



# ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПО ИЗВЕСТНОМУ МАРШРУТУ

В.А. Твердохлебов

Предложен метод оценки сложности управления движением по заданному маршруту, учитывающей числовые показатели сложности правил управления на отдельных участках маршрута, число смен правил управления и длины участков маршрута, на которых отдельные правила действуют без изменений. Разработана математическая структура в форме спектра числовых показателей, характеризующего варианты определения кода маршрута рекуррентными формами различных порядков. На основе числовых показателей спектра строится оценка сложности управления движением по известному маршруту.

**Ключевые слова:** сложность управления движением, маршрут, объект движения, орган управления, код участка, код маршрута, геометрические свойства маршрута, рекуррентная форма, правило управления.

## ВВЕДЕНИЕ

Оценку сложности управления движением при известных (заданных) свойствах маршрута, объекта движения и органа управления предлагается определять на основе построения и анализа кода, содержащего информацию о геометрических и физических свойствах маршрута, информацию о свойствах объекта движения и органа управления. Для построения оценки разработан спектр числовых показателей, характеризующих рекуррентные формы, в различных вариантах определяющие код маршрута [1–4]. Рекуррентная форма рассматривается как формальная модель такого правила управления движением, в котором при движении по конкретному участку маршрута учитывается движение по некоторым предшествующим участкам, включая возможную подготовку объекта движения к движению на этом конкретном участке.

Таким образом, предполагается, что в коде маршрута представлены все выбранные для рассмотрения свойства маршрута (геометрические и физические), свойства объекта движения и свойства органа управления. Сложность управления движением по маршруту, представленному таким кодом, предполагается соответствующей сложности взаиморасположения элементарных кодов в коде маршрута. Точность оценки сложности управления движением ограничена этим предположением.

### 1. СПЕКТР ЧИСЛОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОПИСАНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ РЕКУРРЕНТНЫМИ ФОРМАМИ

Спектр используется для оценки сложности управления движением при различных по разнооб-

разию и сложности учитываемых факторах. Кроме этого, предполагается, что спектр применим к сети маршрутов с выбором на основе анализа показателей спектра оптимального маршрута. Возможны вычисления как в режиме реального времени движения, так и на основе предварительных вычислений. Спектр построен иерархически от показателей для приближенной оценки сложности (уровень  $\Omega_0(\xi)$ ) до достаточно полной оценки на основе показателей уровня  $\Omega_4(\xi)$ . Промежуточные уровни спектра  $\Omega(\xi) = \langle \Omega_0(\xi), \Omega_1(\xi), \Omega_2(\xi), \Omega_3(\xi), \Omega_4(\xi) \rangle$  последовательно увеличивают множество числовых показателей, влияющих на оценку сложности правил управления движением. Числовые показатели спектра, с учетом уровней их расположения, определяются следующими формулами:

$\Omega_0(\xi) = \langle m_0(\xi) \rangle$ , где  $m_0(\xi)$  — наименьший порядок рекуррентной формы, определяющей всю последовательность  $\xi$ ;

$\Omega_1(\xi) = \langle d^1(\xi), d^2(\xi), \dots, d^{m_0}(\xi) \rangle$  — набор наименьших длин префиксов последовательности  $\xi$ , задаваемых рекуррентными формами соответственно порядков 1, 2, ...,  $m_0$ ;

$\Omega_2(\xi) = \langle r^1(\xi), r^2(\xi), \dots, r^{m_0}(\xi) \rangle$  — набор чисел смен рекуррентных форм порядков 1, 2, ...,  $m_0$ , задающих всю последовательность  $\xi$ ;

$\Omega_3(\xi) = \langle \langle d_1^1(\xi), d_2^1(\xi), \dots, d_{r_1(\xi)+1}^1(\xi) \rangle, \langle d_1^2(\xi),$

$d_2^2(\xi), \dots, d_{r_2(\xi)+1}^2(\xi) \rangle, \dots, \langle d_1^{m_0}(\xi) \rangle = |\xi| \rangle$  — набор наборов длин отрезков последовательности  $\xi$ , где  $d_j^m(\xi)$  — длина  $j$ -го отрезка в определении рекуррентной формой порядка  $m$  последовательности  $\xi$ ;

