

ISSN 1311-3321 (print)  
ISSN 2535-1028 (CD-ROM)  
ISSN 2603-4123 (on-line)

**UNIVERSITY OF RUSE “Angel Kanchev”**  
**РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ “Ангел Кънчев”**

**BSc, MSc and PhD Students & Young Scientists**  
**Студенти, докторанти и млади учени**

**PROCEEDINGS**

**Volume 61, book 2.2.**

**Mechanical Engineering and Machine-Building  
Technologies**

**НАУЧНИ ТРУДОВЕ**

**Том 61, серия 2.2.**

**Механика и машиностроителни технологии**

**Ruse**  
**Русе**  
**2022**

Volume 61 of PROCEEDINGS includes the papers presented at the scientific conference RU & SU'22, organized and conducted by University of Ruse "Angel Kanchev" and the Union of Scientists - Ruse. Series 2.2. contains papers reported in the Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies.

| Book                                                                | Code                    | Faculty and Section                                                               |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Agrarian and Industrial Faculty</b>                              |                         |                                                                                   |
| <b>1.1.</b>                                                         | FRI-ONLINE-1-AMT&ASVM   | Agricultural Machinery and Technologies, Agrarian Science and Veterinary Medicine |
|                                                                     | FRI-ONLINE-1-MR         | Maintenance and Reliability                                                       |
|                                                                     | FRI-ONLINE-1-THPE       | Thermal, Hydro- and Pneumatic Equipment                                           |
|                                                                     | FRI-ONLINE-1-EC         | Ecology and Conservation                                                          |
|                                                                     | FRI-ONLINE-1-ID         | Industrial Design                                                                 |
| <b>1.2.</b>                                                         | WED-ONLINE-SSS-AMT&ASVM | Agricultural Machinery and Technologies, Agrarian Science and Veterinary Medicine |
|                                                                     | WED-ONLINE-SSS- MR      | Maintenance and Reliability                                                       |
|                                                                     | WED-ONLINE-SSS-THPE     | Thermal, Hydro- and Pneumatic Equipment                                           |
|                                                                     | WED-ONLINE-SSS-EC       | Ecology and Conservation                                                          |
|                                                                     | WED-ONLINE-SSS-ID       | Industrial Design                                                                 |
| <b>Faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering</b>          |                         |                                                                                   |
| <b>2.1.</b>                                                         | FRI-ONLINE-1-MEMBT      | Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies                          |
| <b>2.2.</b>                                                         | TUE-1.417-SSS-MEMBT     | Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies                          |
| <b>Faculty of Electrical Engineering Electronics and Automation</b> |                         |                                                                                   |
| <b>3.1.</b>                                                         | FRI-ONLINE-1-EEEE       | Electrical Engineering, Electronics and Automation                                |
| <b>3.2.</b>                                                         | FRI-ONLINE-1-CCT        | Communication and Computer Technologies                                           |
| <b>3.3.</b>                                                         | THU-ONLINE-SSS-EEEE     | Electrical Engineering, Electronics and Automation                                |
|                                                                     | THU-ONLINE-SSS-CCT      | Communication and Computer Technologies                                           |
| <b>Faculty of Transport</b>                                         |                         |                                                                                   |
| <b>4.1.</b>                                                         | FRI-2.209-1-TMS         | Transport and Machine Science                                                     |
| <b>4.2.</b>                                                         | FRI-2.204-SITSTL        | Sustainable and Intelligent Transport Systems, Technologies and Logistics         |
| <b>4.3.</b>                                                         | WED-ONLINE-SSS-TMS      | Transport and Machine Science                                                     |
| <b>Faculty of Business and Management</b>                           |                         |                                                                                   |
| <b>5.1.</b>                                                         | FRI-ONLINE-1-EM         | Economics and Management                                                          |
| <b>5.2.</b>                                                         | FRI-ONLINE-1-LIPC       | Linguoculturology, Intercultural and Political Communication                      |
| <b>5.3.</b>                                                         | THU-ONLINE-SSS-EM       | Economics and Management                                                          |
| <b>5.4.</b>                                                         | FRI-ONLINE-1-ESIS       | European Studies and International Security                                       |
| <b>8.2.</b>                                                         | FRI-ONLINE-1-SW         | Social Work                                                                       |
| <b>Faculty of Natural Sciences and Education</b>                    |                         |                                                                                   |
| <b>6.1.</b>                                                         | FRI-ONLINE-1-MIP        | Mathematics, Informatics and Physics                                              |
| <b>6.2.</b>                                                         | FRI-ONLINE-1-PP         | Pedagogy and Psychology                                                           |
| <b>6.3.</b>                                                         | FRI-ONLINE-1-LL         | Linguistics and Literature                                                        |
|                                                                     | FRI-ONLINE-1-AS         | Art Studies                                                                       |
| <b>6.4.</b>                                                         | FRI-ONLINE-1-ERI        | Education - Research and Innovations                                              |

|                                                  |                        |                                                           |
|--------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 6.5.                                             | THU-ONLINE-SSS-FM      | Financial Mathematics                                     |
|                                                  | THU-ONLINE-SSS-PP      | Pedagogy and Psychology                                   |
| <b>Faculty of Law</b>                            |                        |                                                           |
| 7.1.                                             | FRI-ONLINE-1-LS        | Law Studies                                               |
| 7.2.                                             | FRI-ONLINE-1-NS        | National Security                                         |
| 7.3.                                             | MON-ONLINE-SSS-L       | Law Studies                                               |
| <b>Faculty of Public Health and Health Care</b>  |                        |                                                           |
| 8.1.                                             | FRI-ONLINE-1-HP        | Health Promotion                                          |
| 8.3.                                             | FRI-ONLINE-1-HC        | Health Care                                               |
| 8.4.                                             | FRI-ONLINE-1-MCDA      | Medical and Clinical Diagnostic Activities                |
| 8.5.                                             | THU-ONLINE-SSS-HP      | Health Promotion                                          |
|                                                  | FRI-ONLINE-SSS-HC      | Health Care                                               |
|                                                  | THU-ONLINE-SSS-MCDA    | Medical and Clinical Diagnostic Activities                |
| <b>Quality of Education Directorate</b>          |                        |                                                           |
| 9.1.                                             | FRI-ONLINE-QHE         | Quality of Higher Education                               |
| <b>Razgrad Branch of the University of Ruse</b>  |                        |                                                           |
| 10.1.                                            | FRI-LCR-1-CT(R)        | Chemical Technologies                                     |
| 10.2.                                            | FRI-LCR-1-BFT(R)       | Biotechnologies and Food Technologies                     |
| 10.3.                                            | TUE-ONLINE-SSS-BFT(R)  | Biotechnologies and Food Technologies                     |
|                                                  | TUE-ONLINE-SSS-CT(R)   | Chemical Technologies                                     |
| <b>Silistra Branch of the University of Ruse</b> |                        |                                                           |
| 11.1.                                            | FRI-ONLINE-DPM(S)      | Didactics, Pedagogy and Methodology of training in...     |
|                                                  | FRI-ONLINE-LTLHF(S)    | Linguistics; Theory of Literature and History; Philosophy |
|                                                  | FRI-ONLINE-ELENSTS(S)  | E-Learning; Electrical; Technical Sciences                |
| 11.2.                                            | FRI-ONLINE-SSH(S)      | Humanities                                                |
|                                                  | FRI-ONLINE-SSS-PPTM(S) | Pedagogy, Psychology, and Teaching Methodology            |
|                                                  | FRI-ONLINE-SSS-TS(S)   | Technical Sciences                                        |

The papers have been reviewed.

**ISSN 1311-3321 (print)**

**ISSN 2535-1028 (CD-ROM)**

**ISSN 2603-4123 (on-line)** Copyright © authors

The issue was included in the international ISSN database, available at <https://portal.issn.org/>.

