

Стенд за определяне на инерционния момент на барабани от машини за прибиране на реколтата

Рангел Зайков, Стоян Ишпеков, Дечко Русчев, Петър Петров

***A stand for determining the moment of inertia of drums for harvesting machines:** It is designed and tested a stand for determining the moment of inertia of parts with complex shape and heterogeneous composition. Its error is less than 1 %. A significant difference between values measured by the stand and determined by the CAD software is pointed out. It is due to the approximate methods, used in CAD software.*

***Key words:** Determining moment of inertia, CAD.*

ВЪВЕДЕНИЕ

При проектиране на вършачните, надробяващите и очесващите апарати от машините за прибиране на реколтата се налага определяне на инерционния момент на техните барабани. Те имат голяма маса, сложна форма и нееднороден състав, което затруднява определянето на техния инерционен момент по аналитичен начин. Неговото определяне с програмите за компютърно проектиране се извършва чрез приблизителни методи. Това налага експериментално определяне на инерционния момент на споменатите барабани.

ЦЕЛ

Разработване и изпитване на стенд за определяне на инерционния момент на барабани от машини за прибиране на реколтата.

Целта се постига чрез следните задачи:

1. Разработване на стенд за определяне на инерционния момент.
2. Теоретично изследване на характера на грешката на метода, който се прилага в стенда.
3. Определяне на относителната грешка на стенда.
4. Определяне на изохронността на стенда.
5. Сравняване на стойностите за инерционния момент на сложен детайл, определен аналитично, чрез CAD софтуер и чрез разработения стенд.

МЕТОД

Експерименталното определяне на инерционния момент на детайли със сложна форма и нееднороден състав се основава на метода на трите нишки [2]. На база този метод се проектира и изработва експериментален стенд, с които се изпълняват задачите на изследването.

Аналитично се определя характера на изменение на относителната грешка на стенда в зависимост от периода на трептене на диска, към който се закрепва изпитвания детайл.

Действителната грешка на стенда се определя чрез инерционния момент на контролен диск, определен аналитично и чрез стенда. Контролният диск се изработва от стомана, има цилиндрична форма и централен отвор. Неговата маса се определя на лабораторна везна с точност 0,2 g, а инерционния му момент се пресмята по известна зависимост [1].

Относителната грешка на стенда се определя експериментално в зависимост от броя на ротационните трептения на диска, които се фиксират на нива 30, 60 и 90. Времето за извършване на трептенията t_n се отчита чрез хронометър за спортни цели.

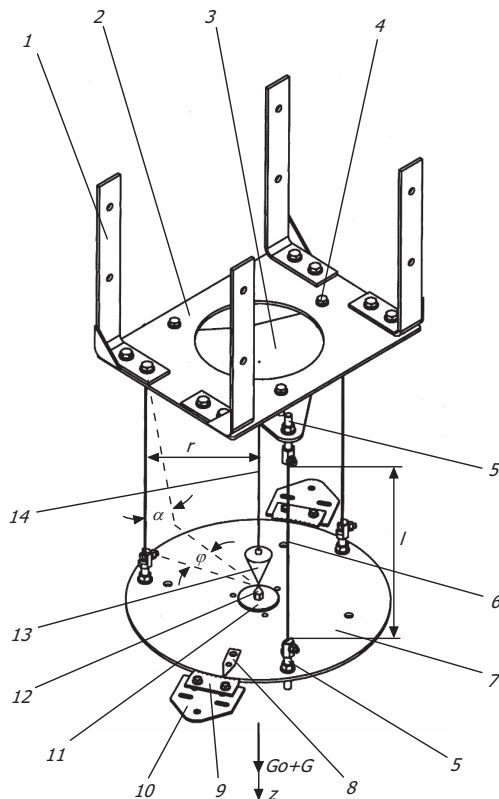
Изохронността на стенда се определя чрез еднофакторен експеримент. Управляемият фактор е ъгловата амплитуда на диска, която се фиксира на три нива - 4°, 6°, 8°. Откликът е периодът на трептене на стенда с контролния диск.

Накрая се сравняват стойностите за инерционния момент на контролния диск и на реален вал от прибираща машина, определени аналитично, чрез CAD софтуер и чрез стенда.

Всички измервания се извършват в пет повторения.

РЕЗУЛТАТИ

Схемата на стенда, разработен в катедра Механизация на земеделието при АУ-Пловдив е представена на фигура 1. Горната му плочата 2 се закрепва към тегер от тавана на помещение чрез планките 1. За нея се монтира и хоризонтира триъгълната плоча 3 посредством болтовете 4. От всеки неин ъгъл се спуска стоманена нишка 6 до диска 7. Неговото хоризонтиране и закрепването на нишките се извършва с болтовете 5. Към диска 7 се монтира стрелка 8, а към стените на помещението - скали 9, с които се отчита ъгъла φ на завъртане на диска 7 спрямо равновесното му положение. Детайлът, чийто инерционен момент се измерва, се закрепва над или под диска 7. Конусите 12 и 13 служат за центриране на диска 7 спрямо триъгълната плоча 3. Конусът 13 се използва и при центриране на детайл върху диска 7.