Таблица 1

**Спектр показателей сложности маршрута  $\alpha$** 

Уровни спектра	Числовые значения динамических параметров спектра $\Omega(\alpha)$
$\Omega_0$	$m_0(\alpha) = 3$
$\Omega_1$	$\langle d^1(\alpha) = 4, d^2(\alpha) = 23, d^3(\alpha) = 50 \rangle$
$\Omega_2$	$\langle r^1(\alpha) = 14, r^2(\alpha) = 3, r^3(\alpha) = 1 \rangle$
$\Omega_3$	$\langle \Omega_3^1(\alpha), \Omega_3^2(\alpha), \Omega_3^3(\alpha) \rangle \Omega_3^1(\alpha) = \langle d_1^1(\alpha) = 3, d_2^1(\alpha) = 5, d_3^1(\alpha) = 2, d_4^1(\alpha) = 4, d_5^1(\alpha) = 3, d_6^1(\alpha) = 5, d_7^1(\alpha) = 3, d_8^1(\alpha) = 2, d_9^1(\alpha) = 6, d_{10}^1(\alpha) = 2, d_{11}^1(\alpha) = 5, d_{12}^1(\alpha) = 4, d_{13}^1(\alpha) = 1, d_{14}^1(\alpha) = 4 \rangle, \Omega_3^2(\alpha) = \langle d_1^2(\alpha) = 21, d_2^2(\alpha) = 24, d_3^2(\alpha) = 3 \rangle, \Omega_3^3(\alpha) = \langle d_1^3(\alpha) = 47 \rangle$

$\Omega_4(\xi)$  — набор числовых показателей, представляющих введенные веса как рекуррентных форм, так и наборов значений их аргументов.

Предположим, что для кодирования маршрутов  $\alpha$  и  $\beta$  с учетом свойств маршрутов, объекта движения и органа управления достаточно множества элементарных кодов  $C = \{c_0, c_1, c_2, \dots, c_9\}$  участков маршрута и эти коды имеют вид:

$$\alpha = \langle c_3, c_1, c_4, c_1, c_5, c_9, c_2, c_6, c_5, c_3, c_5, c_8, c_9, c_7, c_9, c_3, c_2, c_3, c_8, c_4, c_6, c_2, c_6, c_4, c_3, c_3, c_8, c_3, c_2, c_7, c_9, c_5, c_0, c_2, c_8, c_8, c_4, c_1, c_9, c_7, c_1, c_6, c_9, c_3, c_9, c_9, c_3, c_7, c_5, c_1 \rangle$$

$$\text{и } \beta = \langle c_2, c_7, c_1, c_8, c_2, c_8, c_1, c_8, c_2, c_8, c_4, c_5, c_9, c_4, c_5, c_2, c_3, c_5, c_3, c_6, c_2, c_8, c_7, c_4, c_7, c_1, c_3, c_5, c_2, c_6, c_6, c_2, c_4, c_9, c_7, c_7, c_5, c_7, c_2, c_4, c_7, c_0, c_9, c_3, c_6, c_9, c_9, c_9, c_5, c_9 \rangle.$$

В явном виде вычисленный спектр  $\Omega(\alpha)$  показан в табл. 1. Для сравнения по сложности управления движением по маршрутам  $\alpha$  и  $\beta$  при грубой оценке достаточно нулевого уровня спектра:  $\Omega_0(\alpha) = 3$ ,  $\Omega_0(\beta) = 5$  и  $m_0(\alpha) < m_0(\beta)$ . Полученное отношение  $m_0(\alpha) < m_0(\beta)$  имеет следующую интерпретацию: управление движением по маршруту  $\beta$  (представленному кодом  $\beta$ ) сложнее, чем управление движением по маршруту  $\alpha$  (представленному кодом  $\alpha$ ). Более точные оценки могут быть получены на основе сравнения других уровней спектра.