The online edition is registered in the portal ROAD scientific resources online open access



## PROGRAMME COMMITTEE

- **Prof. Amar Ramdane-Cherif**  
University of Versailles, France
- **Assoc. Prof. Manolo Dulva HINA**  
ECE Paris School of Engineering, France
- **Prof. Leon Rothkrantz**  
Delft University of Technology, Netherlands
- **Assoc. Prof. Antonio Jose Mendes**  
University of Coimbra, Portugal
- **Prof. Ville Leppanen**  
University of Turku, Finland
- **Assoc. Prof. Marco Porta**  
University of Pavia, Italy
- **Prof. Douglas Harms**  
DePauw University, USA
- **Prof. Zhanat Nurbekova**  
L.N.Gumilyov Eurasian National University, Nur Sultan, Kazakhstan
- **Prof. Mirlan Chynybaev**  
Kyrgyz State Technical University, Bishkek, Kyrgyzstan
- **Prof. Ismo Hakala, PhD**  
University of Jyväskylä, Finland
- **Prof. Artur Jutman, PhD**  
Tallinn University of Technology, Estonia
- **Prof. RNDr. Vladimir Tvarozek, PhD**  
Slovak University of Technology in Bratislava, Bratislava, Slovakia
- **Assoc. Prof. Ing. Zuzana Palkova, PhD**  
Slovak University of Agriculture in Nitra, Nitra, Slovakia
- **Andrzej Tutaj, PhD**  
AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland
- **Prof. Valentin NEDEFF Dr. eng. Dr.h.c.**  
"Vasile Alecsandri" University of Bacău, Romania
- **Cătălin POPA, PhD**  
"Mircea cel Bătrân" Naval Academy, Constantza, Romania
- **Prof. dr Larisa Jovanović**  
Alfa University, Belgrade, Serbia
- **Prof. dr hab. Edmund LORENCOWICZ**  
University of Life Sciences in Lublin, Poland
- **Assoc. Prof. Ion MIERLUS - MAZILU, PhD**  
Technical University of Civil Engineering, Bucharest, Romania
- **Prof. Dojčil Vojvodić PhD**  
Faculty of Philosophy, University of Novi Sad, Serbi
- **Assoc. Prof. Alexandrache Carmen, PhD**  
Department of Teacher Training, "Dunarea de Jos", Galati University, Romania
- **Prof. Alberto Cabada**  
University of Santiago de Compostela, Faculty of Mathematics, Santiago de Compostela, Spain
- **Kamen Rikev, PhD**  
Institute of Slavic Philology, Maria Curie-Skłodowska University in Lublin, Poland

- **Anna Klimentova, PhD**  
Constantine the Philosopher University of Nitra, Slovakia
- **Prof. Ricardo Gobato, PhD**  
Secretariat of State of Parana Education and Sport (SEED/PR), Laboratory of Biophysics and Molecular Modeling Genesis
- **Prof. Fatima Rahim Abdul Hussein, PhD**  
University of Misan, College of Basic Education, English Department, Iraq
- **Prof. Emilija Gjorgjeva, PhD**  
Goce Delchev University - Shtip, Nord Macedonia
- **Prof. Igor Kevorkovich Danilov, DSc**  
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia
- **Prof. Aleksander Valentinov Sladkowski, DSc**  
Silesian University of Technology, Poland
- **Prof. Vera Karadjova, PhD**  
“St. Kliment Ohridski” University – Bitola, Faculty of tourism and hospitality – Ohrid, Republic of North Macedonia
- **Prof. Aleksandar Trajkov, PhD**  
“St. Kliment Ohridski” University - Bitola, Faculty of tourism and hospitality – Ohrid, Republic of North Macedonia
- **Prof. Petar Pepur, PhD**  
University of Split, Croatia
- **Prof. Korhan Arun, PhD**  
Namik Kemal University, Tekirdağ, Turkey
- **Prof. Yuliya Yorgova, PhD**  
Burgas Free University, Bulgaria
- **Jelena Stankovic, PhD**  
University of Nis, Serbia
- **Jovica Stankovic, PhD**  
University of Nis, Serbia
- **Prof. Gerhard Fiolka, PhD**  
University of Fribourg, Switzerland
- **Prof. Haluk Kabaalioglu, PhD**  
Yeditepe University, Turkey
- **Prof. Silva Alves, PhD,**  
University of Lisbon, Portugal
- **Hanneke van Brugge, DHC mult**  
Appeldoorn, The Netherlands
- **Prof. Elena Torina**  
Tula State Pedagogical University "L. N. Tolstoy", Tula, Russia
- **Prof. Violeta Jotova**  
Direction Pediatrics at St. Marina University Hospital - Varna, Bulgaria, Chair ESPE Postgraduate Qualification Committee
- **Prof. Tanya Timeva, MD, PhD**  
Obstetrics and Gynecology Hospital "Dr. Shterev", Sofia, Bulgaria
- **Prof. Kiril Stoychev, PhD,**  
Institute of Metal Science, Equipment and Technologies “Acad. A. Balevsci” with Hydroaerodinamics centre – BAS, Bulgaria
- **Assoc. Prof. Mark Shamtsyan, PhD**  
Technical University, Saint Petersburg, Russia

- **Assoc. Prof. Oleksii Gubenia, PhD**  
National University of Food Technologie, Kiev, Ukraine
- **Prof. Olexandr Zaichuk, DSc**  
Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine
- **Prof. Eugene Stefanski, DSc**  
Samara University, Russia
- **Assoc. Prof. Tatiana Strokovskaya, PhD**  
International University of Nature “Dubna”, Dubna, Russia
- **Prof. DSc. Petar Sotirow**  
Maria Curie-Sklodowska University of Lublin, Poland
- **Prof. Papken Ehasar Hovsepian**  
Sheffield Hallam University, Sheffield, UK
- **Accos. Prof. Krassimir Dochev Dochev, PhD**  
University of Portsmouth School of Engineering, UK
- **Mariana Yordanova Docheva, PhD**  
University of Portsmouth School of Engineering, UK
- **Assoc. Prof. Ivan Antonov Lukanov, PhD**  
University of Botswana, Faculty of Engineering and Technology, Gaborone, Botswana
- **Assoc. Prof. Petko Vladov Petkov, PhD**  
Research Associate Cardiff University, UK
- **Prof. Stepan Terzian DSc**  
Bulgarian Academy of Science, Bulgaria
- **Prof. Gabriel Negreanu, PhD**  
University Politehnica of Bucharest, Romania

## ORGANISING COMMITTEE

### ◆ ORGANIZED BY: UNIVERSITY OF RUSE (UR) AND UNION OF SCIENTISTS (US) - RUSE

### ◆ ORGANISING COMMITTEE:

#### • Chairperson:

Prof. DTSc. Hristo Beloev, DHC mult., Academician of Bulgarian Academy of Sciences - Rector of UR, Chairperson of US - Ruse

#### • Scientific Secretary:

Prof. Diana Antonova PhD, Vice-Rector Research,  
dantonova@uni-ruse.bg, 082/888 249

#### • THEMATIC FIELDS:

- **Agricultural Machinery and Technologies, Agrarian Sciences and Veterinary Medicine**
- **Maintenance and Reliability**
- **Thermal, Hydro- and Pneumatic Equipment**
- **Ecology and Conservation**
- **Industrial Design**  
Assoc. Prof. Plamen Manev,  
pmanev@uni-ruse.bg, 082 888 485
- **Didactics, Pedagogy and Methodology of training in...; (16.10., Silistra)**  
Assoc. Prof. Diana Zhelezova-Mindizova, PhD,  
dmindizova@uni-ruse.bg
- **Linguistics; Theory of Literature and History; Philosophy; (16.10., Silistra)**  
Assoc. Prof. Todorka Georgieva, DcS,  
tgeorgieva@uni-ruse.bg
- **E-Learning; Technical Sciences; (16.10., Silistra)**  
Assoc. Prof. Evgenia Goranova, PhD,  
egoranova@uni-ruse.bg
- **Chemical Technologies (05-06.11., Razgrad)**
- **Biotechnologies and Food Technologies (05-06.11., Razgrad)**  
Assoc. Prof. Tsvetan Dimitrov, PhD,  
conf\_rz@abv.bg, 0887 631 645
- **Mechanical Engineering and Machine-building Technologies**  
Prof. Ivelin Ivanov, PhD  
ivivanov@uni-ruse.bg, +359 82 888 472
- **Electrical Engineering, Electronics and Automation**  
Assoc. Prof. Boris Evstatiev, PhD,  
bevstatiev@uni-ruse.bg, 082 888 371
- **Communication and Computer Systems**  
Assoc. Prof. Galina Ivanova, PhD, giivanova@uni-ruse.bg, 082 888 855  
Pr. Assist. Ivanka Tsvetkova, PhD, itsvetkova@uni-ruse.bg, 082 888 836
- **Transport and Machine Science**  
Assoc. Prof. Simeon Iliev, PhD,  
spi@uni-ruse.bg, 082 888 331
- **Sustainable and intelligent transport systems, technologies and logistics**  
Prof. Velizara Pencheva, PhD,  
vpencheva@uni-ruse.bg, 082 888 558, 082 888 608