Фигура 1. Стенд за измерване на инерционен момент

1 - закрепващи планки, 2 - горна плоча, 3 - триъгълна плоча, 4 - хоризонтиращи болтове, 5 - регулиращи болтове, 6 - стоманени нишки, 7 - диск, 8 - стрелка, 9 - скала, 10 - планка, 11 - тапа, 12 - долен конус, 13 - горен конус, 14 - конец.

1-

Масовият инерционен момент на детайла спрямо ос z се определя по зависимостта [3] -

$$(1) \quad I_z = \frac{gr^2}{4l\pi^2} [T^2 (m + m_0) - T_0^2 m_0]$$

където r е разстоянието от нишката до центъра на диска, ($r=0,2\text{ m}$);

m_0 - масата на диска 7, заедно с приспособленията за закрепване на нишките, ($m_0=7,763\text{ kg}$);

m - масата на изпитвания детайл, [kg];

l - дължината на нишката, ($l=2,6\text{ m}$);

T - периодът на трептене на системата (диск с детайл), [s];

T_0 - периодът на трептене на диска 7, [s].

$$(2) \quad T = \frac{t_n}{n},$$

където n е броят на свободните трептения, които дискът извършва след завъртане на малък ъгъл ($\varphi < 10^\circ$) и освобождаване;

t_n - времето за извършване на n трептения, [s].

Масовият инерционен момент на диска 7 спрямо ос z е $I_{z0}=0,20376\text{ kg.m}^2$.

За да се изследва как грешката от измерването на периода на трептене влияе върху относителната грешка на инерционния момент се диференцира израза (1) по периода T . Пренебрегва се $T_0^2 m_0$ поради малката му значимост.

$$dl_z = 2 \frac{gr^2}{4l\pi^2} (m + m_0) T dT$$

За относителната грешка на инерционния момент се получава:

$$\delta l_z = \frac{dl_z}{l_z} = \frac{2(m + m_0) T^2}{T^2 (m + m_0) - T_0^2 m_0} \frac{dT}{T} = \frac{2}{1 - \left(\frac{T_0}{T}\right)^2} \frac{m_0}{m + m_0} dT$$

Полага се

$$(3) \quad \left(\frac{T_0}{T}\right)^2 \frac{m_0}{m + m_0} = \alpha; \text{ или } \delta l_z = \frac{2}{1 - \alpha} dT$$

Ако получения израз се представи в ред на Тейлор по ъгъла на отклонение на нишките α и се отхвърлят членовете, съдържащи степени на α по-високи от първа, то се получава следната зависимост:

$$(4) \quad \delta l_z = 2(1 + \alpha) dT$$

Явно, относителната грешка на инерционния момент зависи само от относителната грешка на периода T и ъгъла α . Тя не зависи от разстоянието r и дължината на нишките l . Важните за практиката случаи са при $\alpha < 10^\circ$, от където следва, че връзката между δl_z и δT е линейна -

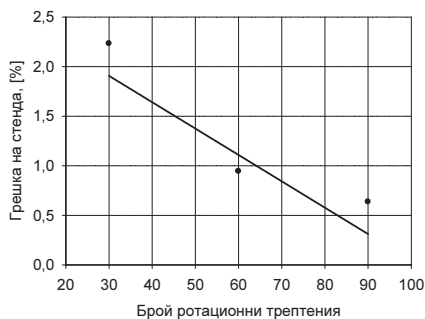
$$(5) \quad \delta l_z = 2\delta T.$$

Относителната грешка на стенда се определя чрез контролнен диск със следните параметри:

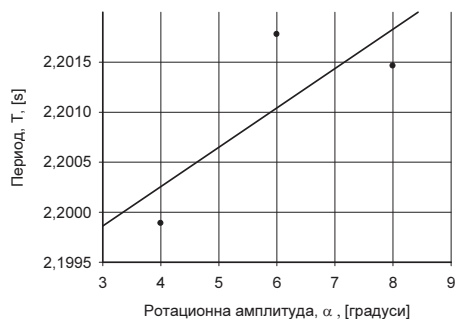
- външен диаметър $D=0,211\text{ m}$;
- диаметър на централния отвор $d=0,06\text{ m}$;
- височина, $h=0,0202\text{ m}$;
- маса $m_{\text{кд}}=4,910\text{ kg}$;
- изчислен масов инерционен момент $I_{\text{кд}}=0,0295342\text{ kg.m}^2$ (Снимка 1).

