

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА СЪПРОТИВЛЕНИЕТО НА ВЪЗДУШНАТА СРЕДА ПО ВРЕМЕ НА ПОЛЕТА ПРИ СКОК НА ДЪЛЖИНА

Златко Златанов,
ТК "Джон Атанасов" Пловдив

STUDY OF THE EFFECT OF AIR RESISTANCE DURING THE FLIGHT IN THE LONG JUMP

Zlatko Zlatanov – TK „John Atanasov“, Plovdiv

Keywords: Long Jump, flight stage, aerodynamics

In our age, athletic achievements are greatly influenced by the integration of the advances of scientific theory into practice. This article explores the impact of wind in the flight phase of a long jump. I have researched specific methods for determining the aerodynamic characteristics of a human body moving in mid-air. Regressive analysis has been used to process the data. The equations for movement in a resistant environment have been solved taking into account the impact of the wind.

Научният подход към изследването на спортната дейност даде мощен тласък на теорията на спорта. Тя в комбинация с експеримента се явяват основата на развитието на процеса на спортното усъвършенстване.

Скокоът на дължина е цялостно гъвателно действие, но условно се разделя на четири фази:

- засилване;
- отскок;
- летеене;
- приземяване.

От гледна точка на механиката дължината на скока зависи най-вече от началната скорост на излитане на ОЦТ, от ъгъла и височината му след отскока. Скокоът ще бъде по-дълъг, колкото по-голяма е началната скорост и отскачането е извършено под най-благоприятен ъгъл спрямо хоризонта [1]. В сравнение с останалите фази на скока летежната е най-малко изследвана. Няма такива, които да установят влиянието ѝ върху постижението. Неизследван фактор е съпротивлението на въздушната среда в летежната фаза. При изследване движението на ОЦТ в съпротивителна среда е необходимо да се определят аеродинамичните коефициенти при различно разположение на сегментите на тялото.

Целта на изследването е да се установи влиянието на вятъра по сила и посока върху постижението в летежната фаза на скока на дължина.

Методика

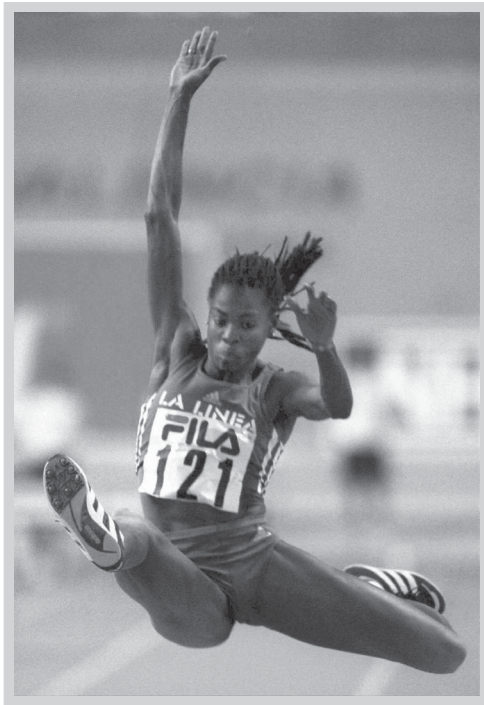
Исходните данни са получени от заснети опити на скачачи на дължина (юноши) от гр. Пловдив, с кинокамера PANASONIC с честота на кадрите 25 кад/сек, разположена перпендикулярно на пътеката на засилване. Обработени са с видео-компютърна система APAS.

Определянето на аеродинамичните характеристики на модел на състезател по скок на дължина е извършено в аеродинамичния комплекс УЛАК – 1 на Техническия университет – София, филиал Пловдив.

Комплексът УЛАК – 1 включва гозвуковата аеродинамична тръба УТ – 1, автоматизиран механизъм за преместване на модела, комплект тензозвезни, измервателна система на базата на персонален компютър и специализирано програмно осигуряване. Аеродинамичната тръба УТ – 1 е със затворен контур, отворена работна част и вентилатор. Работната част е открита, с правоъгълно сечение и размери 600 на 400 мм [5].

Таблица 1

Позиция	1	2	3	4	5	6	7
Характерна площ, м ²	0,01663	0,01446	0,01533	0,01575	0,016	0,01224	0,01085



За експеримента се използва 15-сегментен модел. Приета е пълна симетрия спрямо главната медиална равнина (ляво-дясна симетрия). Критерий за подобие, по който се моделира течението е числото на Рейнолдс (Re) [4]. Основни фактори при определяне на размерите на модела са сечението на работната част и числата на подобие, които е необходимо да се постигнат при експеримента. За характерен линеен размер на модела е избрана височината му $h_m = 0,3$ м и характерна площ – проекцията на модела върху равнина, перпендикулярна на посоката на въздушното течение (табл. 1).

