется моделирование функционирования операторов в соответствии с последовательностью алгоритмов работы. Блок 9 контроли-

рует количество реализаций, блок 10 обрабатывает статистические данные и выдает их результаты на печать. В процессе моделирования можно получить промежуточные результаты и конечные статистические данные, которые используются в моделях оценки эффективности АК по управлению дистанционно-пилотируемым летательным аппаратом для оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды.

При полунатурном моделировании с человеком-оператором появляется принципиально новая возможность объективного контроля состояния оператора. В состав комплекса моделирования АК включают аппаратуру для определения медико-биологических показателей оператора в процессе его функционирования. Это дает возможность объективно оценить степень напряженности в различных ситуациях полета, при работе с различным оборудованием. Как следствие, разрабатываются рекомендации о необходимом уровне автоматизации процессов управления БЛА и разделении функций между операторами.

В процессе эксперимента выполняется регистрация всех параметров, автоматическая обработка данных на компьютере и представление результатов для управления экспериментом, а также осуществляются разработки рекомендаций.

Заключение

Произведен структурно-параметрический анализ антропометрических характеристик человека-оператора в системах управления наземным авиационным комплексом БЛА.

Выполнена оценка возможностей человека как регулятора в следящей системе управления БЛА для

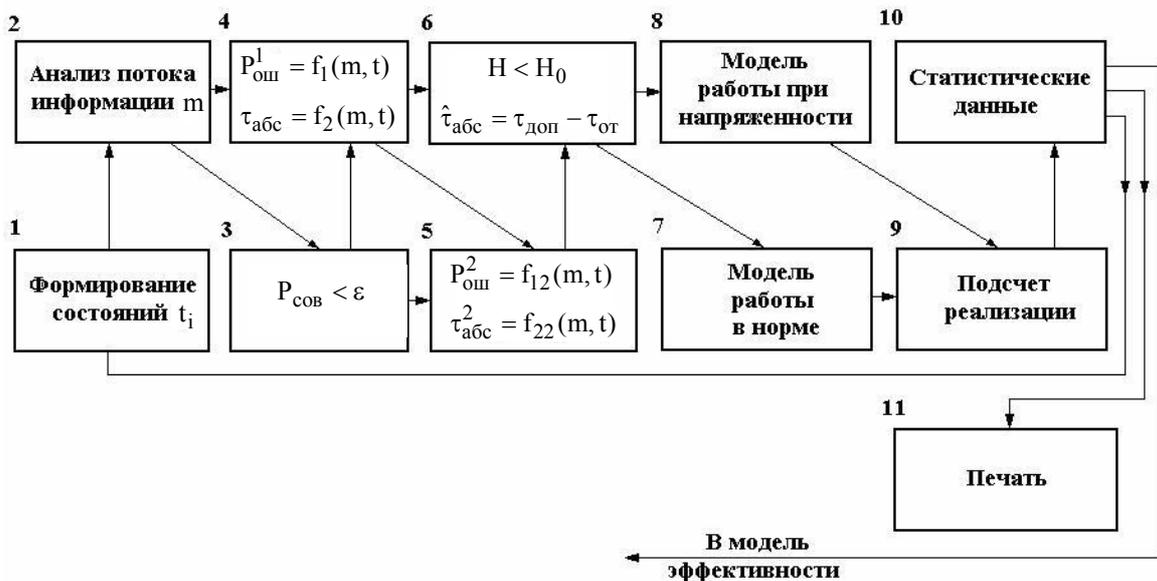


Рис. 6. Блок-схема алгоритма математического моделирования человеко-машинной системы

оперативного природоресурсного и экологического мониторинга окружающей среды.

В перспективе представляется возможным использовать медико-биологические показатели состояния оператора для оптимального размещения средств индикации и автоматического вывода БЛА и его бортовых систем в зону наиболее благоприятного функционирования с точки зрения нагрузок на операторов.

Литература

1. Зосимович Н.В. Модель управляющих воздействий оператора беспилотного ЛА / Н.В. Зосимович, В.Б. Ревенко // Матеріали ІХ Міжн. НТК «АВІА-2009», 21-23 вересня, т. 1. – К.: НАУ, 2009. – С. 4.86-4.90.
2. Вудсон У. Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов / У. Вудсон, Р. Конолвер. – М.: Мир, 1968. – 520 с.
3. Справочник по прикладной эргономике / Перев. с англ. – М.: Машиностроение, 1980. – 216 с.
4. Справочник по инженерной психологии / Под ред. Б.Ф. Ломова. – М.: Машиностроение, 1982. – 368 с.

5. Методы инженерно-психологических исследований в авиации / Под ред. Ю.П. Доброленского. – М.: Машиностроение, 1975. – 280 с.

6. Психофизиологические исследования деятельности человека-оператора и их техническое обеспечение / Под ред. В.Г. Волкова. – М.: Наука, 1979. – 90 с.

7. Романюта В.Г. Экспериментальный стенд для исследования операторских действий сенсомоторного типа / В.Г. Романюта, В.Б. Лидова, Л.И. Юматова // Техническая эстетика, 1979. – № 2. – С. 18-19.

8. Шадриков В.Д. Системный анализ деятельности / В.Д. Шадриков. – Ярославль: Изд-во Ярославск. ун-та, 1979. – 92 с.

9. Лебедев В.И. Профессия века. Психологические аспекты труда операторов / В.И. Лебедев. – М.: Наука, 1978. – 192 с.

10. Научно-технический прогресс и безопасность труда / Под ред. А.Н. Гржегоржевского. – М.: Машиностроение, 1979. – 240 с.

11. Экспериментально-психологические исследования в авиации и космонавтике / Г.Т. Береговой, Н.Д. Завалова, Б.Ф. Ломов, В.А. Пономаренко. – М.: Наука, 1978. – 304 с.

Поступила в редакцию 28.12.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. общинженерных дисциплин Л.С. Лось, Национальный агроэкологический университет, Житомир.

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПАНЕЛЕЙ НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСУ КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ

М.В. Зосімович, В.Б. Ревенко

На основі методів структурно-параметричного аналізу антропометричних характеристик людини-оператора у системі керування наземним авіаційним комплексом для оперативного природо ресурсного та екологічного моніторингу навколишнього середовища, запропоновані схеми розташування інформаційних панелей, здійснено оцінку можливостей регулювання у слідкуючій системі управління безпілотним літальним апаратом та запропоновані підходи до проектування її основних елементів та характеристик.

Ключові слова: екологічний та природоресурсний моніторинг, безпілотний літальний апарат, авіаційний комплекс, інформаційно-керуюче поле, льотчик-оператор, монітор, стимул, математична модель.

STRUCTURAL AND PARAMETRIC DESIGN THE INFORMATION PANELS OF UAV GROUND COMPLEX

N.V. Zosimovich, V.B. Revenko

Under structural and parametrical analysis of anthropometric human-operator parameters in ground control aviation complex for operative environmental and ecological monitoring, was offered placing schemes of indication, regulating possibilities in keeping up of unmanned aviation vehicle control system are estimated. Approaches to designing of its basic elements and characteristics are offered.

Key words: environmental and ecological monitoring, unmanned aerial vehicle, aviation complex, information panel, pilot-operator, monitor, stimulus, mathematical model.

Зосимович Николай Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизированных систем управления Житомирского военного института им. С.П. Королева Национального авиационного университета, Житомир, Украина, e-mail: nzosimovich@nau.edu.ua .

Ревенко Владимир Борисович – канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры автоматизированных систем управления Житомирского военного института им. С.П. Королева Национального авиационного университета, Житомир, Украина.