

**THE IMPULSE OF A FORCE AS A HIGHLY INFORMATIVE METHOD
AIMED AT ASSESSING THE VERTICAL MOTION¹²**

Assoc. Prof. Christo Kostov, PhD

Department of Physical Culture,
University of Ruse, Bulgaria
Phone: +359 886673318

Assoc. Prof. Ivan A. Loukanov, PhD

Department of Mechanical Engineering,
University of Botswana, Botswana
Phone: +359 896403311
E-mail: loukanovi@gmail.com

Pr. Assist. Prof. Pavel Petrov, PhD

Department of Technical Mechanics,
University of Ruse, Bulgaria
Phone: + 359 82 888 474
E-mail: ppetrov@uni-ruse.bg

Abstract: *This paper deals with the description of a newly proposed method for the assessment and measurements of vertical jumps from a place with two legs based upon the magnitude of the force impulse. The duration of time, the force magnitude and the impulse of the muscular force are registered on a UV-photographic paper by using a designed and constructed strain gauge measuring platform. An electronic amplifier and an oscillograph are also employed to complete the experimental setup. From the dynamo-graph of the force registered during the jump the time taken and the magnitude of the force are measured. Furthermore, the impulse of the force is estimated by measuring the area under the dynamo-graph by means of a surface measuring device, where the time is directly read from the record, while the time scale is provided automatically. By employing the principle of impulses and the kinetic energy the equations for the height of the vertical jump, the initial velocity of the sportsman when separated from the platform and the time taken for the jump are derived. It is stated that the proposed method of determining the vertical jump by using the impulse of the muscular force delivered by the sportsman is the most accurate and practically easy applicable in the sport training.*

Keywords: *Impulse of a force, height vertical jump, dynamo-graph, surface measuring unit.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Високите спортни постижения са немислими без използването на постиженията на научния технически прогрес. За управлението на тази сложна дейност от особено значение е получаването на навременна и надеждна информация за равнището на отделните страни на спортната подготовка.

Практически това се извършва чрез тестове за контрол, и най-вече с отскоци. Много тренъори вече не се задоволяват само от крайното цифрово изражение на даден тест, но преди всичко се интересуват от структурата на кривата на импулса на силата $P(t)$. Това е обосновано от факта, че някои тестове освен за контрол се използват и като тренировъчни средства (Broglie Yanosh, 1970; Bube, X., 1975; Zeliakov, Tz. Barzakov, P., Voichev, K.L., 1971; Furnadziev, V., 1971; Milkov, Tz. Ivanov, Sv. 1976.).

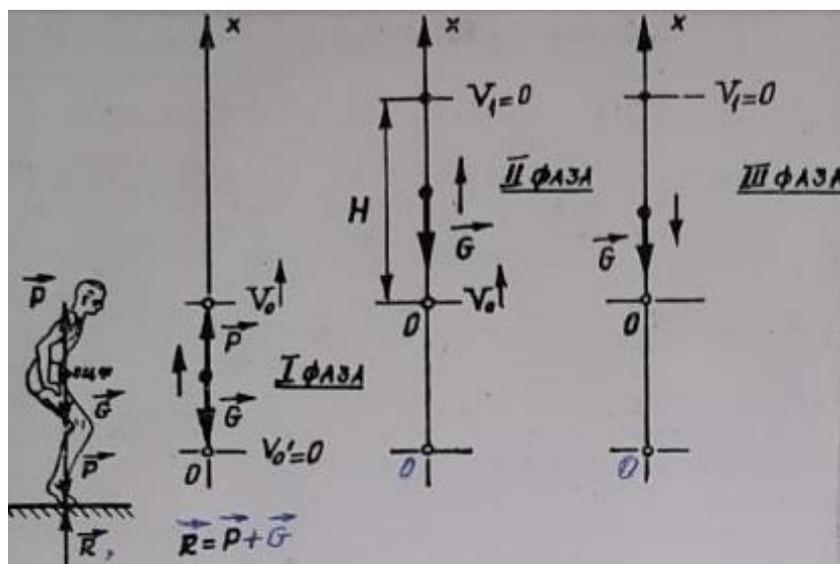
Целта на това изследване е да се изведе формула за реализираната височина при отскок с два крака от място, като се приложи основния закон на биомеханиката "теоремата за

¹² Докладът е представен в секция „Механика и машиностроителни технологии“ на 13 ноември 2020 с оригинално заглавие на български език: ИМПУЛСЪТ НА СИЛАТА КАТО ВИСОКО ИНФОРМАТИВЕН ПАРАМЕТЪР ЗА ОЦЕНКА НА ДВИЖЕНИЕТО

импулсите", а също така да се тестват предложените от нас методики за измерване на площта на резултатния импулс.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Динамичен модел на изследваната система "спортист-регистрараща платформа" и метод на изследването



Фиг. 1. Физически и динамичен модел на системата "спортист-тензометрична измерителна платформа".

