

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНОСТЬЮ РАБОЧЕГО МЕСТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ В ДИНАМИЧЕСКОМ ТРЕНАЖЕРЕ ОСВОЕНИЯ ПЛАНИРУЮЩЕЙ ПАРАШЮТНОЙ СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

THE SYSTEM OF PARATROOPER WORKING PLACE MOBILITY CONTROL IN DYNAMIC SIMULATOR OF GLIDING PARACHUTE SYSTEM FOR SPECIAL PURPOSES MASTERING

V. Abanin
S. Kutovoy
A. Kontsevov

Summary. The problems of paratrooper working place mobility control in dynamic simulator of gliding parachute system for special purposes are considered. The means of mathematical support of paratrooper working place mobility control system in dynamic simulator is given.

Keywords: mobility control, dynamic simulator, gliding parachute system, paratrooper working place.

Абанин Владислав Сергеевич

К.т.н., Рязанское гвардейское высшее
Воздушно-десантное командное училище
vlad-ac@mail.ru

Кутовой Сергей Степанович

Д.т.н., профессор, Рязанское гвардейское высшее
воздушно-десантное командное училище
kutovoys@mail.ru

Концевой Анатолий Георгиевич

Доцент, Военная академия генерального штаба МО
РФ
vagsh@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены проблемные вопросы при разработке подвижности рабочего места обучающегося (РМО) для динамического тренажера освоения планирующей парашютной системы специального назначения. Предложен путь математического обеспечения системы управления положением РМО в динамическом тренажере.

Ключевые слова: управление подвижностью, динамический тренажер, планирующая парашютная система, рабочее место обучающегося.

Введение

В существующих условиях научно-технического прогресса подходы к разработке систем управления подвижностью различных моделирующих комплексов, используемых в учебно-тренировочных средствах (УТС), достаточно хорошо изучены. Сформированные научные подходы для моделирования движения обучающихся в рабочем поле УТС позволили реализовать динамическое сопровождение обучению при подготовке летчиков, водителей наземных транспортных средств, космонавтов и ряда других операторов человеко-машинных систем. Однако, вопросы моделирования движения парашютиста в ходе прыжка изучены недостаточно, а используемые УТС при освоении обучаемыми планирующих парашютных систем специального назначения (ППС СН) способствуют их не адекватному формированию моторных и зрительных образов.

В Рязанском гвардейском высшем воздушно-десантном командном училище (РВВДКУ) уже более 5 лет проводится комплексная работа по разработке и созданию динамического тренажера освоения планирующей парашютной системы специального назначения. Обосно-

ван технический облик тренажера [1], изучена операторская деятельность парашютиста по управлению ППС СН [2, 3, 4]. В настоящее время активно ведутся работы по моделированию управляемого снижения ППС в конструктиве динамического тренажера. При этом вопросы управления подвижностью рабочего места обучающегося (РМО) остаются актуальными и не решенными в полном объеме.

Система управления подвижностью рабочего места обучающегося

Для создания системы управления подвижностью РМО применительно к динамическому тренажеру освоения ППС СН за основу могут быть приняты различные модели планирующих парашютных систем, разработанные учеными из Центрального аэрогидродинамического института имени профессора Н.Е. Жуковского (А.А. Шиллов, В.А. Каримов, А.Г. Бюшгенс [5,6,7]). В этих работах представленные аэродинамические модели позволяют математически вычислять характеристики управляемого движения купола-крыла. Для более существенной проверки этих моделей на адекватность не хватает требуемого количества экспериментов в ходе реальных

Таблица 1. Характеристика планирующей парашютной системы «Арбалет-2»