▪ **Economics and Management**

Pr. Assist. Miroslava Boneva, PhD, mboneva@uni-ruse.bg, 082/888 776

Pr. Assist. Elizar Stanev, PhD, eastanev@uni-ruse.bg, 082/888 557

▪ **European studies and International Security**

Prof. Vladimir Chukov, DSc, vlachu1@gmail.com, +359 82 825 667

Assoc. Prof. Mimi Kornazheva, PhD, mkornazheva@uni-ruse.bg, +359 82 825 667

▪ **Linguoculturology, Intercultural and Political Communication**

Prof. Juliana Popova, PhD, jppopova@uni-ruse.bg, +359 82 888 255

Pr. Assist. Hristina Sokolova, PhD, hsokolova@uni-ruse.bg, +359878537015

▪ **Mathematics, Informatics and Physics**

Prof. Tsvetomir Vasilev, PhD,

tvaselev@uni-ruse.bg, 082/888 475

▪ **Education – Research and Innovations**

Assoc. Prof. Emilia Velikova, PhD,

evelikova@uni-ruse.bg, 0885 635 874

▪ **Pedagogy and Psychology**

Assoc. Prof. Bagryana Ilieva, PhD,

bilieva@uni-ruse.bg 082 888 219

▪ **History, Ethnology and Folklore**

Pr. Assist. Reneta Zlateva, PhD

rzlateva@uni-ruse.bg, 082/888 752

▪ **Linguistics, Literature and Art Science**

Assoc. Prof. Velislava Doneva, PhD,

doneva\_v@uni-ruse.bg, 0886 060 299

▪ **Health Promotion**

Assoc. Prof. Stefka Mindova, PhD,

smindova@uni-ruse.bg, 0882 895 149

▪ **Social Work**

Assoc. Prof. Silvia Krushkova, PhD, skrushkova@uni-ruse.bg, 0882517554

Pr. Assist. Ana Popova, PhD, apopova@uni-ruse.bg, 0889 874219

▪ **Medical and Clinical Diagnostic Activities**

Prof. Nikola Sabev, DSc,

nsabev@uni-ruse.bg, 0882 123 305

▪ **Health Care**

Pr. Assist. Tsveta Hristova, PhD,

tshristova@uni-ruse.bg, 0878 389 793

▪ **Law**

Assoc. Prof. Elitsa Kumanova, PhD,

ekumanova@uni-ruse.bg, 0884 980 050

▪ **National Security**

Assoc. Prof. Milen Ivanov, DSc,

poligon@abv.bg, 082 888 736

▪ **Quality of Higher Education**

Prof. Ivanichka Serbezova, PhD, iserbezova@uni-ruse.bg

Daniela Todorova, dtodorova@uni-ruse.bg, 082 888 378



- **REVIEWERS:**

Assoc. Prof. Milko Enchev, PhD

Assoc. Prof. Alexander Ivanov, PhD

Assoc. Prof. Danko Tonev, PhD

Pr. Assist. Ivo Draganov, PhD

Pr. Assist. Dimitar Velchev, PhD

Pr. Assist. Svetlana Koleva, PhD

Pr. Assist. Prof. Mariyana Ilieva, PhD

## MECHANICAL ENGINEERING AND MACHINE-BUILDING TECHNOLOGIES

### Content

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. TUE-1.417-SSS-MEMBT-01                                                                                 | 10 |
| <b>Development of a Technology and Fixtures for Machining of Parts for Grapple Buckets</b>                |    |
| <i>Rumen Konovski, Nikolay Stankov</i>                                                                    |    |
| 2. TUE-1.417-SSS-MEMBT-02                                                                                 | 24 |
| <b>About force induced deformations in turning</b>                                                        |    |
| <i>Kristiyan Velez, Svetlana Koleva</i>                                                                   |    |
| 3. TUE-1.417-SSS-MEMBT-03                                                                                 | 30 |
| <b>Process chain research on making polymer and metal prototypes by 3d printing and precision casting</b> |    |
| <i>Elena Zheleva, Emil Yankov, Roussi Minev</i>                                                           |    |
| 4. TUE-1.417-SSS-MEMBT-04                                                                                 | 37 |
| <b>Computer modeling of a vertical bungee jump</b>                                                        |    |
| <i>Marusya Paraknova, Velina Bozduganova</i>                                                              |    |

## DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGY AND FIXTURES FOR MACHINING OF PARTS FOR GRAPPLE BUCKETS<sup>1</sup>

**Rumen Konovski – Student**

Department of Machine Tools & Manufacturing,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Tel.: +359 898 440988  
E-mail: konovsk1@gmail.com

**Assist. Prof. Eng. Nikolay Stankov, PhD**

Department of Machine Tools & Manufacturing,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Phone: +359 886 707366  
E-mail: nstankov@uni-ruse.bg

**Abstract:** The paper presents the developing of a technology and the designing of fixtures for machining of parts for grapple buckets. The presented clamshell grapple buckets are designed for bulk materials and they are part of the grapple construction. Grapples are installed on cranes, excavators and other specialized machines. The whole process related to the production of the parts is considered - from the 3D model to the real product. A technology and a fixtures for machining the parts have been developed. A control cards to control the dimensions of the production of the parts was made. Programs for machining on a specific CNC machine have been developed. The 3D models are designed using the CAD system SolidWorks. Complete design documentation is created for each of the fixtures and the process is automated by using SolidWorks template files.

**Keywords:** Grapple Buckets, Grapples, Cranes, Excavators, Development, Design, Control, 3D Models, CAD System, SolidWorks Template Files, Design Documentation

### ВЪВЕДЕНИЕ

В доклада е разгледан процеса на изработване на един от основните компоненти на грайферните кофи, това са т.н. детайли ножове. Грайферите се монтират на кранове, автокранове, гондоли за скрап, лекотоварни автомобили, багери и други специализирани машини. Те се използват за товарно-разтоварни дейности на различни материали. Грайферите представляват конструкция, състояща се от няколко компонента – кофи (лява и дясна), централно тяло (тяло към което се установяват кофите), ротатор и носач (тяло, което служи за установяване на грайфера към машината). Чрез кофите, грайфера загребва съответния материал. Те са с най-различни конструкции и форми. Това позволява по-голям обхват на действие и разширява възможностите на грайфера. Ротатора, осигурява завъртането на кофите по време на работа на 360°. Конструкциите на ротаторите са различни и зависят от вида грайфер или от специализираното оборудване (кофи, трошачи, ножици, хидравлични чукове и други), към което е установен.



Фиг. 1. Грайфер за товарно-разтоварни дейности с голям обем на кофите, модел KM622, фирма KINSHOFER.

<sup>1</sup> Докладът е представен на студентската научна сесия на 07.06.2022 г. в секция Механика и машиностроителни технологии с оригинално заглавие на български език: РАЗРАБОТВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ЗА МЕХАНИЧНО ОБРАБОТВАНЕ НА НОЖОВЕ ЗА ПЛЪТНИ КОФИ.

На фиг. 1 е показан грайфер модел KM622 на фирма KINSHOFER с черупкови грайферни кофи [18]. В доклада се разглежда изработването на детайли ножове на тези кофи. Приложението на грайфера е основно за насипни материали.

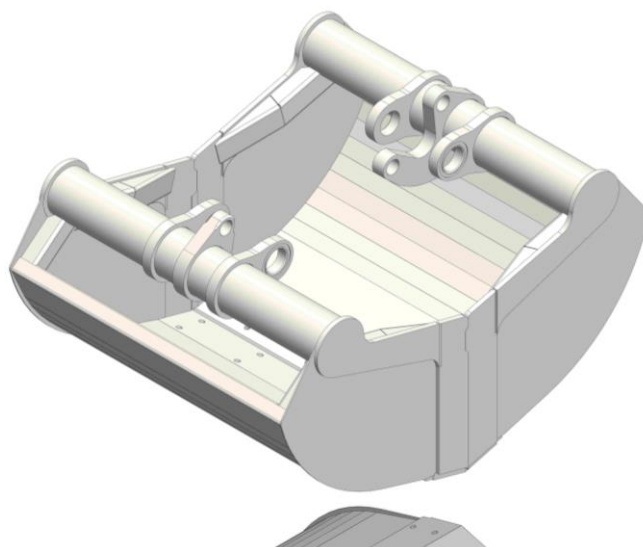
Основен проблем при изработване на подобен тип изделия е сложната форма и конструкцията, която имат. Необходимо е постигането на точното разположение на детайлите, за да се получат зададените в конструкторската документация форма и размери на кофите.