## 2. МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ

В работе [5] рассмотрен код маршрута планетохода, в котором свойства отдельных участков маршрута представлены геометрическими характеристиками — см. табл. 2 (автором данной статьи в табл. 1 геометрическая форма кодов участков маршрута расширена и дополнена буквенными обоз-

начениями). Отмечается, что «одним из основных факторов, определяющих условия эксплуатации планетоходов, является рельеф поверхности планет, характеристики которого существенно влияют на конструкцию планетохода и методы его расчета. Для решения задач динамики движения целесообразно рельеф рассматривать в виде моделей различных по геометрии неоднородностей поверхности, являющихся причиной тех или иных, динамических процессов в системе «планетоход — поверхность» [1, с. 14]. Далее «...рельеф следует классифицировать как описательно ... так и качественно по геометрическим размерам преодолеваемых планетоходом неоднородностей» [1, с. 15].

Естественно предполагать, что управление преодолением препятствий различных форм и размеров требует соблюдения при управлении движением различных правил, учитывающих описание подготовки движущегося аппарата, подготовки оператора, формирования и распределения энергозатрат и др.

Метод построения оценки сложности управления движением состоит в следующем.

*I этап.* Построение кода маршрута:

— выбор элементарных кодов для определения геометрических свойств участков маршрута, его физических свойств и учитываемых свойств объекта движения и органа управления;

— построение геометрического кода маршрута;

Таблица 2

**Условные обозначения и коды участков маршрута планетохода**

Вид поверхности	Форма и вводимый код			
	Форма	Коды	Форма	Коды
Камень, валик		$b_1, z_1$		$b_2, z_2$
		$b_3, z_3$		$b_4, z_4$
Ступенчатое препятствие		$c_5, z_5$		$c_6, z_6$
		$c_7, z_7$		$c_8, z_8$
Ров		$v_9, z_9$		$v_{10}, z_{10}$
		$v_{11}, z_{11}$		$v_{12}, z_{12}$
Холм		$g_{13}, z_{13}$		$g_{14}, z_{14}$
Кратер без валиков		$k_{15}, z_{15}$		$k_{16}, z_{16}$
Кратер с валиками		$k_{17}, z_{17}$		$k_{18}, z_{18}$
Участок без препятствий		$e_{19}, z_{19}$		$e_{20}, z_{20}$

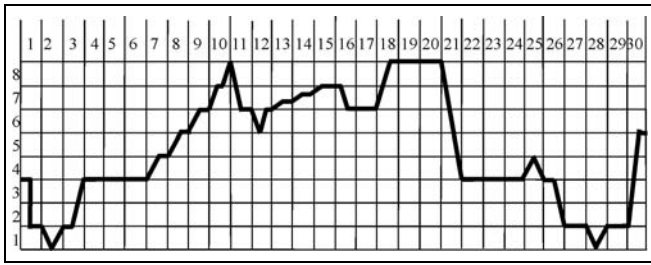


Рис. 1. График продольно-вертикального разреза рельефа в районе эксплуатации «Лунохода-1»

- преобразование геометрического кода маршрута для учета физических свойств участков маршрута;
- преобразование кода для учета свойств объекта движения;
- преобразование кода для учета свойств органа управления.

II этап. Построение функций  $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2$  и  $\varphi_3$ , отображающих числовые показатели уровней  $\Omega_0, \Omega_1, \Omega_2, \Omega_3$  и  $\Omega_4$  спектра в пространство  $R^+$ .

III этап. Построение системы весов для каждого из рассматриваемых рекуррентных форм  $F$  и наборов значений аргументов рекуррентной формы.

IV этап. Выбор критерия для построения общего показателя сложности, определяемого по показателям спектра (построение правил общей оценки сложности для управления движением на всем маршруте  $\xi$  на базе использования числовых показателей спектра).

Используя представленный на рис. 1 продольно-вертикальный разрез рельефа района эксплуатации «Лунохода-1» [5, с. 29] и грубое кодирование графика разреза, получаем код разреза рельефа.  $\xi = c_5 k_{15} c_7 e_{19} e_{19} c_7 c_8 c_8 c_6 v_9 c_8 c_8 c_5 e_{19} c_7 e_{19} e_{19} c_5 e_{19} e_{19} e_{19} b_1 c_5 e_{19} v_9 c_{19} c_7$ .