Параметр	Ед. измерения	Значение, около	Примечание
Максимальная полетная масса парашютиста с грузом	кг	140	
Время разворота в любую сторону на 360°(при полетной массе в 100кг), не более	с	7	При втягивании одной из строп управления на длину руки
Горизонтальная скорость перемещения (при полетной массе в 100кг), не менее	м/с	11,5	При полностью отпущенных стропах управления
Горизонтальная скорость перемещения (при полетной массе в 100кг), не более	м/с	4,5	При среднем режиме затягивания строп управления (на уровне ключиц)
Горизонтальная скорость перемещения (при полетной массе в 100кг)	м/с	снижается до 0	При полностью затянутых стропах (через 2 с после окончания втягивания)
Временные показатели для набора скорости от 0 до 5 м/с (при полетной массе в 100кг)	с	2–3	Стропы из затянутого положения до среднего положения
Вертикальная скорость перемещения (при полетной массе в 100кг)	м/с	1–5	Эта величина скорости будет использоваться при приземлении
Величина перемещения строп управления		Длина рук	Выбирается оператором ППС от требуемой горизонтальной скорости движения
Величина усилия для выдергивания звеньев ручного раскрытия основного или запасного парашютов, не более	кН	167	
Величина усилия, требуемого для управления стропами управления и свободными концами	Не определена инструкцией		

прыжков в различных метеоусловиях. Тут и возникают определенные сложности. При отсутствии верификационных исследований и корректировки моделей пилотирования ППС, при условии их реализации в системах управления моделирующих устройств (например, в системах подвижности РМО и визуализации) формируются неадекватные зрительные и моторные образы действий у парашютистов при освоении навыков управления.

Научные изыскания нашей военно-научной школы позволили создать устройство для регистрации полетной информации парашютиста [8]. Получив такой инструмент и приступив к регистрации многочисленных процессов управляемого снижения военнослужащих на парашютах типа крыло, мы разработали свой подход к переносу аэродинамических характеристик ППС в систему управления подвижностью РМО создаваемого динамического тренажера.

В ходе этой работы рассматривались особенности управления ППС. Парашютист (П), находясь в системе «П — ППС — Среда», может управлять аэродинамическими характеристиками «крыла» с помощью двух строп управления, четырех свободных концов подвесной системы, двух лент-притягов (система триммирования).

При натяжении левой или правой стропы управления происходит разворот системы соответственно влево или вправо. Скорость разворота зависит от интенсивности и величины натяжения (выбора) строп управления. При натяжении обеих строп управления происходит торможение горизонтальной скорости перемещения (планирования). Основные характеристики управления ППС приведены в таблице 1 [9].

При натяжении задних левого или правого свободных концов происходит разворот соответственно влево или вправо с торможением, при натяжении передних левого или правого свободных концов происходит разворот соответственно влево или вправо с набором скорости и большей потерей высоты. После наполнения купола и расчеховки строп управления, ППС имеет постоянную горизонтальную составляющую скорости планирования. Увеличение скорости горизонтального планирования можно получить путем натяжения передних свободных концов.

Учитывая важность правильного выявления первичных факторов в системе «П–ППС–Среда», влияющих на последующие изменения режимов движения ППС разработана принципиальная схема (рис. 1). Для