На фигура 1 са изобразени физическия и динамичен модел на системата "спортист-тензометрична измерителна платформа", където действащите сили са:

P – мускулната сила на спортиста, N

G – силата на теглото на спортиста, N

R – реакцията на платформата, $R = P + G$, N

На тази фигура тензометричната измерителна платформа е показана символично чрез заштриховката под краката на спортиста (Kostov, Ch. Minev, P., Zlatev, Kr., Loukanov, I. A., Sofia, 1976).

В динамичния модел спортиста е представен като материална точка, символизираща центъра на тежестта му. Условно, вертикалният отскок е разделен на три фази.

Първа фаза – При прилагане на нарастващата сила P , опорната реакция R на платформата се увеличава, вследствие на което на тялото се съобщава определено количество на движение и то придобива начална скорост V_0 . През тази фаза освен мускулната сила P , на тялото действа и постоянната сила на тежестта G . Отскок нагоре ще се получи само когато $P > G$ за интервала от време Δt , представляващ продължителността на тази фаза.

Прилагайки теоремата за импулсите и проектирайки върху оста O_x , и отчитайки, че $V_0' = 0$ се получава

$$m \cdot V_0 - 0 = S_P - S_G, \text{ откъдето}$$

$$V_0 = \frac{S_P - S_G}{m} = \frac{S}{m}, \text{ m/s} \quad (1)$$

Тук $S = S_P - S_G$ е резултатният импулс, съобщаващ на тялото начална скорост V_0 .

Втора фаза – Тялото се движи свободно нагоре под действието на силата на тежестта, при което скоростта прогресивно намалява $V_1 = 0$, а изминатото разстояние представлява чистия вертикален отскок H .

Прилагайки теоремата за кинетичната енергия получаваме $\frac{mV_1^2}{2} - \frac{mV_0^2}{2} = A_G$, където: $A_G = -G \cdot H = -m \cdot g \cdot H$ е работата на тежлото и като отчетем, че $V_1 = 0$, получаваме $-\frac{mV_0^2}{2} = -m \cdot g \cdot H$, или височината на отскока е:

$$H = \frac{V_0^2}{2g} \quad (2)$$

Като заместим (1) в (2) получаваме

$$H = \frac{S^2}{2gm^2} \quad (3)$$

Като се отчете, че $m = \frac{G}{g}$ и се замести в (3) окончателно за височината на вертикалния отскок следва

$$H = 4,905 \left(\frac{S}{G}\right)^2 \quad (4)$$

Формулата (4) беше изведена за първи път от нас и позволява да се изчисли вертикалния отскок с точност до 1mm, като се измери резултантния импулс S .

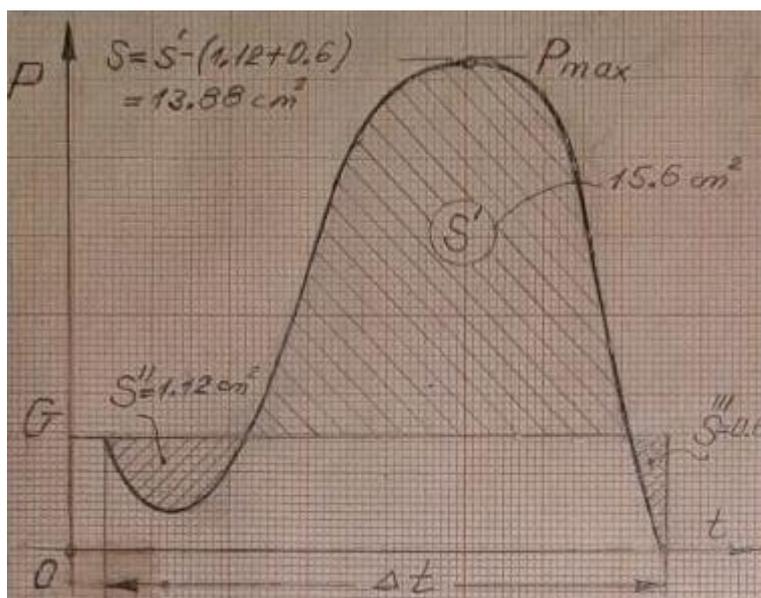
Освен това резултантният импулс може да се представи като $S = P_{cp} \cdot \Delta t$, (5) където: P_{cp} е средната стойност на мускулната сила, съответстваща на резултантния импулс, а Δt е времето през което действа мускулната сила.