В этом коде представлены только типы препятствий. Высота  $H$  холма, ступенчатого препятствия или камня, а также ширина  $L$  рва или кратера и расстояние между граничными точками в основании холма должны учитываться при оценке препятствия. Эти показатели можно выразить значениями переменных. Например, в коде  $\xi$  первый знак  $c_5$  и двадцать первый знак  $c_5$  сопоставлены различным по сложности ступенчатым препятствиям. Более точное описание рельефа требует учета конкретных значений показателей  $H$  и  $L$  в последовательности  $\xi$  для каждого отрезка маршрута, представленного кодовым знаком.

Основу данного метода составляют содержательные процедуры выбора элементарных кодов различных типов и формальные процедуры — кодирование маршрута и вычисление показателей спектра.

### 3. ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НА АВТОДРОМАХ

Для сравнения по сложности управления движением болидов двух трасс — автодрома «Interlagos» (Бразилия) и автодрома «Catalunya Montmello» (Испания) — в качестве геометрических характеристик трасс выберем элементарные коды, изображенные на рис. 2. В кодах  $\xi_1$  и  $\xi_2$ , представляющих эти трассы, однобуквенные коды вида  $a_i$  обозначают участки, которым сопоставлены геометрические кривые, изображенные на рис. 2. После кодирования трасса автодрома «Interlagos» получает код

$$\xi_1 = (a_5)^8 a_4 (a_5)^4 a_2 (a_5)^2 a_2 a_5 a_2 (a_5)^3 a_2 (a_5)^2 a_1 a_4 (a_5)^2 a_1 a_1 (a_5)^2 a_2 a_1 (a_5)^6 a_3 a_5 a_3 (a_5)^{11} a_2 a_5 a_2 a_2.$$

Кодирование трассы автодрома «Catalunya Montmello» дает код

$$\xi_2 = (a_5)^{13} a_2 a_4 (a_5)^2 a_4 a_4 a_4 a_4 (a_5)^3 a_2 a_5 a_4 (a_5)^2 a_2 (a_5)^2 a_4 a_5 a_1 a_4 (a_5)^3 a_2 (a_5)^7 a_1 a_5 a_3 a_3 a_5 a_3 (a_5)^2 a_4 a_4 (a_5)^3 a_4 a_4.$$

Физические свойства трасс определяются как свойства поверхности трасс, температурные показатели на участках трассы, влажность и др. Эти свойства наносятся на код трассы, в рассматриваемом случае добавлением знака «'»:

$$\begin{aligned} \xi'_1 &= (a'_5)^8 a'_4 (a'_5)^4 a'_2 (a'_5)^2 a'_2 a'_5 a'_2 (a'_5)^3 a'_2 (a'_5)^2 a'_1 a'_4 (a'_5)^2 a'_1 a'_1 (a'_5)^2 a'_2 a'_1 (a'_5)^6 a'_3 a'_5 a'_3 (a'_5)^{11} a'_2 a'_5 a'_2 a'_2, \\ \xi'_2 &= (a'_5)^{13} a'_2 a'_4 (a'_5)^2 a'_4 a'_4 a'_4 a'_4 (a'_5)^3 a'_2 a'_5 a'_4 (a'_5)^2 a'_2 (a'_5)^2 a'_4 a'_5 (a'_5)^2 a'_4 a'_5 a'_1 a'_4 (a'_5)^3 a'_2 (a'_5)^7 a'_1 a'_5 a'_3 a'_3 a'_5 a'_3 (a'_5)^2 a'_4 a'_4 (a'_5)^3 a'_4 a'_4. \end{aligned}$$

Каждый код  $a'_i$  интерпретируется как набор значений показателей геометрических и физических свойств участка  $a_i$ .