Съгласно изискванията в чертежите се прави механична обработка на функционалните повърхнини на някои от детайлите, за да може изделието да изпълнява предназначение си. За изработване на детайли ножове ще се използват специализирани приспособления или т.н. нестандартна технологична екипировка.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

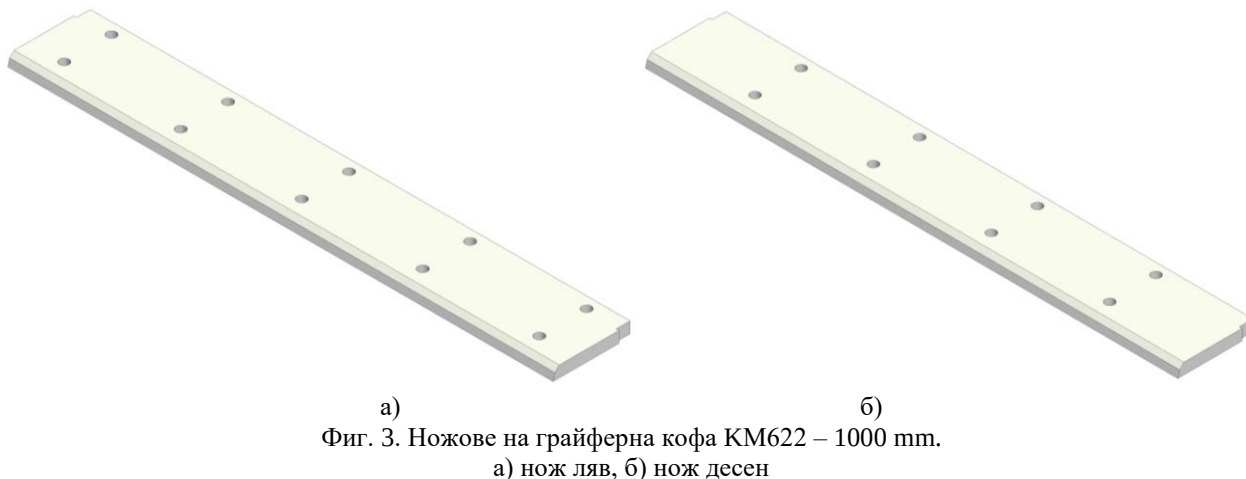
### 1. Общи сведения за грайферните кофи.

На фиг. 2 е показан общият вид на грайферна кофа от модел KM622. Изделието е част от производствена програма на фирма „СЛ Индъстрис“ ЕООД, град Русе [17].



Грайферни кофи KM622 са три различни модела, които се различават само по ширината си – 640 mm, 800 mm и 1000 mm. За всеки един модел трябва да се изработи комплект от ляв и десен нож. Тоест ножовете, които трябва да се изработят за трите модела кофи са общо шест различни вида. Всеки нож е с определена дължина и определен брой отвори. На всеки един нож се изработват фаски с два различни ъгъла – 15° и 45°.

На фиг. 3 са показани детайли ножове на грайферна кофа KM622 – 1000 mm.



а) б)  
Фиг. 3. Ножове на грайферна кофа KM622 – 1000 mm.  
а) нож ляв, б) нож десен

Съгласно разработената технология за механично обработване на детайли ножове, със специализирани приспособления се изработват фаските, които са с два различни ъгъла 15° и

45°. След изработване на ножовете с друго специализирано приспособление се сглобяват с всички останали детайли на грайферната кофа. Сглобяват се в изделие, както е показано на фиг. 2.

За изработване на фаските на всички шест вида ножове ще се използват две приспособления. **Приспособление за механично обработване на фаска с ъгъл 15° и приспособление за механично обработване на фаска с ъгъл 45°.** По-малкия брой приспособления значително ще намали времето за разработване и конструиране на необходимата технологична екипировка, както и разходите свързани с производството ѝ.

Механичното обработване на детайли ножове ще се извърши на две установки:

- първа установка – обработване на фаска с ъгъл 15°;
- втора установка – обработване на фаска с ъгъл 45°.

За всяка една установка ще се използва специализирано приспособление за установяване на ножовете върху машината.

## 2. Технологична подготовка на изделието.

Съгласно документацията на изделието, предоставена от фирма KINSHOFER, се налага предварително да се подготвят технологично детайлите му, за да бъдат изработени в условията на фирмата.

**Етапите от технологичната подготовка на изделието са следните:**

- създаване на тримерни модели на детайлите и на изделието;
- разработване на технологията за изработване на детайлите и на изделието;
- създаване на нови чертежи на детайлите и на изделието;
- подготовка на файловете за разкрой на детайлите от листов материал;
- създаване на възли в изделието;
- разработване на технология за сглобяване на изделието;
- разработване на технологична екипировка за сглобяване;
- разработване на технология за заваряване на изделието;
- разработване на технология за механично обработване на изделието;
- разработване на технологична екипировка за механично обработване;
- избор на машина за извършване на механичното обработване;
- разработване на методика за контрол на изделието;
- разработване на ремонтна технология на изделието.

Създаването на тримерни модели е важна стъпка от процеса на разработване на дадено изделие. Тримерните модели могат да се използват за създаване на нова конструкторска документация за нуждите на фирмата. В тримерните модели се задава необходимата информация чрез атрибути, която може да се използва за управление на документацията при налична PDM система, както и от другите отдели във фирмата при налична ERP система [4, 5, 12, 13].

На база моделите се определя и технологията за изработване на детайлите – добавяне на отвори, прибавки за механично обработване, предварителна обработка на определени повърхнини. Това налага създаването на нова конструкторска документация, която да се използва в производството. След уточняване на всички особености, тримерните модели могат да се използват за създаване на файловете за разкрой на детайлите от листов материал.

За да се намали времето за изработване, много често се прилага метода на разделяне на изделието на възли, които предварително да се изработят, след което да се използва приспособление за сглобяването им в крайното изделие.

Последен етап е създаването на необходимата екипировка за сглобяване и за механична обработка на изделието. В случая за грайферните кофи са разработени тримерните модели на детайлите, направени са технологични промени свързани с производството им и са създадени нови възли от изделието.

Тримерните модели са разработени с CAD системата SolidWorks [1, 2, 3, 6, 7, 19]. Детайли ножове се изработват съгласно работните чертежи. Изрязват се от листов материал чрез лазерно рязане. Отворите могат също да се получат по време на разкроя или да бъдат

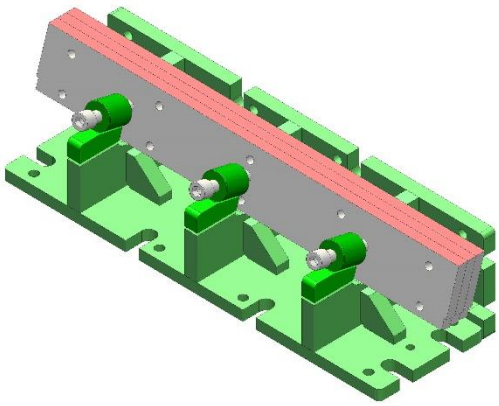
механично обработени на машина с ЦПУ. Следва механично обработване на двата вида фаски чрез използване на разработените приспособления на машина с ЦПУ.

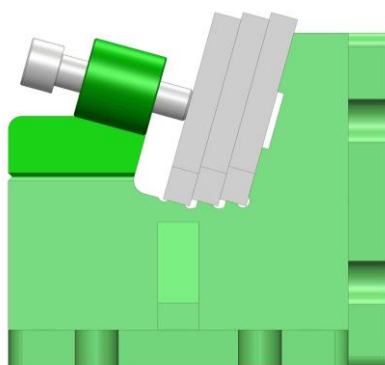
### 3. Технология за механично обработване на детайли ножове на първа установка.

Разработена е технология за механично обработване на ножовете на първа установка. Ще бъдат описани операциите и повърхнините, които се обработват, използваните металоурежещите инструменти и режимите на рязане [8]. Изделието се базира и закрепва в специализирано приспособление, предварително установено, центровано и закрепено на машината.

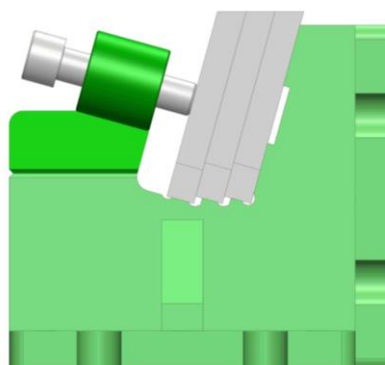
В табл. 1 е показана технологията за механично обработване на ножовете на първа установка. Установяването е по черни технологични бази – задно чело на детайла и долната повърхнина. Закрепването е чрез болтове по горната повърхнина на ножа.