Експериментът включва 7 позиции. За всяка от тях са правени по 3 опита. Първата позиция е изходно положение прав. Останалите 6 са характерни положения на сегментите на тялото през време на летежната фаза в скок на дължина **фиг.1** [2].

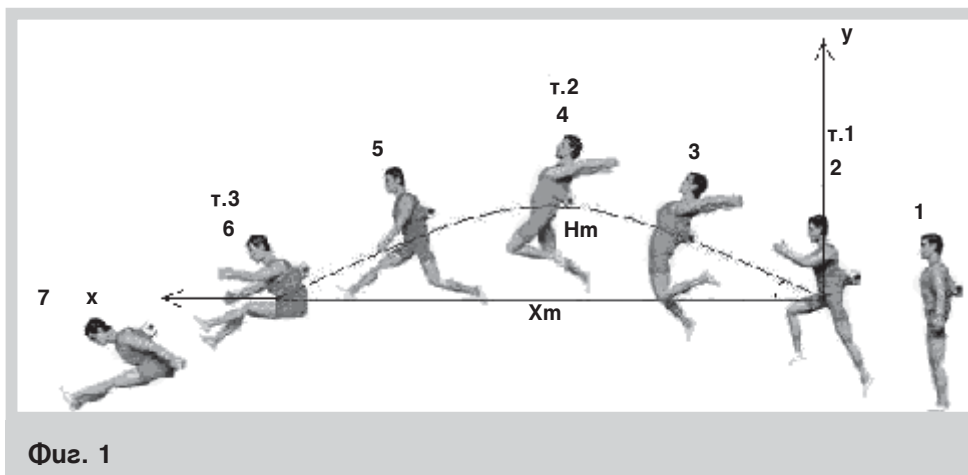
Стойността на коефициента на съпротивление и числото на Рейнолдс са изчислени за съответната скорост на обтичане, съответстваща на скоростта в летежна фаза. За обработка на данните е използван регресионен анализ. За графичните изображения е използван MS Excel.

Общият вид на регресионните уравнения са криви от втора степен. Те се изчисляват като максимално приближени до зададени точки чрез уравнения от вида $y = b_2x^2 + b_1x + b_0$. Моделът е избран да съдържа минимален брой функции на фактора и да осигурява достатъчно висока точност [6].

При изследване траекторията на движение на ОЦТ в съпротивителна среда от съществено значение е компонентата на аеродинамичната сила по ос X, т.е. челното съпротивление на въздушната среда, а не стойността на цялата аеродинамична сила.

Диференциалното уравнение на движение в съпротивителна среда с големина на съпротивителната сила, пропорционална на квадрата на скоростта [$f(v)=k.V^2$], се решава в случаи на отчитане влиянието на вятъра, успореден на засилването.

При изследване траекторията на движение на ОЦТ в съпротивителна среда от съществено значение е компонентата на аеродинамичната сила по ос X, т.е. челното съпротивление на въздушната среда, а не стойността на цялата аеродинамична сила.



Фиг. 1

Таблица 2

N	Точка 1	Точка 1	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 3	T. 1-3	T. 1-2	T. 1-3	T. 1-2	Точка 2	Точка 1
	Vo m/s	Vox m/s	Voy m/s	Vx m/s	Vx m/s	Vy m/s	ts	ts	Xm	Xm	Hm	Ъгъл
Модел	7,630	6,848	3,336	6,048	5,629	-3,074	0,630	0,313	3,951	1,987	0,515	26