Простейший вариант определения свойств болида представляется скоростями входа болида на участок и выхода с участка, что определено практикой эксплуатации автодромов. Эти данные можно учесть изменением некоторых однобуквенных кодов участков и интерпретации этих кодов. Кроме этого, в учитываемые свойства объекта движения включаются время набора скорости и торможения, устойчивость и др., что может быть представлено изменением уже имеющихся однобуквенных ко-

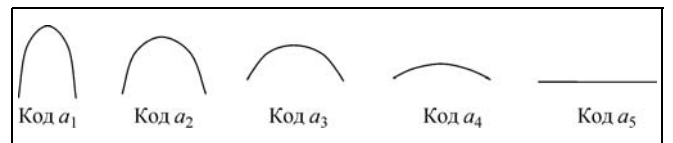


Рис. 2. Геометрическая интерпретация участков трасс автодромов в кодах  $\xi_1$  и  $\xi_2$

дов и соответствующим изменениям интерпретации кодов  $\xi_1''$  и  $\xi_2''$ :

$$\xi_1'' = (a_5'')^8 a_4'' (a_5'')^4 a_2'' (a_5'')^2 a_2'' a_5'' a_2'' (a_5'')^3 a_2'' (a_5'')^2 a_1'' a_4'' (a_5'')^2 a_1'' a_1'' (a_5'')^2 a_2'' a_1'' (a_5'')^6 a_3'' a_5'' a_3'' (a_5'')^{11} a_2'' a_5'' a_2'' a_2'',$$

$$\xi_2'' = (a_5'')^{13} a_2'' a_4'' (a_5'')^2 a_4'' a_4'' a_4'' a_4'' (a_5'')^3 a_2'' a_5'' a_4'' (a_5'')^2 a_2'' (a_5'')^2 a_4'' a_5'' a_1'' a_4'' (a_5'')^3 a_2'' (a_5'')^7 a_1'' a_5'' a_3'' a_3'' a_5'' a_3'' (a_5'')^2 a_4'' a_4'' (a_5'')^3 a_4'' a_4''.$$

Оценка сложности управления движением сложного объекта по сложному участку трассы требует предварительной подготовки объекта на предшествующих участках трасс. В связи с этим для осуществления движения объекта на сложном конкретном участке трассы должны быть заранее (во время движения на предшествующих участках) сформированы соответствующие свойства объекта.

Например, управление движением подводной лодки на конкретном участке с использованием описания функционирования подлодки, приведенного популярно и упрощенно в работе [6], подготавливается на предшествующих участках. Управление движением и функционированием подлодки в целом осуществляется через выполнение стандартных операций членами экипажа и автоматическими устройствами. Выполнение сложных стандартных операций подготавливается и обеспечивается в интервалы времени, предшествующие операциям. Это подтверждает правомерность применения математического аппарата рекуррентных форм для представления и анализа кодов маршрутов, т. е. сложность управления движением на участке связана с действиями на предыдущих участках. Перед отплытием подлодки должны быть осуществлены мероприятия, подготавливающие возможность отплытия, которые обеспечивают, например, следующие свойства подлодки: «...электроустановка работает в нормальном режиме, охлаждающие насосы работают на малой скорости, ..., вал вращается, ..., все проверки перед отплытием выполнены, ..., все подразделения готовы к погружению,

кроме палубы и мостика ... ([6, с. 21])». В код маршрута следует включать действия, обеспечивающие функционирование подлодки, например, «запуск реактора, запуск машинного отделения, подготовку комнаты сонарного оборудования и т. д. ([6, с. 7])».

Подготовка объекта движения к преодолению конкретного участка маршрута распределяется по отдельным процедурам и отдельным участкам маршрута. В общем виде такие процедуры систематизированы в табл. 3, в которой в каждой клетке на пересечении  $v$ -й строки и  $t$ -го столбца размещены свойства  $\beta_{v,t}$  объекта движения, которые должны быть сформированы на участке  $b_t$  для движения объекта по участку  $b_v$ .

Таким образом, для движения на участке  $b_v$  в табл. 3 для каждого из участков  $b_1, b_2, \dots, b_c$  указаны свойства объекта движения  $\beta_{1,v}, \beta_{2,v}, \dots, \beta_{c,v}$ , которые должны быть сформированы соответственно на участках с номерами 1, 2, ...,  $c$  рассматриваемого маршрута. Включение этой информации в код маршрута приводит к форме кодов маршрута  $\xi_1''$  и  $\xi_2''$ . Для упрощения вычислений спектра рассмотрим сравнение по сложности маршрутов трасс автодромов «Формулы-1» «Interlagos» и «Catalunya Montmello» только по кодам  $\xi_1$  и  $\xi_2$ . Получаем табл. 4 числовых показателей спектра.