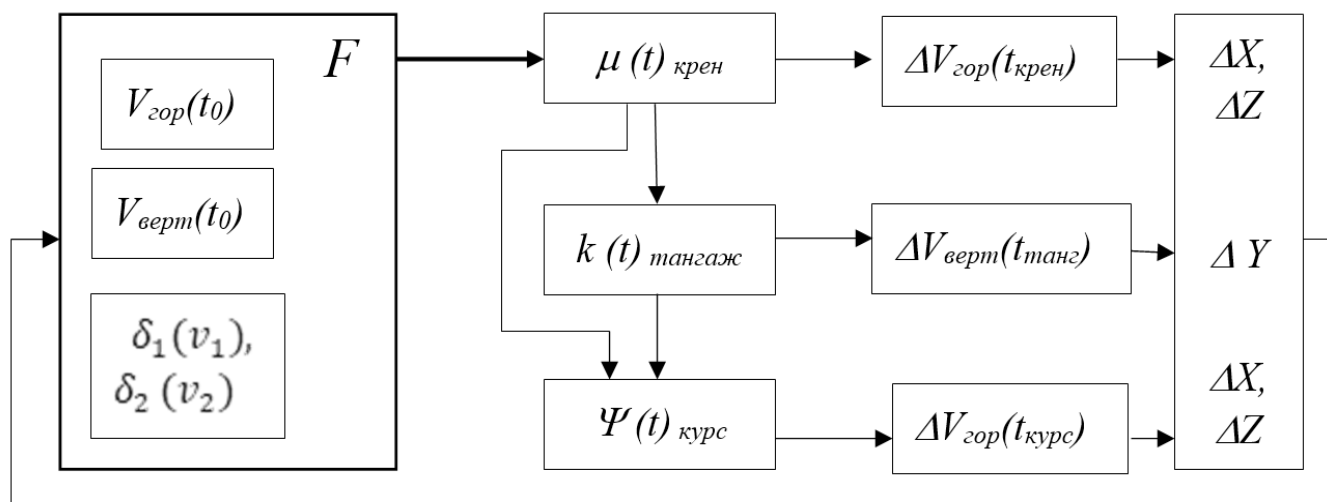


Рис. 1. Схема факторов в системе «П–ППС–Среда» при воздействии на стропы управления

$V_{гор}(t_0)$, $V_{верт}(t_0)$ — горизонтальная и вертикальная составляющие скорости движения системы к моменту времени t_0 (t_0 — время начала изменения величин втягивания строп управления), $\delta_1(v_1)$, $\delta_2(v_2)$, v_1 — скорость втягивания левой стропы, v_2 — скорость втягивания правой стропы, $\Delta V_{гор}(t_{крена})$ — изменение скорости в горизонтальной плоскости за время крена; $\Delta V_{верт}(t_{тангаж})$ — изменение скорости в вертикальной плоскости за время тангажа; $\Delta V_{гор}(t_{курса})$ — изменение скорости в горизонтальной плоскости за время курса; ΔX — изменение координаты системы в проекции на ось OX (первая ось, образующая совместно с осью Z плоскость горизонта); ΔY — изменение координаты системы в проекции на ось OY (вертикальная ось); ΔZ — изменение координаты системы в проекции на ось OZ (начало отсчета системы координат — точка начала пилотирования купола)

анализа факторного поля нами использовались аппаратные средства регистрации, такие как видео камера с обзором 3600 (непосредственно устанавливалась на головном шлеме парашютиста), изготовленное по заданным требованиям устройство для регистрации полетной информации парашютиста [8]. Также осуществлялась видео фиксация и наблюдения с площадки приземления за характером движения парашютистов.

После раскрытия основного парашюта система «П–ППС» приобретает определенную скорость. Существует зависимость $\{F\}$ нарастания горизонтальной и вертикальной составляющих скоростей от синхронности втягивания строп управления. От величин реализаций функции F зависят все последующие рассматриваемые показатели, влияющие на изменение крена, тангажа, курса и координатного положения системы в целом. На рисунке 1 раскрывается факторное поле и очередность воздействия на систему «П–ППС» для слабого ветра (менее 5 м/с).

При воздействии П (в момент времени t_0 , которому характерна определенная реализация функции F) на стропу управления, например на левую, с величиной втягивания δ_1 и со скоростью втягивания v_1 система пер-

воначально начнет изменять угол крена в определенной зависимости $f_1(\mu(t)_{крена})$.

Это влечет изменение тангажа с незначительной задержкой во времени по зависимости $f_2(k(t)_{тангаж})$ и изменение горизонтальной скорости системы «П–ППС» — $\Delta V_{гор}(t_{крена})$. Следом, произойдет изменение вертикальной скорости $\Delta V_{верт}(t_{тангаж})$ и изменение курса системы $f_3(Y(t)_{курса})$. Далее, зависимость изменения курса системы внесет свой вклад в дальнейшее изменение и горизонтальной скорости $\Delta V_{гор}(t_{курса})$.