Таблица 3. Определяне на аеродинамичния коефициент

W m/s	-3,000	-2,500	-2,250	-2,000	-1,750	-1,500	-1,000	-0,500	0,000	0,500	1,000	1,500	1,750	2,000	2,250	2,500	3,000
V m/s- т.1	3,850	4,350	4,600	4,850	5,100	5,350	5,850	6,350	6,850	7,350	7,850	8,350	8,600	8,850	9,100	9,350	9,850
Re .E05	4,789	5,411	5,722	6,033	6,344	6,655	7,277	7,899	8,521	9,143	9,765	10,387	10,698	11,009	11,320	11,631	12,253
Cxp-т.1	1,594	1,159	1,141	1,123	1,105	1,089	1,057	1,027	0,999	0,974	0,951	0,930	0,921	0,912	0,904	0,896	0,882
Cxn.S	0,803	0,584	0,575	0,566	0,557	0,549	0,533	0,518	0,504	0,491	0,479	0,469	0,464	0,460	0,455	0,451	0,444
Vm/s-т.2	3,050	3,550	3,800	4,050	4,300	4,550	5,050	5,550	6,050	6,550	7,050	7,550	7,800	8,050	8,300	8,550	9,050
Re.E05	3,794	4,416	4,727	5,038	5,349	5,660	6,282	6,904	7,526	8,148	8,770	9,392	9,703	10,014	10,325	10,636	11,258
Cxp-т.2	0,995	0,962	0,946	0,931	0,915	0,901	0,873	0,846	0,821	0,798	0,777	0,757	0,748	0,740	0,731	0,723	0,709
Cxn.S	0,573	0,554	0,545	0,536	0,527	0,519	0,503	0,487	0,473	0,460	0,448	0,436	0,431	0,426	0,421	0,417	0,408
Vm/s-т.3	2,630	3,130	3,380	3,630	3,880	4,130	4,630	5,130	5,630	6,130	6,630	7,130	7,380	7,630	7,880	8,130	8,630
Re.E05	3,272	3,894	4,205	4,516	4,827	5,138	5,760	6,382	7,004	7,626	8,248	8,870	9,181	9,492	9,803	10,114	10,736
Cxp-т.3	0,893	0,859	0,843	0,827	0,811	0,796	0,767	0,739	0,713	0,689	0,666	0,645	0,635	0,626	0,617	0,608	0,592
Cxn.S	0,386	0,371	0,364	0,357	0,350	0,344	0,331	0,319	0,308	0,298	0,288	0,279	0,274	0,270	0,266	0,263	0,256
Cxp - ср.	1,161	0,993	0,977	0,960	0,944	0,928	0,899	0,871	0,845	0,820	0,798	0,778	0,768	0,759	0,750	0,742	0,727
Cxn.S- ср.	0,587	0,503	0,495	0,486	0,478	0,470	0,455	0,441	0,428	0,416	0,405	0,395	0,390	0,385	0,381	0,377	0,369

$$\begin{aligned}
 m \cdot \dot{V}_x &= -k \cdot V_x^2 \\
 (1) \quad m \cdot \dot{V}_x &= -k \cdot V_x^2 - W \\
 m \cdot \dot{V}_x &= -k \cdot V_x^2 - W,
 \end{aligned}$$

където $k = \frac{1}{2} C_x \cdot S \cdot \rho$ [3], $W = (0 \div \pm 3.0 \text{ м/сек})$;

C_x – безразмерен аеродинамичен коефициент;
 S (m^2) – ефективна площ на тялото;
 ρ (kg/m^3) – плътност на въздушната среда.

Уравненията се решават, като интегрираме чрез отделяне на променливите [7].

Анализ на резултатите

Усреднените данни на характеристиките в летежната фаза са дадени в **таб. 2**

За изчисляване на аеродинамичните сили и моменти, действащи на натурния обект, е необходимо да се изчисли ефективното число на Рейнолдс [2].

$$(2) \quad R_{efm} = k_t \cdot R_m$$

където k_t е коефициентът на тръбата (зависещ от степента на начална турбулентност на течението в работната част). Стойността му за конкретния случай е 2,14.

$$(3) \quad R_m = \frac{\rho \cdot V \cdot h_m}{\mu}$$

Аеродинамичните коефициенти на модела и натурния обект са равни при равенство на натур-