Грешката на стенда намалява линейно с увеличаване на броя на отчитаните ротационни трептения (Фиг. 2). При 90 трептения тя спада до 0,63 %. Резултатът се обяснява с обстоятелството, че грешката от ръчното отчитане на t_n се дели на по-голям брой трептения. Може да се предположи, че при използване на електронна система за отчитане на началото, края и броя на трептенията може да се повиши точността на стенда при намаляване на броя на трептенията.

От фигура 3 е видно, че периодът на трептенията се изменя от 2,199889 до 2,201778 s, която съставлява разлика от 0,001889 секунди или 0,0000858 %. Явно, стендът не проявява значителна изохронност.



Фигура 2. Относителната грешка на стенда в зависимост от броя на ротационните трептения.



Фигура 3. Периода на трептене на системата в зависимост от ъгловата амплитуда.

Резултатите за инерционния момент на контролния диск, получени аналитично и чрез CAD софтуер са представени в таблици 2 и 3. Софтуерът Solidworks пресмята масовия инерционен момент на контролния диск с по-голяма точност, защото му е зададена плътност, по-близка до действителната, а при AutoDesk Inventor се използва стойността по подразбиране.

Таблица 2. Резултати от AutoDesk Inventor 2012

Контролен диск	Теглено/Изчислено	От Inventor	Разлика, %
маса, [kg]	4,910	5,096	3,79
Мас. инерц. мом, [kg.m ²]	0,0295342	0,03066501	3,83

Таблица 3. Резултати от Solidworks

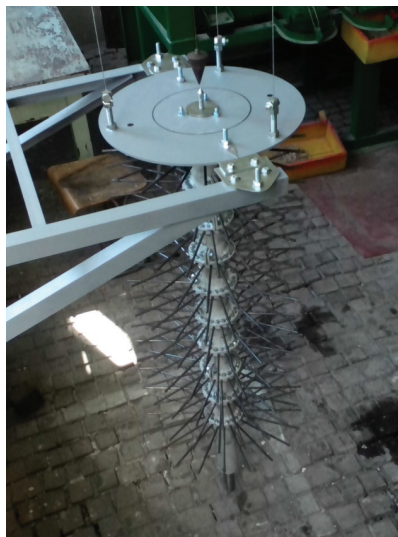
Контролен диск	Теглено/Изчислено	От Solidworks	Разлика, %
маса, [kg]	4,910	4,999	1,81
Мас. инерц. мом, [kg.m ²]	0,0295342	0,030069269	1,81

Към диска 7 на стенда е закрепен палцев вал от прибираща машина с маса 28,850 kg (Снимка 2). Валът е проектиран с AutoDeck Inventor 2012 в катедра Механизация на АУ-Пловдив и изработен в МЕТАРЕМ - Павликени. При ъглова амплитуда 6 градуса и 90 трептения със стенда е определен инерционен момент на вала 0,210000 kg.m². Споменатият софтуер определя инерционен момент на същия вал 0,259329 kg.m², което съставлява разлика от 23,49 %. Тя се дължи на следните причини:

- Определянето на инерционния момент в AutoDeck Inventor 2012 се извършва по приблизителни методи.
- Разлики, породени от непълното съответствие между проектирания и изработения вал.



Снимка 1. Стенда с контролния диск



Снимка 2. Стенда с долно присъединен палцев вал

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектиран, изработен и изпитан е стенд за определяне на масов инерционен момент на детайли със сложна форма и нееднороден състав. Той постига грешка под 1 % при ръчно отчитане на времето за трептенията на диска, към който се закрепва детайла. Регистрирана е значителна разлика между стойностите на инерционния момент, определени със стенда и с CAD софтуер. Разликата се дължи главно на приблизителните методи, които се използват от CAD софтуера при определяне на инерционния момент и непълното съответствие между проектирания и изработения детайл.