Като заместим (5) в (3) за височината на отскока получаваме

$$H = \frac{P_{cp}^2 \cdot \Delta t^2}{2m^2 g} \quad (6)$$

Вземайки предвид (5) и (6) и, че $P_{cp} = \frac{S}{\Delta t}$ (7)

получаваме $P_{cp} = \frac{m}{\Delta t} \sqrt{2gH} = 0,4515 \frac{G}{\Delta t} \sqrt{H}$ (8)



Фиг. 2. Изменение на мускулната сила P , във функция от времето Δt , за отскок с предварително прилякване.

На фигура 2 е показан реален запис на изменение на мускулната сила P , във функция от времето Δt , за отскок с предварително приклякване. Резултантният импулс в този случай се получава като се измери площта S' и от нея се извадят площите S'' и S''' , т.е.

$$S = S' - (S'' + S''') \quad (9)$$

Получената площ се умножава по мащаба на импулса (Kostov, Ch. Minev, P., Loukanov, I. Sofia, 1977.) в резултат на което се получава резултантният импулс S в (N.s).

От формули (3) и (4) се вижда, че височината H на отскока е правопрпорционална на квадрата на резултантния импулс. Следователно малко увеличение на импулса води до по-съществено увеличение на отскока, с други думи импулсът описва пълните капацитетни възможности на спортиста.

Трета фаза – Тя представя свободното падане на тялото протичащо под действието на силата на теглото до момента на докосване на измерителната платформа.

Методика на експерименталните изследвания

Основната цел на нашите изследвания беше да тестваме методиката за измерване на площта на импулсите на мускулната сила $P(t)$ и използването им за пресмятане на височината на отскока H съгласно формула (4).

Опитни лица бяха студенти-спортисти, притежаващи добра скокова подготовка. Изпълняваха се два вида отскоци:

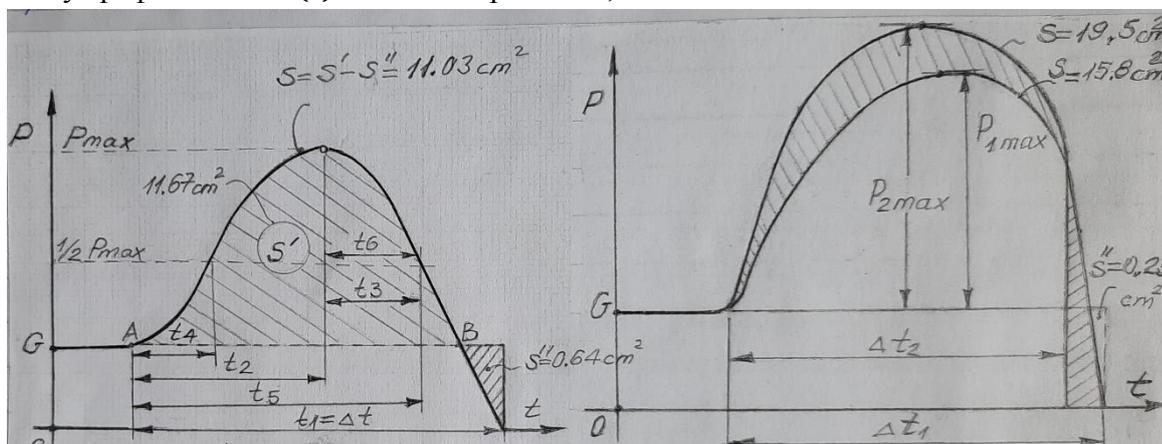
а) Вертикален отскок от полуклек с ъгъл между бедрата и подбедрицата от 90° без приклякване с ръце хванати зад гърба над таза.

б) Скок със същите пози както при скок (а) само, че със свободно приклякване.

При тези тестове се извършваха 4-6 опита. Половината отскоци бяха с $1/2$ усилия, а другата половина с максимални усилия. Изследванията показаха, че тестът е с висока степен на надежност $K = 0.90$.

За целта се използваше следната апаратурна комплектация включваща:

- Осцилограф НО 41У42, регистриращ измервания електронен сигнал върху фотохартия чувствителна към UV светлина;
- Електронен усилвател UM 131 RET;
- Тримерна тензометрична платформа, използваща тензометрични (електросъпротивителни) датчици. Платформата е първата по рода си произведена в България по наша оригинална конструкция;
- Планиметър (фиг.5), използван за измерване на площта на импулсите, заключена между графиката на $P(t)$ и оста на времето t , тип Reiss.



Фиг. 3.

Запис на вертикален отскок от полуклек.

Фиг. 4

Наложени записи на два вертикални отскока от полуклек.