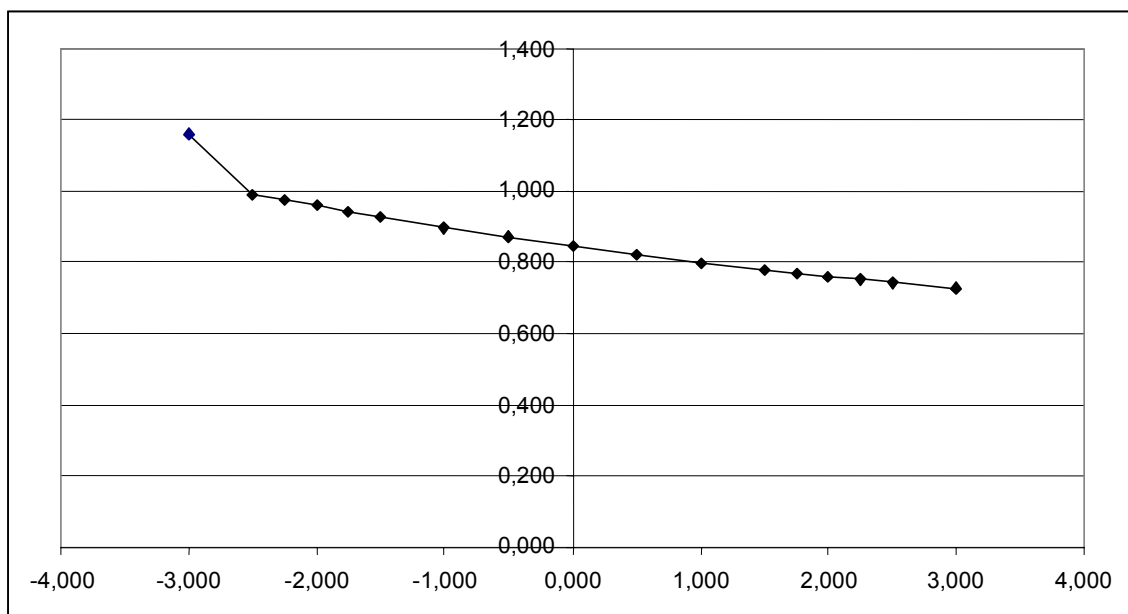
ното число на Рейнолдс (Re_n) и ефективното число на Рейнолдс за модела (Re_{efm}).

От регресионните уравнения за всяка позиция се определят аеродинамичните коефициенти на натурния обект.

$$\begin{aligned}
 y_1 &= 0,0038x^2 - 0,1166x + 1,9273 \quad \text{при } R^2 = 0,964 \\
 y_2 &= 0,0029x^2 - 0,0918x + 1,5711 \quad \text{при } R^2 = 0,965 \\
 y_3 &= 0,0024x^2 - 0,0717x + 1,2105 \quad \text{при } R^2 = 0,929 \\
 y_4 &= 0,0022x^2 - 0,0715x + 1,2349 \quad \text{при } R^2 = 0,909 \\
 y_5 &= 0,0029x^2 - 0,0785x + 1,2275 \quad \text{при } R^2 = 0,866 \\
 y_6 &= 0,0021x^2 - 0,0698x + 1,0991 \quad \text{при } R^2 = 0,971 \\
 y_7 &= 0,0003x^2 - 0,0359x + 1,1396 \quad \text{при } R^2 = 0,898
 \end{aligned}$$

За конкретния случай аеродинамичният коефициент (C_x) е средната стойност на поз. 2 (т.1), поз. 4 (т.2) и поз. 6 (т.3) (**таб. 3**). Анализът на стойностите на C_x показва, че с увеличаване на скоростта на вятъра аеродинамичният коефициент намалява (**фиг. 2**).

Резултатите от решението на диференциалните уравнения (1) са дадени в **табл. 4** и **5**. и на **фиг. 3** и **4**. Данните показват, че зависимостта между съпротивителната среда и постижението е право пропорционална. В зоната на двата метра ($\pm 2 \text{ м/сек}$) няма нарушение на зависимостта. При вятър по посока обратна на скачане обаче влиянието е по-голямо. В допустимите 2 м/сек положителното влияние на вятъра е 2,2% , а отрицателното 2,5%. Следователно при вятър в рамките на $\pm 2 \text{ м/сек}$, влиянието е около 5% (18,7 см), което не е за подценяване отчитайки факта, че резултатите са на юноши.



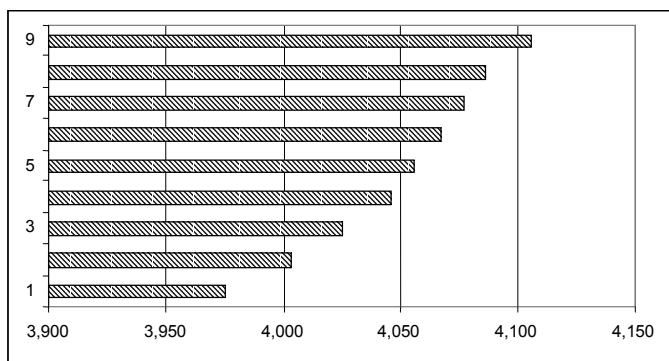
Фиг. 2. Зависимост на аеродинамичния коефициент от скоростта на вятъра