Изменения горизонтальной и вертикальной скоростей повлекут изменение траектории движения системы. Точкой начала отсчета в системе координат предложено считать высоту окончания раскрытия парашюта ($OXYZ$). Соответствующие изменения обозначены через приращение координат ΔX , ΔY , ΔZ . После окончания воздействия П на управляющие стропы система осуществляет прямолинейное движение. Закономерности изменения координат определяются исходя из реализации функции F .

Проведенный нами анализ материалов, полученных от аппаратных средств регистрации полетной информации парашютиста при реальных десантированиях,

Таблица 2. Очередность работы системы подвижности рабочего места обучающегося в зависимости от вида управляющего воздействия

Выделенный характер движения системы «П — ППС»	Характеристика продолжительности воздействия на органы управления (ОУ) (см. рисунок 1)	Характеристика управляющих воздействий $\delta(v)$ (см. рисунок 1)	Очередность изменения при воздействиях парашютиста на ОУ		
			крен, m	тангаж, k	курс, Y
Прямолинейное движение (без воздействий на ОУ)	–	–	–	1	–
Прямолинейное движение с симметричным воздействием на ОУ	t_0, t_{03}, t_{0m}, t	$\delta_1(v_1) = \delta_2(v_2)$ $\delta_{31}(v_{31}) = \delta_{32}(v_{32})$ $\delta_{\Pi 1}(v_{31}) = \delta_{\Pi 2}(v_{32})$	–	1	–
Движение при воздействиях стропами управления	t_0, t	$\delta_1(v_1) \neq \delta_2(v_2)$	1	2	3
Движение при воздействиях задними свободными концами	t_{03}, t	$\delta_{31}(v_{31}) \neq \delta_{32}(v_{32})$	1	2	3
Движение при воздействиях передними свободными концами	t_{0m}, t	$\delta_{\Pi 1}(v_{31}) \neq \delta_{\Pi 2}(v_{32})$	1	1	2