Таблица 1. Технологията за механично обработване на детайли ножове на първа установка.

| Операция, режещ инструмент, режим на рязане                                                                                                                                                                                                                                                                              | Ножове грайферни кофи                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><u>Операция:</u><br/>Фрезование на фаска с ъгъл <math>15^\circ</math> на челната повърхнина на детайли ножове. Изпълнява се на един преход.</p> <p><u>Режещ инструмент:</u><br/>Челна фреза <math>\varnothing 125\text{ mm}</math></p> <p><u>Режим на рязане:</u><br/>Обороти 280 об/мин,<br/>Подаване 200 mm/min</p> |  |



а)



б)

Фиг. 4. Механично обработване на фаска с ъгъл  $15^\circ$ .

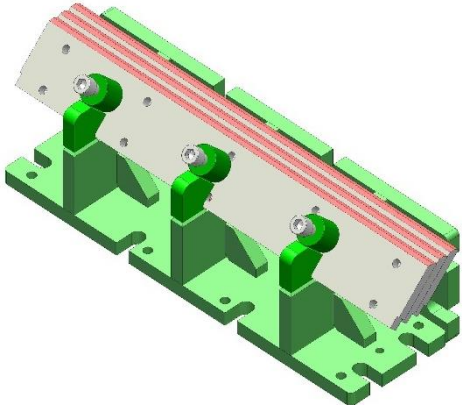
а) преди обработка, б) след обработка

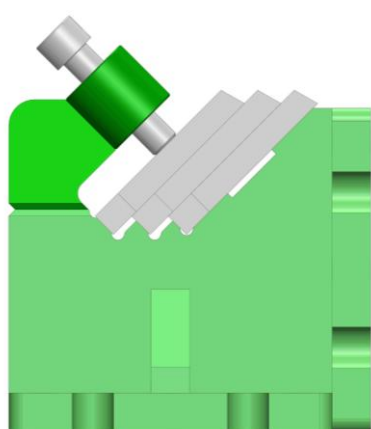
### 4. Технология за механично обработване на детайли ножове на втора установка.

Разработена е технология за механично обработване на ножовете на втора установка. Ще бъдат описани операциите и повърхнините, които се обработват, използваните металоурежещите инструменти и режимите на рязане [8]. Изделието се базира и закрепва в специализирано приспособление, предварително установено, центровано и закрепено на машината.

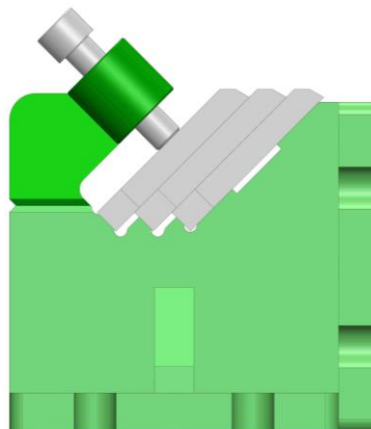
В табл. 2 е показана технологията за механично обработване на ножовете на втора установка. Установяването е по черни технологични бази – задно чело на детайла и долната повърхнина. Закрепването е чрез болтове по горната повърхнина на ножа.

Таблица 2. Технологията за механично обработване на детайли ножове на втора установка.

| Операция, режещ инструмент, режим на рязане                                                                                                                                                                                                                                                                              | Ножове грайферни кофи                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><u>Операция:</u><br/>Фрезование на фаска с ъгъл <math>45^\circ</math> на челната повърхнина на детайли ножове. Изпълнява се на един преход.</p> <p><u>Режещ инструмент:</u><br/>Челна фреза <math>\varnothing 125\text{ mm}</math></p> <p><u>Режим на рязане:</u><br/>Обороти 280 об/мин,<br/>Подаване 200 mm/min</p> |  |



а)



б)

Фиг. 5. Механично обработване на фаска с ъгъл  $45^\circ$ .  
а) преди обработка, б) след обработка

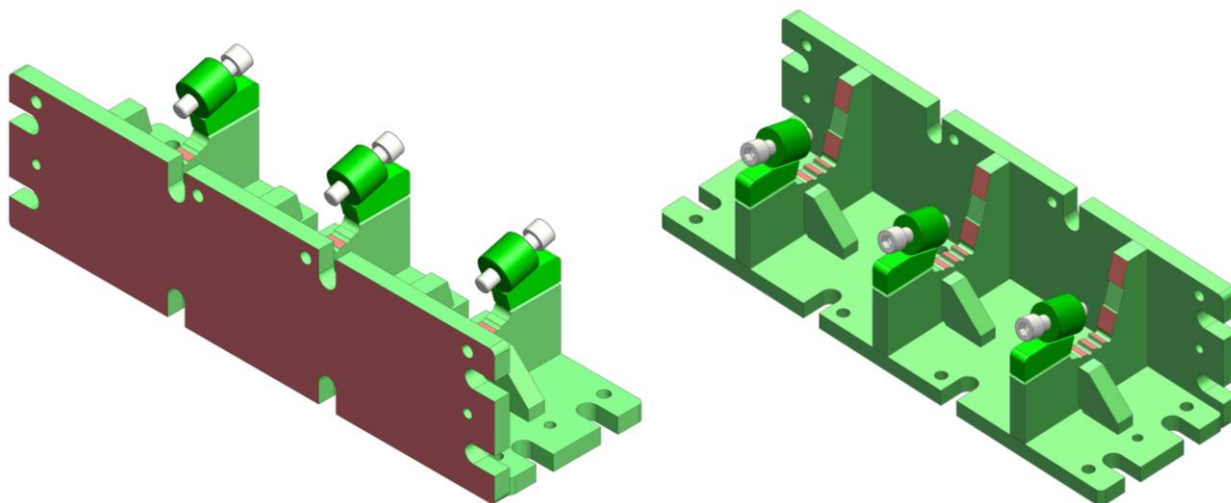
## 5. Контрол на детайли ножове след механичното обработване.

След приключване на механичното обработване на ножовете на двете установки се извършва цялостен контрол на обработените повърхнини съгласно документацията на изделието. Контрола се извършва от контрольор по качеството (ОТКК), като за целта се попълват разработените контролни карти на детайли ножове. Контролната карта е направена така, че размерите, които трябва да се изпълнят съгласно чертежа се контролират по време на производството на детайлите. При констатиране на отклонения на контролираните размери извън допуска, се извършват коригиращи действия, съгласно разработената ремонтна технология.

## 6. Разработване на приспособление за механично обработване на фаска с ъгъл $15^\circ$ - първа установка.

За реализиране на технологията за механично обработване на детайли ножове на първа установка, е разработено приспособление за установяването им на машината. Приспособлението е разработено чрез CAD системата SolidWorks и на фиг. 6 е показан общия му вид.

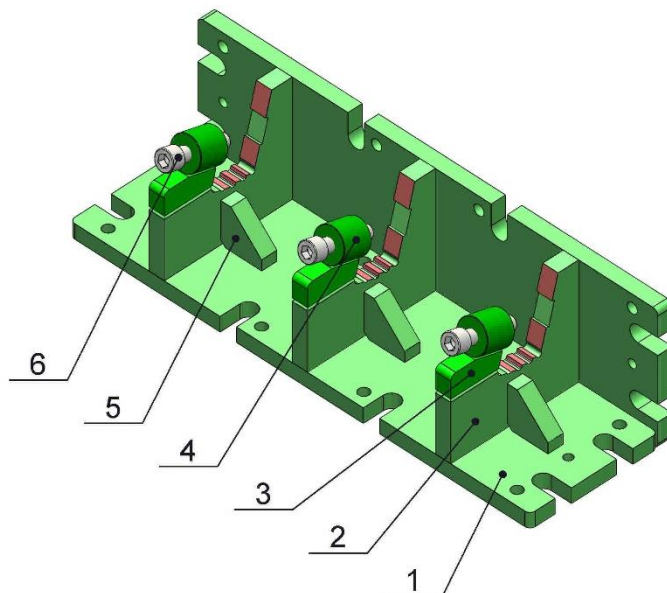




Фиг. 6. Общ вид на приспособлението за механично обработване на първа установка.