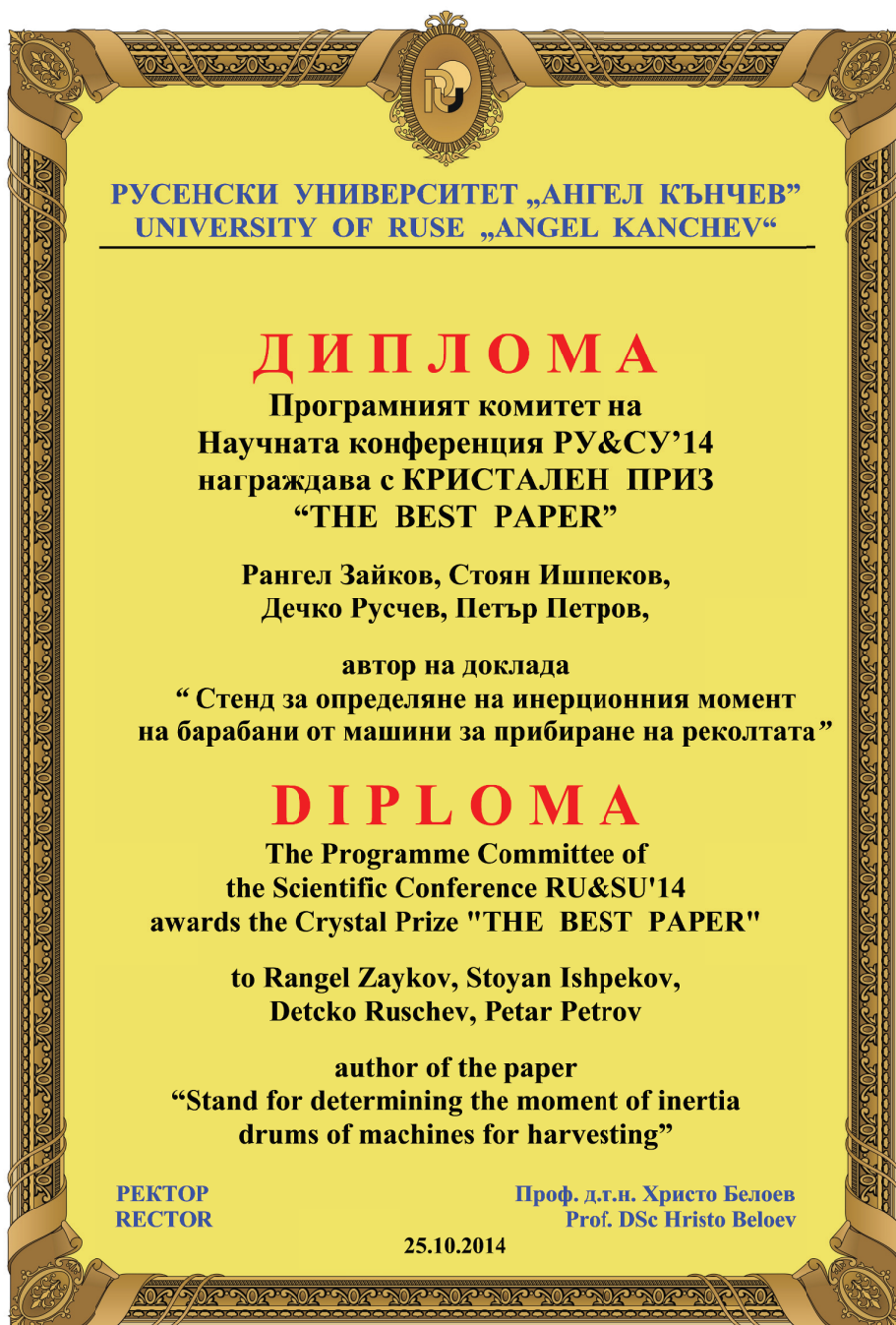
ЛИТЕРАТУРА

- [1] Василев Симеон. Техническа механика, Издателство Автоспектър, Пловдив, 2003.
- [2] Гернет М., М., Ратобильский В. Ф. Определение моментов инерции. Издателство Машиностроение, Москва, 1969 г.
- [3] Нейков Св., Д. Кацов, П., Йорданов, Ст. Пенчев, Автомобилна техника I част – ръководство за лабораторни упражнения, Пловдив, 2006, ISBN – 10:954-8779-81-1, ISBN – 13:978-954-8779-81-1.

За контакти:

Доц. д-р Стоян Ишпеков и ас. Рангел Зайков, кат. "Механизация на земеделието", Аграрен университет - Пловдив, тел.: 032-654 434, e-mail: sishpekov@abv.bg.

Докладът е рецензиран.



РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ“
UNIVERSITY OF RUSE „ANGEL KANCHEV“

ДИПЛОМА

Програмният комитет на
Научната конференция RU&SU'14
награждава с КРИСТАЛЕН ПРИЗ
“THE BEST PAPER”

Рангел Зайков, Стоян Ишпеков,
Дечко Русчев, Петър Петров,

автор на доклада

“Стенд за определяне на инерционния момент
на барабани от машини за прибиране на реколтата”

DIPLOMA

The Programme Committee of
the Scientific Conference RU&SU'14
awards the Crystal Prize "THE BEST PAPER"

to Rangel Zaykov, Stoyan Ishpekov,
Detcko Ruschev, Petar Petrov

author of the paper

“Stand for determining the moment of inertia
drums of machines for harvesting”

РЕКТОР
RECTOR

Проф. д.г.н. Христо Белоев
Prof. DSc Hristo Beloev

25.10.2014