Динамограмите се обработваха по наша методика, която включваше копиране на графиките на $P(t)$ върху прозрачен паус, след което те се налагаха една върху друга и визуално се следяха промените на следните параметри : $P_{max}, \Delta t, S', S'', S'''$.

Интерес представляваха тия динамограми, които имаха принос за височината на отскока. Като най-информативни се оказа динамограмите от фиг.3 и фиг.4, където на фиг.3 е показан записът на вертикален отскок от полуклек, т.е. без приклякване, на фиг.4 наложените записи на два отскока от този вид.

От последната фигура се вижда, че застрихованата част съответства на импулса, който е реализирал разликата във височините на отскока между по-слабите отскоци с тия направени с максимални усилия. Фигурите (3) и (4) представят динамограмите без свободно приклякване, откъдето се вижда, че на по-голямата мускулна сила $P_{2max} > P_{1max}$ съответства по-кратка (фиг.4) продължителност на импулса $\Delta t_2 < \Delta t_1$. От друга страна обаче резултантния импулс S_2 съответстващ на P_{2max} се оказва по-голям от импулса S_1 на силата P_{1max} , в резултат на което височината на отскока $H_{2max} > H_{1max}$.



Фиг. 5. Планиметър за измерване площ на импулсите.

Подобна е интерпретацията на динамограмите при отскоците от място с предварително приклякване (фиг.2) и при тези записи, за да получим резултантния импулс S' , трябва от импулса на мускулната сила $P(t)$, да извадим импулса на силата на теглото G , т.е. $S' = S_p - S_G$. Всички изведени досега формули в секция 2 са валидни и за този вид отскоци.

От всяка динамограма могат да се извлекат голям брой важни параметри. Подложени на статистическа обработка чрез корелационен и факторен анализ ще позволи да отпаднат слабо информативните параметри (Kostov, Ch. Minev, P., Loukanov, I. Sofia, 1977.). По този начин ще се установят доминиращите параметри имащи съществен принос за височината на отскока.

От формула (1) може да се изчисли началната скорост V_0 , с която спортиста напуска платформата. От друга страна височината H на отскока (преместването на ОЦ) може да се изчисли чрез формула (4), а от формула (8) да се пресметне средната стойност на мускулната сила P_{cp} . От самите динамограми могат да се отчетат големините на максималната мускулна сила P_{max} и $\frac{1}{2} P_{max}$, както и времетраенето на отскока Δt , а също и P_{max}/t_{max} , $\frac{1}{2} P_{max}/\frac{1}{2} t_{max}$ и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените теоретични и експериментални изследвания могат да се направят следните изводи и препоръки:

- За първи път в спортната тренировъчна практика височината H на вертикалния отскок с два крака от място може да се изчисли от формула (4) като функция на резултантния импулс на мускулната сила S_p .
- Колкото по-голям е импулсът на силата P , толкова по-голяма ще е височината на отскока H .
- Изведената формула (4) може да се приеме като принос в спортната тренировъчна практика.
- Препоръчваме измерването на импулса на мускулната сила да се извършва само с планиметър. Той осигурява точен и бърз резултат при обработката на голям брой динамограми и е лесен за употреба.
- Обработването, анализа и изводите от динамограмите да се прави строго индивидуално за всеки спортист.
- Преди използването на измервателната апаратура и на планиметъра, те трябва да се калибрират съгласно методиките на техния производител.

REFERENCES

- Brogie Yanosh, *Objectivity of two methods for measuring the vertical jump. Sofia, MFC, Publications of the High Institute of Physical Culture, Vol 13, 1970.*
- Bube, X. *Test in the sport practice. Ministry of Sport publications, Sofia, 1975.*
- Zeliazkov, Tz. Barzakov, P., Boichev, K.L. *A device for the study of some "velocity force" characteristics of sports men. Enquiries of Physical Culture, Vol 4, Sofia, 1971.*
- Furnadziev, V. *New method for measuring the vertical jump from a place and the explosive force the sportsman. Enquiries of Physical Culture, Vol 11, Sofia, 1971.*
- Milkov, Tz. Ivanov, Sv. *Methods of computing the force impulses.. Enquiries of Physical Culture, Vol 9, Sofia, 1976.*
- Kostov, Ch. Minev, P., Zlatev, Kr., Loukanov, I. *A modified method for measuring the vertical jump with two legs from a place. Enquiries of Physical Culture, Vol 4, Sofia, 1976.*
- Kostov, Ch. Minev, P., Loukanov, I. *Analysis and processing of force diagrams of some types of jumps. Enquiries of Physical Culture, Vol 4, Sofia, 1977, Sport Mastery – the best paper.*