Таблица 4

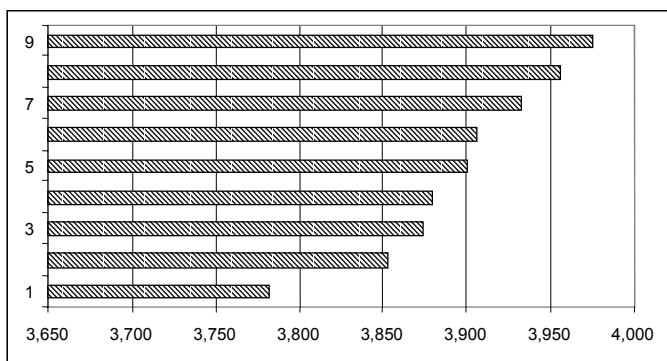
N	W m/s	X m	Xm-Xo	%
9	3,000	4,106	0,127	3,192
8	2,500	4,086	0,107	2,689
7	2,250	4,077	0,098	2,462
6	2,000	4,067	0,088	2,214
5	1,750	4,056	0,077	1,935
4	1,500	4,046	0,067	1,684
3	1,000	4,025	0,046	1,156
2	0,500	4,003	0,024	0,603
1	0,000	3,979	0,000	0,000

Таблица 5

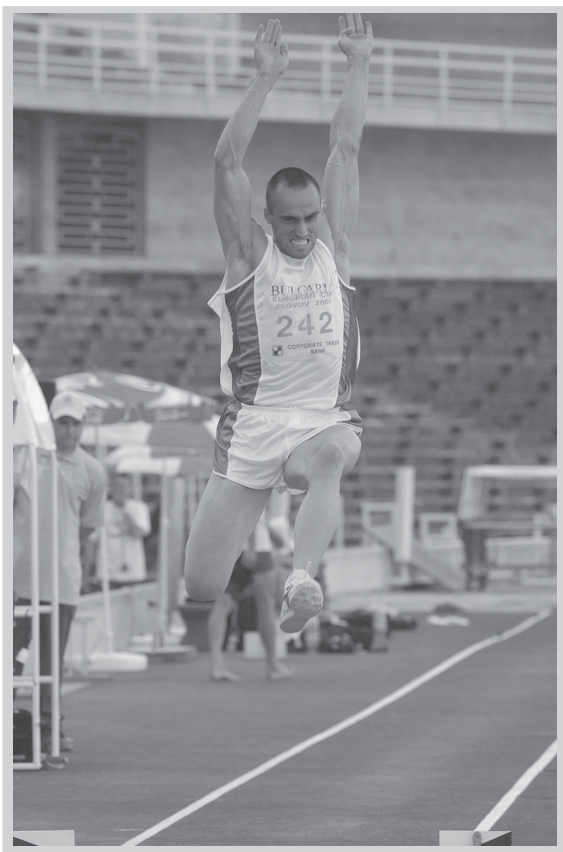
N	W - m/s	X m	Xm-Xo	%
9	0,000	3,979	0,000	0,000
8	-0,500	3,956	0,023	0,578
7	-1,000	3,932	0,047	1,181
6	-1,500	3,906	0,073	1,830
5	-1,750	3,901	0,078	1,960
4	-2,000	3,880	0,099	2,488
3	-2,250	3,874	0,105	2,639
2	-2,500	3,853	0,126	3,167
1	-3,000	3,782	0,197	4,951



Фиг. 3. Влияние на вятъра по посока на скачането



Фиг. 4. Влияние на вятъра по посока обратна на скачането



Изводи

1. Получените резултати показват значимо влияние на вятъра върху постижението и отчитат липса на екстремум в зоната на допустимите 2 м/сек.
2. Разработена е методика за определяне на аеродинамичните коефициенти при изследване на движение на човешко тяло във въздушна среда.
3. Значимостта на аеродинамичния коефициент върху постижението налага да се търсят резерви в техниката и облеклото за неговото намаляване.

Литература

1. Жалов, К. Лека атлетика. МФ. С., 1991.
2. Бъчваров, М. Приложна биомеханика на леката атлетика. НСА. С., 1999.
3. Тошев, Ю. Биомеханика на движенията на човека. ЮЗУ „Н. Рилски“, Благоевград, 1994.
4. Магжирски, В. Механика на флуидите. Техника. С., 1991.
5. Методически указания за извършване на експерименти в аеродинамичния комплекс УЛАК – 1. Б. Божанов, Е., И. Вучков. (1983). Статистически методи за моделиране и оптимизиране на многофакторни обекти. Техника. С. 1983.
7. Кисъев, И. Наръчник на инженера. Техника. С., 1970.

Рецензент: доц. Йонко Йонов, доктор