Анализ показателей спектров  $\Omega(\xi_1)$  и  $\Omega(\xi_2)$  по уровням  $\Omega_0 - \Omega_2$  показывает, что управление движением с использованием единого и общего правила на трассе автодрома «Interlagos» требует использования информации о меньшем числе предшествующих участков, так как  $\Omega(\xi_1) < \Omega(\xi_2)$ . Выполнение правил, в которых учтены особенности движения по предшествующим восьми участкам в случае автодрома «Interlagos», позволяет организовать управление движением на 52-х участках, а в случае движения по автодрому «Catalunya Montmello» наименьшее число предшествующих участков, которые учитываются в правилах управления движением на 52-х (и остальных участках), равно 13. Наибольшее число смен правил управления дви-

Таблица 3

Таблица распределения процедур подготовки объекта к движению на конкретном участке

	$b_1$	...	$b_{v-1}$	$b_v$	$b_{v+1}$	...	$b_c$
$b_1$	$\beta_{1,1}$	...	$\beta_{1,v-1}$	$\beta_{1,v}$	$\beta_{1,v+1}$	...	$\beta_{1,c}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$b_{v-1}$	$\beta_{v-1,1}$	...	$\beta_{v-1,v-1}$	$\beta_{v-1,v}$	$\beta_{v-1,v+1}$	...	$\beta_{v-1,c}$
$b_v$	$\beta_{v,1}$	...	$\beta_{v,v-1}$	$\beta_{v,v}$	$\beta_{v,v+1}$	...	$\beta_{v,c}$
$b_{v+1}$	$\beta_{v+1,1}$	...	$\beta_{v+1,v-1}$	$\beta_{v+1,v}$	$\beta_{v+1,v+1}$	...	$\beta_{v+1,c}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$b_c$	$\beta_{c,1}$	...	$\beta_{c,v-1}$	$\beta_{c,v}$	$\beta_{c,v+1}$	...	$\beta_{c,c}$





жением, т. е. рекуррентных форм в определении кода маршрута, требуется для управления движением по трассе автодрома «Catalunya Montmello». Сравнение показателей спектров позволяет сделать вывод, что управление движением по трассе автодрома «Interlagos» проще, чем управление движением по трассе автодрома «Catalunya Montmello».

Полное исключение человеческого фактора при управлении движением сложного объекта на достаточно сложных маршрутах невозможно, так как невозможно включить в формальные правила все разнообразие ситуаций, которые возникают в зависимости от свойств трасс, объектов движения и органа управления.

Предлагаемый подход к оценке сложности управления движением ограничен предположением, что маршрут известен и зафиксирован. В методе построения оценки учитываются только некоторые общие свойства органа управления, представленные в разработанном спектре числовых показателей, характеризующих взаиморасположение элементов в последовательности. В зависимости от цели и условий управления движением строятся все или некоторые уровни спектра.

При определении последовательности  $\xi$  рекуррентной формой порядка  $m < m_0$  для нахождения этой последовательности требуется более одной рекуррентной формы. Это означает, что одного правила управления движением, имеющего «глубину»  $m$ , недостаточно, и в общем правиле движения по всему маршруту должны содержаться раз-

личные правила «глубины»  $m$ . Число смен правил «глубины»  $m$ , где  $m \in \{1, 2, \dots, m_0 - 1\}$ , при определении последовательности  $\xi$ , дает важную характеристику сложности общего и единого правила. Число отдельных участков маршрута, проходимых объектом движения без изменения правила, соответствует части кода маршрута  $\xi$ , определяемой отдельной рекуррентной формой. Имеются и другие связи правил и их предполагаемых математических моделей в виде рекуррентных форм.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ: КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

Предложен подход к оценке сложности управления движением по заданному маршруту, при реализации которого определяются характерные стандартные участки маршрута и их коды. Для кода всего маршрута вычисляются числовые показатели, представляющие свойства ломаной линии, соответствующей маршруту. Геометрические и физические свойства маршрута определяются кодами отдельных участков маршрута. Свойства объекта движения наносятся на код маршрута на основе его покрытия подпоследовательностями, каждая из которых состоит из трех частей, имеющих следующую интерпретацию:

- свойства, формируемые на предшествующих участках;
- свойства, требующиеся для движения по рассматриваемому участку;
- восстанавливаемые свойства объекта движения.