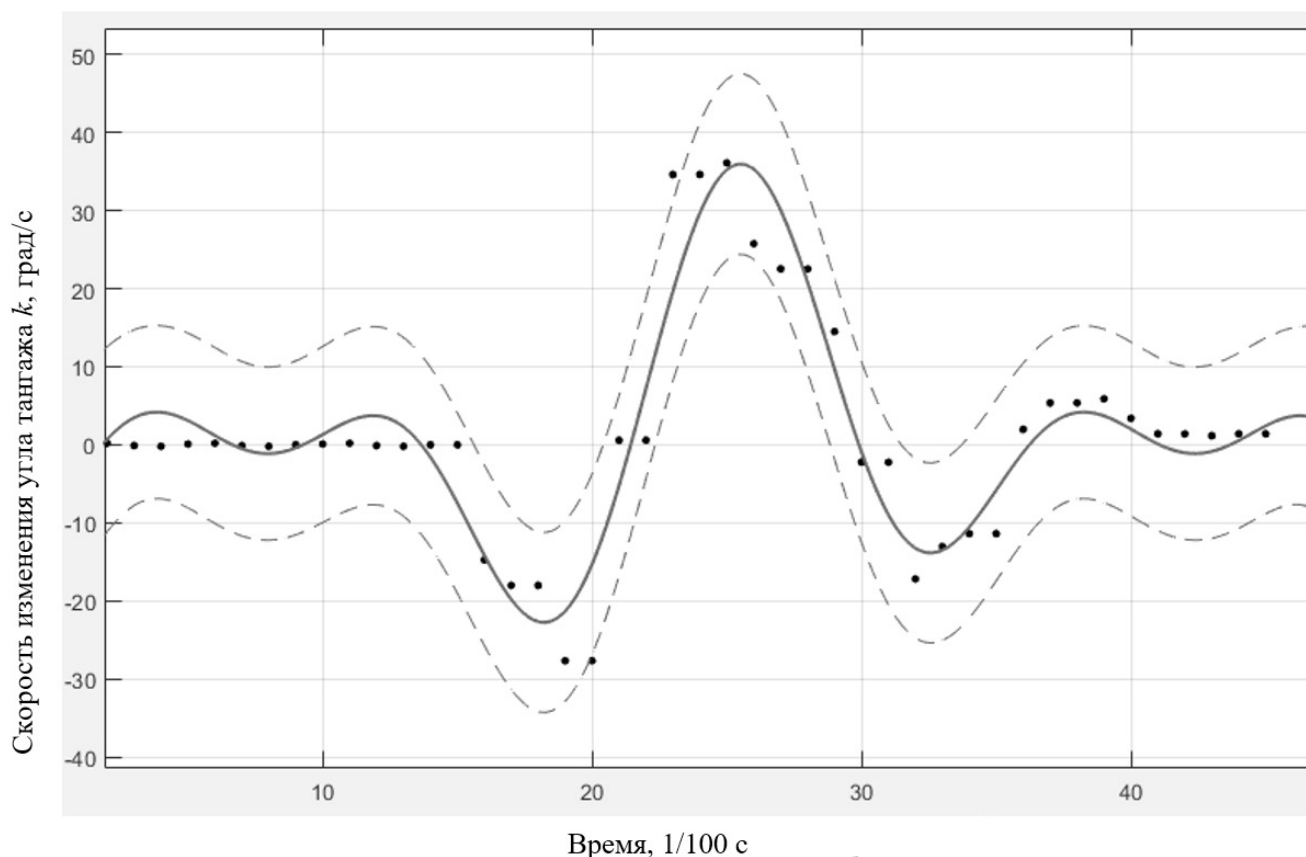


Рис. 2. Изменение скорости угла тангажа k при раскрытии планирующей парашютной системы от времени t (пунктиром показа 95% интервал)

позволил установить отличия в режимах управления куполом ППС для случая воздействия на передние свободные концы. Отмечаем, что закономерности изменения положения системы «П — ППС» при управлении задними свободными концами схожа по своей природе со случаем, приведенном на рис. 1. Отличия лишь состоят в наличии других функциональных зависимостей изменения факторного поля F_3 от управляющих воздействий (где наличие индекса $_3$ в записи F_3 или δ_{3l} условно обозначает — задние свободные концы).

В отличие от случая, описанного на рисунке 1, при воздействии на передние свободные концы крен и тангаж изменяются практически одновременно, что влечет более интенсивное изменение горизонтальной и вертикальной составляющей скоростей системы «П — ППС». Также, следует учитывать и отличия при определении функции F_{II} , которая будет равна величине F только при не воздействии П на свободные концы (при условии, что П не воздействует и на стропы управления).

При переносе выявленных закономерностей в ходе реальных прыжков с ППС в систему подвижности РМО динамического тренажера составлена итоговая таблица 2.

Как показано в таблице 2, выделено 5 характерных видов движения ППС, отличающихся друг от друга закономерностями управляющих воздействий, производимых П. Виды движения по сути «уникальные», каждому из них характерны свои закономерности изменения параметров, влияющих на очередность и величину изменения крена, тангажа и курса наблюдаемой системы («П — ППС»), и, как следствие, траектории управляемого снижения.

Для каждого характерного управляющего воздействия, на основе обработки статистических данных, разрабатывалась соответствующая система полиномов, описывающих изменения величин углов крена, курса и тангажа парашютиста, а также изменения координатного положения тела в трех плоскостях (по центру масс). Эти полиномы имеют вид (на примере изменения тангажа в момент начала раскрытия основного парашюта):

$$k(t) = a_0 + a_1 \cdot \cos(t \cdot w) + b_1 \cdot \sin(t \cdot w) + a_2 \cdot \cos(2 t \cdot w) + b_2 \cdot \sin(2 t \cdot w) + a_3 \cdot \cos(3 t \cdot w) + b_3 \cdot \sin(3 t \cdot w),$$

где $a_0, a_1, b_1, a_2, b_2, a_3, b_3, w$ — постоянные коэффициенты, вычисляемые с помощью программного продукта MATLAB;

k — величина угла тангажа при раскрытии основного парашюта;

t — показатель времени при раскрытии основного парашюта (диапазон от 0 до 0,5 с). Графически этот полином показан на рис. 2.

