

## МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ ПАРАШЮТИСТА ПРИ СОВЕРШЕНИИ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРЫЖКА С ПАРАШЮТОМ

Исследуются действия парашютиста при совершении тренировочного прыжка с парашютом. Разработан комплекс алгоритмов основных и элементарных действий парашютиста при совершении тренировочных прыжков с парашютом.

*алгоритм, действия, парашютист.*

Для совершенствования подготовки парашютистов необходима модернизация существующих тренажеров или разработка новых, что возможно на основе тщательного анализа моделирования действий парашютиста.

Для моделирования действий парашютиста следует разработать структурную модель, динамическую модель и функциональную модель.

Моделирование действий парашютиста при совершении тренировочного прыжка – это моделирование процесса, который целесообразно представить в системе, в которой он протекает, и определить взаимодействующие подсистемы [1].

Анализ этапов тренировочного прыжка позволяет выделить следующие взаимодействующие подсистемы: «парашютист», «стабилизирующий (основной, запасной) парашют» и «внешняя среда» (самолет, воздух, другие парашютисты).

При совершении прыжков с парашютом действия парашютиста направлены в основном на управление парашютной системой и на применение различных видов группировки.

Результат анализа процесса совершения тренировочных прыжков с парашютом показал, что, учитывая такие существенные признаки, как вид, длительность, скорость падения, воздействие стабилизирующего и основного парашютов на парашютиста, а также степень активности последнего, можно условно выделить 4 этапа прыжка.

*Первый этап.* Действия парашютиста пассивные. Падение до раскрытия стабилизирующего парашюта незначительное по времени (0,8 с) и правильность падения зависит от группировки положения тела парашютиста в момент отделения от самолета.

*Второй этап.* Падение со стабилизирующим парашютом. Действия парашютиста пассивные. Время 3 с. На парашютиста действует сила стабилизирующего парашюта и воздушный поток.

*Третий этап.* Эффект «провала» – свободное падение. Длительность 1,5–2 с. В момент раскрытия основного парашюта складывается стабилизирующий парашют. На парашютиста воздействует только воздушный поток.

*Четвертый этап.* Снижение с основным парашютом. Время снижения зависит от высоты и полетной массы парашютиста. Скорость снижения 5 м/с при полетной массе 120 кг. На парашютиста действуют основной (запасной) парашют и воздушный поток. Парашютист активно управляет парашютом.

Активные действия парашютиста на четвертом этапе значительно влияют на правильность совершения прыжка и достижение конечной цели – удачного приземления.

Для разработки динамической модели действий парашютиста при совершении тренировочного прыжка с парашютом необходимо последовательно во времени описать все эти действия.

Для первоначального наглядного представления и анализа действий парашютиста при совершении тренировочного прыжка с парашютом целесообразно использовать графические методы, то есть построить граф действий парашютиста.

Описание действий парашютиста при совершении прыжков с парашютом, представленные в различной литературе [2–4] с использованием иллюстраций, недостаточно наглядны и систематизированы.

Наибольшая адекватность моделируемого процесса реальным условиям достигается разработкой и анализом алгоритма действий в соответствии с ГОСТ 19.701-90 «Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения».

На основе анализа правил совершения тренировочных прыжков с парашютом разработаны следующие алгоритмы действий парашютиста:

- в штатных ситуациях;
- в нештатных ситуациях;
- в случае снижения на препятствия в частично штатной ситуации;
- в случае снижения на препятствия в нештатных ситуациях;
- в случае зацепления стабилизирующей системы в нештатной ситуации;
- при вводе в действие запасного парашюта в случае нераскрытия основного парашюта в нештатной ситуации;
- при вводе в действие запасного парашюта в случае частичного раскрытия основного парашюта в нештатной ситуации;
- в случае применения скольжения в нештатной ситуации;
- в случае схождения в нештатной ситуации;
- в ходе подготовки к приземлению в штатной/нештатной ситуации;
- в случае гашения купола в штатной/нештатной ситуации.

Комплекс алгоритмов действий парашютиста при совершении тренировочных прыжков с парашютом в штатных и нештатных ситуациях представлен в таблице.

Основные алгоритмы действий парашютиста при совершении тренировочного прыжка с парашютом включают внутренние алгоритмы в виде блоков подпроцессов. Знаком (+) обозначены внутренние алгоритмы, входящие в состав основных алгоритмов.

Таблица

**Комплекс алгоритмов действий парашютиста  
при совершении тренировочных прыжков в штатных и нештатных ситуациях**

Основные алгоритмы Внутренние алгоритмы	В штатных ситуациях	В нештатных ситуациях	В случае снижения на препятствия в частично штатной ситуации	В случае снижения на препятствия в нештатных ситуациях
В случае зацепления стабилизирующей системы в нештатной ситуации		+		+
В случае нераскрытия основного парашюта в нештатной ситуации		+		+
В случае частичного раскрытия основного парашюта в нештатной ситуации		+		+
В случае применения скольжения в нештатной ситуации		+		+
В случае схождения в нештатной ситуации		+		+
В ходе подготовки к приземлению в штатной/нештатной ситуации	+	+	<ul style="list-style-type: none"> <li>– на лес;</li> <li>– зависание на дереве;</li> <li>– на середину крыши;</li> <li>– на край крыши;</li> <li>– на стену здания;</li> <li>– на провода</li> </ul>	
В случае гашения купола в штатной/нештатной ситуации	+	+		

Один из алгоритмов действий парашютиста при совершении тренировочного прыжка с парашютом в штатной ситуации представлен на рисунке 1.