Разработан специальный спектр числовых показателей, который числовыми структурами характеризует все рассмотренные варианты кодов управления движением по известному маршруту. Сложность правил управления движением оценивается по числовым показателям рекуррентных форм, определяющих взаиморасположение знаков кода.

Таблица 4

Числовые показатели спектров (для автодромов «Interlagos» и «Catalunya Montmello»)

Уровень спектра	Числовые значения показателей спектра	
	«Interlagos»	«Catalunya Montmello»
$\Omega_0$	$m_0(\xi_1) = 11$	$m_0(\xi_1) = 13$
$\Omega_1$	$d^1(\xi_1) = 8, d^2(\xi_1) = 8, d^3(\xi_1) = 8, d^4(\xi_1) = 8, d^5(\xi_1) = 8, d^6(\xi_1) = 8, d^7(\xi_1) = 8, d^8(\xi_1) = 52, d^9(\xi_1) = 55, d^{10}(\xi_1) = 55, d^{11}(\xi_1) = 59$	$d^1(\xi_1) = 13, d^2(\xi_1) = 13, d^3(\xi_1) = 13, d^4(\xi_1) = 13, d^5(\xi_1) = 13, d^6(\xi_1) = 13, d^7(\xi_1) = 13, d^8(\xi_1) = 13, d^9(\xi_1) = 13, d^{10}(\xi_1) = 13, d^{11}(\xi_1) = 13, d^{12}(\xi_1) = 13, d^{13}(\xi_1) = 62$
$\Omega_2$	$r^1(\xi_1) = 20, r^2(\xi_1) = 14, r^3(\xi_1) = 12, r^4(\xi_1) = 8, r^5(\xi_1) = 6, r^6(\xi_1) = 5, r^7(\xi_1) = 4, r^8(\xi_1) = 3, r^9(\xi_1) = 2, r^{10}(\xi_1) = 2, r^{11}(\xi_1) = 1$	$r^1(\xi_1) = 23, r^2(\xi_1) = 13, r^3(\xi_1) = 8, r^4(\xi_1) = 7, r^5(\xi_1) = 4, r^6(\xi_1) = 4, r^7(\xi_1) = 3, r^8(\xi_1) = 2, r^9(\xi_1) = 2, r^{10}(\xi_1) = 2, r^{11}(\xi_1) = 2, r^{12}(\xi_1) = 2, r^{13}(\xi_1) = 1$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Твердохлебов В.А. Геометрические образы законов функционирования автоматов. — Саратов: Научная книга, 2008. — 183 с.
2. Твердохлебов В.А. Геометрические образы конечных детерминированных автоматов // Изв. Саратовского гос. ун-та. — 2005. — Т. 5, вып.1. — С. 141—153.
3. Твердохлебов В.А. Спектры числовых характеристик фазовых картин объектов диагностирования // Радиотехника и компьютерные системы. — 2008. — № 5. — С. 148—155.
4. Твердохлебов В.А. Сложность управления движением по заданному маршруту // Там же. — 2009. — № 5. — С. 116—120.
5. Динамика планетохода / Е.В. Авотин, И.С. Болховитинов, А.Л. Кемурджиан и др. — М.: Наука, 1978. — 438 с.
6. Димеркурио М., Бенсон М. Подводные лодки. — М.: АСТ; Астрель, 2007. — 352 с.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.Ю. Рутковским.

Твердохлебов Владимир Александрович — д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник, Институт проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов, ☎(8452) 22-10-42, ✉tverdokhlebovva@list.ru.