Используя такой математический подход, нам удалось получить для всех этапов прыжка «базу знаний» о динамических характеристиках объекта управления — ППС; сформировать требования к системе подвижности рабочего места обучающегося парашютиста, наглядно представляя для каждого случая зависимости скорости изменения углов крена, курса и тангажа от времени протекания процесса изменения положения тела обучающегося. Совокупность полученных зависимостей для управляющих воздействий, приведенных в таблице 2, позволяют конструкторам предприятий промышленности осуществить подбор приводных механизмов и создать систему управления ими. Так, предприятие АО «Северный пресс» активно взаимодействует с РВВДКУ в вопросах создания опытного образца моделирующего устройства, способного существенно повысить динамическую адекватность моделирования при сопровождении обучения личного состава на ППС СН. Опытные образец будет представлен на международном военно-техническом форуме «Армия — 2019» на стенде РВВДКУ.

После апробации и сертификации разрабатываемого моделирующего устройства, предлагаемое изделие может использоваться во всех силовых структурах, занимающихся подготовкой специалистов в чьей профессиональной деятельности занимает не последнее место парашют типа «крыло».

Вывод

Таким образом, полученные требования к очередности работы системы подвижности рабочего места обучающегося, в зависимости от вида управляющего воздействия и соответствующие им полиномиальные зависимости изменения углов крена, курса и тангажа позволили создать основу для конструкторского решения, связанного с подбором приводных механизмов и разработки системы управления ими при проектировании опытного образца моделирующего устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абанин В. С. Обоснование технического облика учебного информационного поля рабочего места парашютиста для динамического тренажера. / Научный журнал «Научный резерв» № 1(5), 2019. С. 46–50.
2. Абанин В. С., Осипов А. В. О необходимости моделирования деятельности десантника-парашютиста по управлению парашютными системами специального назначения. / Известия ТулГУ. Технические науки № .12 Ч2., 2017. С. 426–432.

3. Абанин В. С., Осипов А. В. Содержание моделей деятельности десантника по управлению парашютными системами специального назначения. / Научный журнал «Научный резерв» № 2(2), 2018. С. 50–56.
4. Абанин В. С., Осипов А. В. Математические основы моделирования деятельности десантника-парашютиста по управлению парашютными системами специального назначения. / Научно-практический журнал «Наука и военная безопасность» № 2(13), 2018. С. 99–103.
5. Каримов В. А., Шилов А. А. Некоторые особенности стационарного выража планирующей парашютной системы. / Ученые записки ЦАГИ — № 3–4. т. XXXI. 2000. С. 119–133.
6. Шилов А. А., Бушуева Э. М., Васильев А. Ф., Каримов В. А. Автоматическое управление планируемыми парашютными системами. / Труды ЦАГИ. № 2649, 2001. — С. 127–134.
7. Бюшгенс А. Г., Шилов А. А. О динамической модели парашюта и определении его характеристик / Ученые записки ЦАГИ — № 4 т. III. — 1972. С. 49–58.
8. Пат. 170197 Российская Федерация, МПК7 G01C. Устройство для регистрации полетной информации парашютиста / В. С. Абанин, А. Г. Концевой и др.; заявитель и патентообладатель РВВДКУ — № 2016149958; заявл. 19.12.2016; опубл. 18.04.2017, Бюл. № 11. — 7 с.: ил.
9. Парашютная система специального назначения Арбалет — 2 [электронный ресурс] URL: <http://www.zvezda-npp.ru/ru/node/72>

© Абанин Владислав Сергеевич (vlad-ac@mail.ru),

Кутовой Сергей Степанович (kutovoyss@mail.ru), Концевой Анатолий Георгиевич (vagsh@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Г. Рязань