При разработке блок-схемы алгоритма использованы три типа вершин.

1. «Функциональные» вершины, имеющие один вход и один выход, например, на рисунке 1 это блоки 2, 3, 4, 6, 7, 8 и т.п.

2. «Предикатные» вершины, имеющие один вход и два выхода и передающие управление по одной из ветвей в зависимости от значения условия – «Да» или «Нет». На рисунке 1 это блоки 5, 13, 15, 17 и 20.

3. «Объединяющие» вершины (вершины «слияния»), обеспечивающие передачу управления от одного из двух входов. На рисунке 1 это входы блоков 3, 15, 19, 22.

Представленный алгоритм обеспечивает высокую «читаемость» за счет образной наглядности и явного отображения основных действий парашютиста в виде единого процесса совершения прыжка с парашютом.

Разработанный алгоритм имеет следующие характеристики:

1. Дискретность, то есть процесс действий парашютиста разбит на последовательность отдельных шагов. Такая упорядоченная совокупность четко разделенных друг от друга действий образует прерывную (дискретную) структуру алгоритма. Только выполнив одно действие, можно приступить к выполнению следующего.





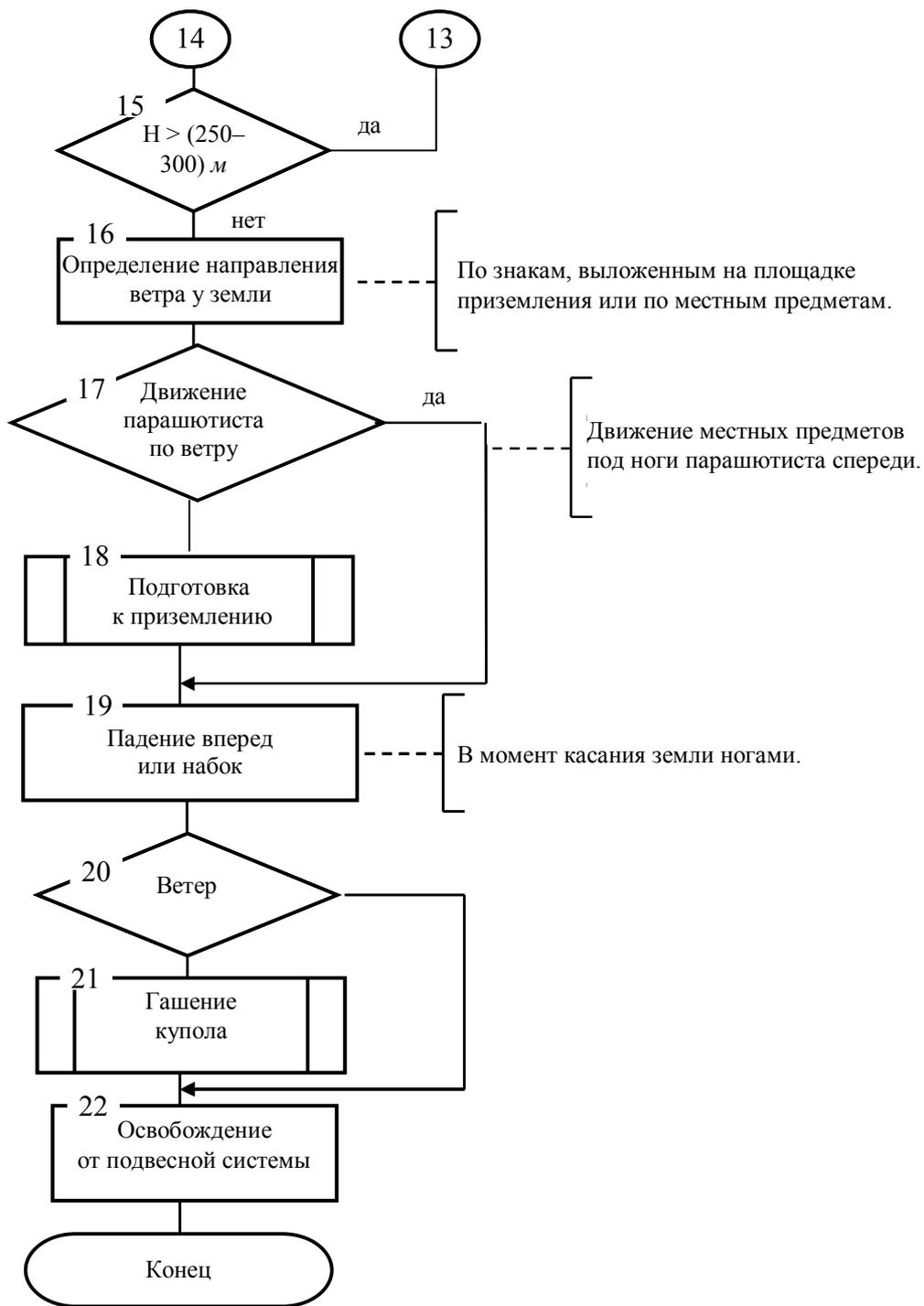


Рис. 1. Алгоритм действий парашютиста при совершении тренировочного прыжка с парашютом в штатных ситуациях

2. Определенность (детерминированность). Алгоритм содержит действия, которые воспринимаются однозначно разными людьми. После выполнения очередного действия алгоритма понятно, какое действие выполняется на следующем шаге.