На приспособлението се извършва механично обработване на показаните с червен цвят повърхнини (фиг. 6). С механичното обработване се постига точност на размерите и на взаимното разположение на функционалните повърхнини на приспособлението. Фрезоват се външните повърхнини на хоризонталната и вертикалната основа. Пробиват се отворите Ø20 (за закрепване на приспособлението към масата на машината) и Ø16 (за центроване на приспособлението към масата на машината с центровъщи щифтове). Фрезоват се базащите площадки на детайли поз. 2 (фиг. 7), осигуряващи позиционирането на ножовете на съответния ъгъл.

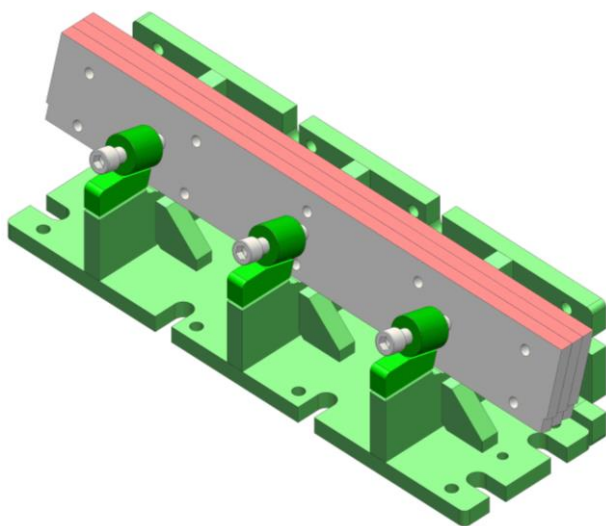
На фиг. 7 е показано приспособлението с всичките му съставни елементи. То осигурява **установяване** (базиране и закрепване) на ножовете под ъгъл от 15° [8, 9, 10, 11, 14, 15, 16].



Фиг. 7. Съставни елементи на приспособлението.

1 – Основа, 2 – Планка базираща, 3 – Планка фиксираща,  
4 – Втулка резбова, 5 – Ребро, 6 – Болт M24x100





Фиг. 8. Приспособлението с установени детайли ножове за грайферна кофа KM622 – 1000 mm.

Детайли позиция 3 и 4 се заваряват след механичното обработване на приспособлението.

Приспособлението осигурява висока **производителност**, тъй като могат да се обработват едновременно три ножа. Не е сложно за манипулация, с цел да се избегнат всякакви грешки от субективен характер.

Приспособлението заедно с установени детайли ножове за грайферна кофа KM622 – 1000 mm е показано на фиг. 8. На фиг. 9 е показано изработеното приспособление за механично обработване на ножове за грайферни кофи на първа установка.

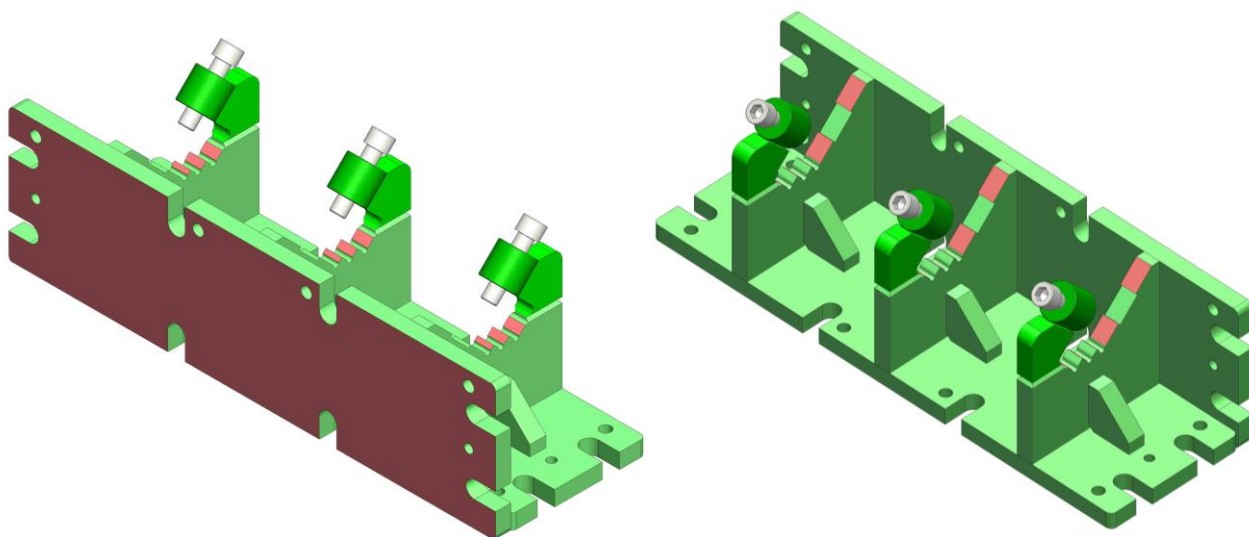


Фиг. 9. Приспособление за механично обработване на ножове за грайферни кофи на първа установка.

## 7. Разработване на приспособление за механично обработване на фаска с ъгъл 45° - втора установка.

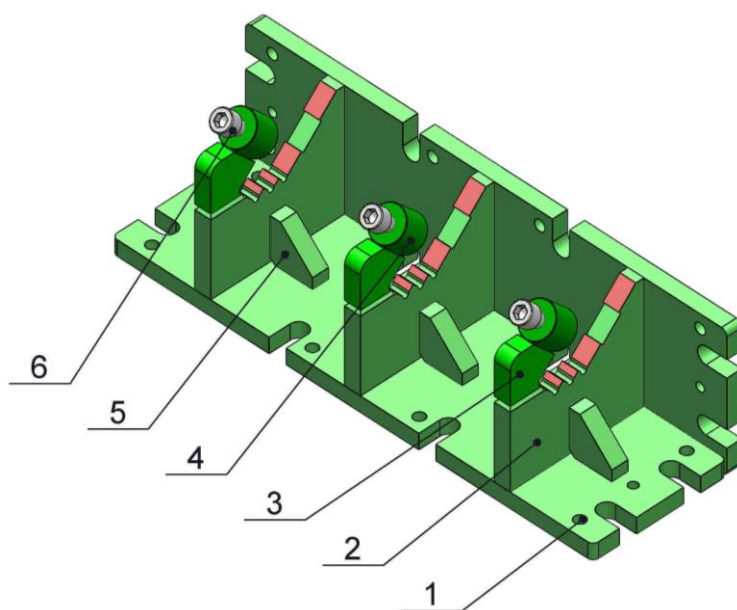
За реализиране на технологията за механично обработване на детайли ножове на втора установка, е разработено приспособление за установяването им на машината. Приспособлението е разработено чрез CAD системата SolidWorks и на фиг. 10 е показан общия му вид. На приспособлението се извършва механично обработване на показаните с червен цвят повърхнини (фиг. 10). С механичното обработване се постига точност на размерите и на взаимното разположение на функционалните повърхнини на приспособлението.

Фрезоват се външните повърхнини на хоризонталната и вертикалната основа. Пробиват се отворите Ø20 (за закрепване на приспособлението към масата на машината) и Ø16 (за центроване на приспособлението към масата на машината с центровъщи шифтове). Фрезоват се базиращите площадки на детайли поз. 2 (фиг. 11), осигуряващи позиционирането на ножовете на съответния ъгъл.



Фиг. 10. Общ вид на приспособлението за механично обработване на втора установка.

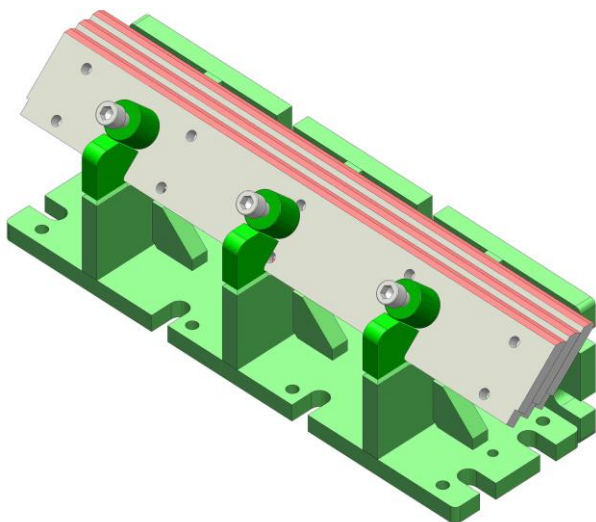
На фиг. 11 е показано приспособлението с всичките му съставни елементи. То осигурява **установяване** (базиране и закрепване) на ножовете под ъгъл от  $45^\circ$  [8, 9, 10, 11, 14, 15, 16].



Фиг. 11. Съставни елементи на приспособлението.

1 – Основа, 2 – Планка базираща, 3 – Планка фиксираща,  
4 – Втулка резбова, 5 – Ребро, 6 – Болт M24x100

Детайли позиция 3 и 4 се заваряват след механичното обработване на приспособлението. Приспособлението осигурява висока **производителност**, тъй като могат да се обработват едновременно три ножа. Не е сложно за манипулация, с цел да се избегнат всякакви грешки от субективен характер. Приспособлението, заедно с установени детайли ножове за грайферна кофа KM622 – 1000 mm е показано на фиг. 12. На фиг. 13 е показано изработеното приспособление за механично обработване на ножове за грайферни кофи на втора установка.



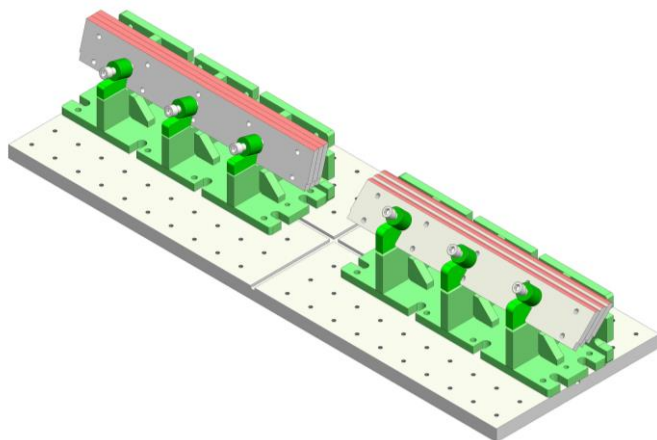
Фиг. 12. Приспособлението с установени детайли ножове за грайферна кофа КМ622 – 1000 mm.



Фиг. 13. Приспособление за механично обработване на ножове за грайферни кофи на втора установка.

### 8. Разработване на управляващи програми.

За механичното обработване на детайли ножове за всяка една установка са разработени управляващи програми. Използван е програмен език SIEMENS SINUMERIK. Обработката ще се извърши на машина с ЦПУ – HELLER PFU 3, показан на фиг. 14.



Фиг. 15. Установяване на приспособления на работната маса на машината с ЦПУ.

Програмите са разработени чрез използване на специализиран софтуер *CIMCO Edit V6* [20]. Програмите съдържат координатите на характерни точки от изделието, металорежещите инструменти, движенията им и режимите на рязане.

Създаването на управляващи програми чрез използване на софтуер води до избягване на грешките, допуснати в програмирането, които биха довели до разрушаване на инструментите или повреждане на обработваното изделие. Значително се намалява нужното време за създаване на програмите. Софтуера решава и обратната задача – от готова управляваща програма, се извеждат координатите на характерни точки от траекторията на движенията, които извършват инструментите, т.е. може да се симулира реалния процес на механично обработване.

На фиг. 15 е показано установяването на приспособленията на работната маса на машината с ЦПУ.

### 9. Особенности при моделирането на тримерните модели в CAD системата SolidWorks.

Всички тримерни модели на детайлите на грайферните кофи и на приспособленията са създадени чрез командите и функциите за твърдоделно проектиране на модула Features.



Някои от примерните модели на детайлите на грайферните кофи са разработени с модула за листов материал Sheet Metal, по този начин се получава разгъвката им, необходима за разкроя на детайлите от листов материал. Всички стандартизирани детайли, като болтове, шайби, гайки и други, са създадени чрез библиотеката Toolbox на SolidWorks.

При създаването на примерните модели на детайлите и на сглобените единици са използвани шаблонни файлове за Part и Assembly документите. За всеки един примерен модел на детайл или сглобена единица, от меню File Properties, в прозореца Summary Information, в секцията Custom се избират необходимите атрибути. При разработването на конструктивната документация са използвани шаблонни файлове за Drawing документите, които представляват стандартните чертожни формати – A4, A3, A2, A1 и A0 [4, 5, 6, 7, 12, 13].

В шаблона на всеки един примерен модел на детайл или сглобена единица се задава необходимата информация чрез атрибути – потребителски и служебни. Тази информация е нужна при разработването на конструктивната документация, тъй като излиза автоматично в таблиците на чертежите. Информацията от атрибутите може да се използва за управление на документацията при налична PDM система, както и от другите отдели във фирмата при налична ERP система [4, 5, 12, 13].

При създаването на примерните модели на детайлите са използвани шаблонни файлове за Part документите, които съдържат следните атрибути – Description (Наименование), PartNo (Означение), AssemblyNo (Сглобена единица), Weight (Тегло), Material (Означение на материала), Assortment (Вид на материала), Type (Операции за изработване), DrawnBy (Разработил документа), CheckedBy (Проверил документа), ApprovedBy (Одобрил документа) и Revision (Ревизия на документа).

Попълнения шаблон за детайл „Основа“ е показан на фиг. 16.

The screenshot shows the 'Summary Information' dialog box with the 'Custom' tab selected. It contains a table of properties for a part named 'Основа'. The table has five columns: Property Name, Type, Value / Text Expression, and Evaluated Value. The properties listed are Description, PartNo, AssemblyNo, Weight, Material, Assortment, TYPE, DrawnBy, CheckedBy, ApprovedBy, Revision, and a placeholder for a new property.

|    | Property Name         | Type | Value / Text Expression                           | Evaluated Value                 |
|----|-----------------------|------|---------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1  | Description           | Text | Основа                                            | Основа                          |
| 2  | PartNo                | Text | PMO Nojove IV - 00 00 01                          | PMO Nojove IV - 00 00 01        |
| 3  | AssemblyNo            | Text | PMO Nojove IV - 00 00 00, PMO Nojove V - 00 00 00 | PMO Nojove IV - 00 00 00, PMO N |
| 4  | Weight                | Text | "SW-Mass@PMO Nojove IV - 00 00 01.SLDPR"          | 48.859                          |
| 5  | Material              | Text | "SW-Material@PMO Nojove IV - 00 00 01.SLDPR"      | 1.0545 (S355N)                  |
| 6  | Assortment            | Text | Ламарина 30x250x900                               | Ламарина 30x250x900             |
| 7  | TYPE                  | Text |                                                   |                                 |
| 8  | DrawnBy               | Text | Р.Коновски                                        | Р.Коновски                      |
| 9  | CheckedBy             | Text | -                                                 | -                               |
| 10 | ApprovedBy            | Text | Н.Станков                                         | Н.Станков                       |
| 11 | Revision              | Text | A                                                 | A                               |
| 12 | <Type a new property> |      |                                                   |                                 |

Фиг. 16. Потребителски атрибути, които се задават в примерния модел на детайл „Основа“.

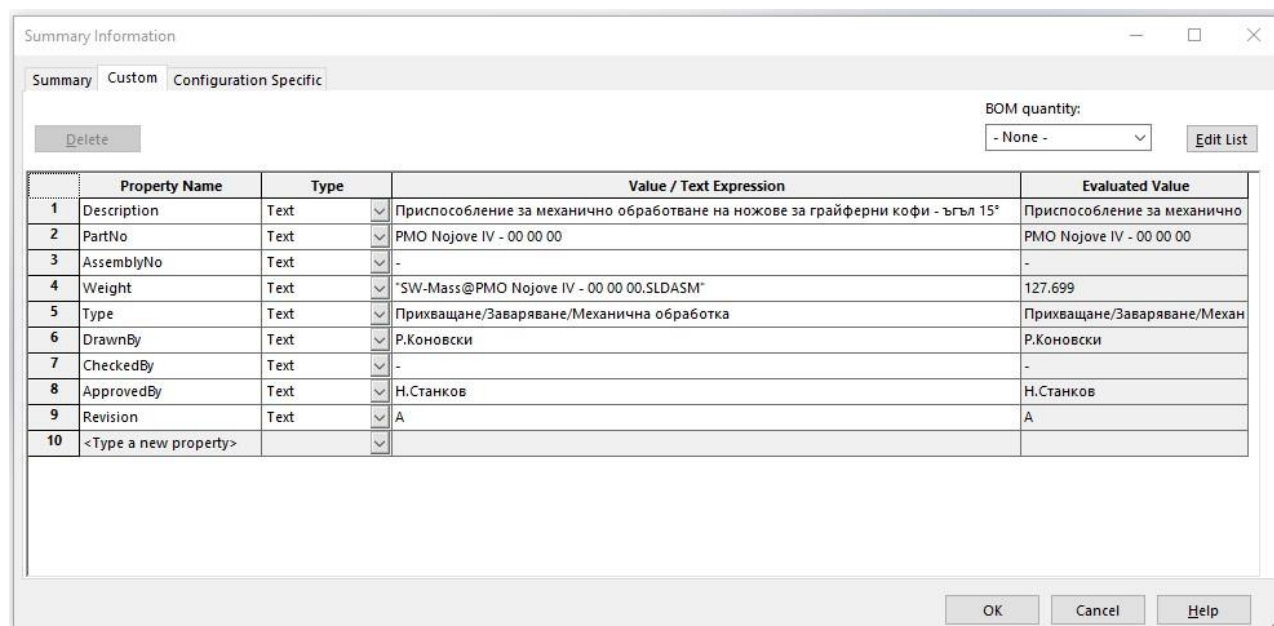
Задава се вида и марката на материалите на детайлите, като по този начин се получава информация за специфичното тегло за всеки един от тях и като цяло за самата сглобена единица. Информацията от потребителските атрибути е необходима при разработването на конструктивната документация, тъй като излиза автоматично в таблиците на чертежите (фиг. 17).