3. Результативность. При точном исполнении всех действий алгоритма процесс совершения прыжка прекращается за конечное число шагов и при этом должен иметь результат – успешное приземление.

4. Массовость. Данный алгоритм является основой для разработки других алгоритмов действий парашютиста в различных ситуациях.

Так как все действия парашютиста при совершении тренировочного прыжка происходят последовательно во времени, для их описания мы используем метод динамических систем. Действия, описанные в алгоритме (рис. 1), представим в виде элементарных действий (активностей) в зависимости от наступления конкретных событий последовательно во времени.

Например, блок 13 на рисунке 1 представлен в виде наступления события  $C_9$ , а блок 14 – в виде активностей  $A_{71}$ – $A_{74}$  ( $A_{71}$  – взятие двух смежных строп кистью правой руки,  $A_{72}$  – натяжение двух смежных строп вниз правой рукой,  $A_{73}$  – взятие двух смежных строп кистью левой руки,  $A_{74}$  – натяжение двух смежных строп вниз левой рукой).

Но так как некоторые элементарные действия выполняются параллельно во времени, то их соответствующим образом учитывают в графе динамики действий парашютиста (рис. 2).

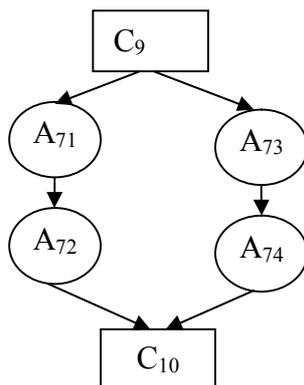


Рис. 2. Фрагмент графа динамики элементарных действий парашютиста

Для дальнейшего моделирования действий парашютиста целесообразно использовать законы биомеханики и кинематики [6]. Положение тела парашютиста в пространстве можно описать его местом, ориентацией и позой. Самой сложной задачей при этом является определение ориентации тела в пространстве.

Так как тело парашютиста представляет собой систему подвижных звеньев, то движения рук, ног, головы и туловища представляются в виде двух или трех звеньев.

Например, руку парашютиста можно представить в виде двух звеньев  $l_1$  и  $l_2$  (рис. 3).

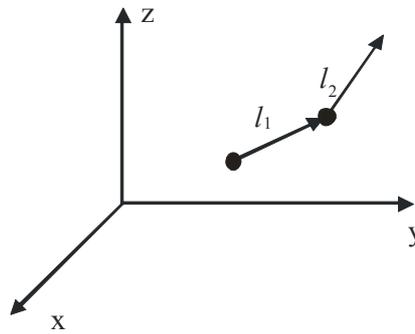


Рис. 3. Представление руки парашютиста в виде двух звеньев

Изменение положения тела в пространстве представляется через матрицу состояний.

Определение положения звеньев рук, ног без учета действующих на них сил и моментов осуществляется через составление кинематических уравнений. Положение в пространстве каждого звена относительно системы  $Oxyz$ , связанной с парашютистом, задается тремя углами  $(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i)$ , образованными векторами  $\vec{l}_i$  с осями координат системы  $Oxyz$ . Таким образом, для характеристики восьми звеньев (руки – ноги) используется матрица  $S$  размером  $8 \times 3$ :

$$S = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ \alpha_8 & \beta_8 & \gamma_8 \end{pmatrix} . \quad (1)$$

Таким образом, полученные математические уравнения биомеханики можно использовать при разработке информационной модели и далее программного обеспечения, являющегося основой для рендеринга – перевода математических формул в «видимую» фигуру действий парашютиста на компьютере в виде 3D анимации.

Представленная методика позволяет моделировать любые действия парашютиста в виде элементарных действий звеньев его рук, ног и использовать матрицы состояний положения тела в пространстве для дальнейшего анализа с целью совершенствования уровня подготовки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов, А.В. Системный анализ [Текст] : учеб. для вузов. – 2-е изд., стер. – М. : Высшая школа, 2006 – 454 с.
2. Зацiorский, В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека [Текст] / В.М. Зацiorский, А.С. Аруин. – М. : Физкультура и спорт, 1981. – 246 с.
3. Крутько, П.Д. Управление исполнительными системами роботов [Текст]. – М. : Наука, 1991. – 334 с.
4. Ситников, И.В. Воздушно-десантная подготовка [Текст]. – М. : Военное издательство, 2005. – Ч. 1. – 402 с.