|                                                                                                                               |             |              |                                                                              |                     |                                                                                   |                               |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------|
|  <b>SL Industries LTD</b><br>Rouse, Bulgaria |             |              | Мащаб<br>1:5                                                                 | Тегло, кг<br>48.859 |  | Наименование<br><b>Основа</b> |                  |
| Разработил                                                                                                                    | Р. Коновски | 14.5.2022 г. | Означение на материала<br><br>1.0545 (S355N)                                 |                     | Вид на материала<br><br>Ламарина 30x250x900                                       |                               | Лист<br><br>1/1  |
| Проверил                                                                                                                      | -           | 14.5.2022 г. |                                                                              |                     |                                                                                   |                               |                  |
| Одобрил                                                                                                                       | Н.Станков   | 14.5.2022 г. |                                                                              |                     |                                                                                   |                               |                  |
| Допуските на размерите, съгласно:<br>EN 22768-1 m                                                                             |             |              | Сглобена единица<br><br>PMO Nojove IV - 00 00 00,<br>PMO Nojove V - 00 00 00 |                     | Означение<br><br><b>PMO Nojove IV - 00 00 01</b>                                  |                               | Ревизия<br><br>А |

Фиг. 17. Таблица на чертежа, автоматично попълнена на база информацията, която се съдържа в потребителските атрибути на тримерния модел на детайл „Основа“.

При създаването на тримерните модели на сглобени единици са използвани шаблонни файлове за Assembly документите, които съдържат следните потребителски атрибути – Description (Наименование), PartNo (Означение), AssemblyNo (Сглобена единица), Weight (Тегло), Type (Операции за изработване), DrawnBy (Разработил документа), CheckedBy (Проверил документа), ApprovedBy (Одобрил документа) и Revision (Ревизия на документа).

Попълнения шаблон на сглобена единица „Приспособление за механично обработване на ножове за грайферни кофи - ъгъл 15°“ е показан на фиг. 18.



|    | Property Name         | Type | Value / Text Expression                                                        | Evaluated Value             |
|----|-----------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1  | Description           | Text | Приспособление за механично обработване на ножове за грайферни кофи - ъгъл 15° | Приспособление за механично |
| 2  | PartNo                | Text | PMO Nojove IV - 00 00 00                                                       | PMO Nojove IV - 00 00 00    |
| 3  | AssemblyNo            | Text | -                                                                              | -                           |
| 4  | Weight                | Text | "SW-Mass@PMO Nojove IV - 00 00 00.SLDASM"                                      | 127.699                     |
| 5  | Type                  | Text | Прихващане/Заваряване/Механична обработка                                      | Прихващане/Заваряване/Механ |
| 6  | DrawnBy               | Text | Р.Коновски                                                                     | Р.Коновски                  |
| 7  | CheckedBy             | Text | -                                                                              | -                           |
| 8  | ApprovedBy            | Text | Н.Станков                                                                      | Н.Станков                   |
| 9  | Revision              | Text | А                                                                              | А                           |
| 10 | <Type a new property> |      |                                                                                |                             |

Фиг. 18. Потребителски атрибути, които се задават в тримерния модел на сглобената единица на „Приспособление за механично обработване на ножове за грайферни кофи - ъгъл 15°“

На фиг. 19 е показана таблицата на чертежа на приспособлението.

|                                                                                                                               |             |              |                        |                      |                                                                                   |                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>SL Industries LTD</b><br>Rouse, Bulgaria |             |              | Мащаб<br>1:5           | Тегло, кг<br>127.699 |  | Наименование<br>Приспособление за механично обработване на ножове за грайферни кофи - ъгъл 15° |
| Разработил                                                                                                                    | Р. Коновски | 20.4.2022 г. | Означение на материала |                      | Вид на материала                                                                  | Лист<br>1/1                                                                                    |
| Проверил                                                                                                                      | -           | 2.7.2022 г.  |                        |                      |                                                                                   |                                                                                                |
| Одобрил                                                                                                                       | Н. Станков  | 2.7.2022 г.  |                        |                      |                                                                                   |                                                                                                |
| Допуските на размерите, съгласно:<br>EN 22768-1 m                                                                             |             |              | Сглобена единица<br>-  |                      | Означение<br>PMO Nojove IV - 00 00 00                                             | Ревизия<br>А                                                                                   |

Фиг. 19. Таблица на чертежа, автоматично попълнена на база информацията, която се съдържа в потребителските атрибути на тримерния модел на сглобената единица „Приспособление за механично обработване на ножове за грайферни кофи - ъгъл 15°“.

#### 10. Награди, грамоти и сертификати спечелени с разработения проект.

Проекта – „Разработване на технология и приспособления за механично обработване на детайли за грайферни кофи“, е представен с доклад на Студентската научна сесия СНС'2022, на Машинно-технологичния факултет на РУ „Ангел Кънчев“, проведена на 07.06.2022 г.



Фиг. 20. Сертификат за участие в Студентска научна сесия СНС'2022.

С разработения проект – „Разработване на приспособления за механично обработване на детайли за грайферни кофи“, е спечелено **ТРЕТО МЯСТО** в конкурса за най-добър студентски проект, разработен с CAD – системи „Проектирай с CAD/CAM...и с мен!“, на Машинно-технологичния факултет на РУ „Ангел Кънчев“, проведен на 26.05.2022 г.



Фиг. 21. Сертификат от конкурса за най-добър студентски проект, разработен с CAD системи – „Проектирай с CAD... и с мен!“.

## ИЗВОДИ

В резултат на направеното може да се обобщи:

1. Разработена е технология за механично обработване на детайли ножове за грайферни кофи на две установки – фрезование на фаска с ъгъл  $15^\circ$  и с ъгъл  $45^\circ$ .
2. Разработени са приспособления за установяване на детайли ножове за грайферни кофи при механичното им обработване – приспособления за установяване на ъгъл  $15^\circ$  и ъгъл  $45^\circ$ .
3. Чрез използване на приспособленията се намалява времето за базиране, закрепване и центроване на детайли ножове върху машината.
4. Чрез разработените приспособления се постига висока производителност, поради възможността за едновременно обработване на три ножа.
5. На разработените приспособления могат да се установяват цялата гама от ножове, които се различават само по дължината си.
6. Разработени са управляващи програми за механичното обработване на ножовете.
7. Направена е пълна конструктивна документация на разработените приспособления.
8. Процеса на създаване на конструктивната документация е автоматизиран чрез използването на шаблонни файлове за Part, Assembly и Drawing документите.

## REFERENCES

1. Angelov, P. CAD systems. Ruse, University of Ruse, 2015.  
(*Оригинално заглавие:* Ангелов П. CAD системи. Русе, Печатна база на Русенски университет „А. Кънчев“, 2015.)
2. Angelov, P. CAD systems. Exercise guide. Ruse, University of Ruse, 2015.  
(*Оригинално заглавие:* Ангелов П. CAD системи. Ръководство за упражнения. Русе, Печатна база на Русенски университет „А. Кънчев“, 2015.)
3. Ангелов П., Н. Станков. <http://e-learning.uni-ruse.bg> – Web базирани материали за обучение по дисциплината „CAD системи“. Русенски университет „А. Кънчев“.
4. Stankov, N. Lectures for the discipline "Products Lifecycle Management". Ruse, 2020.



(Оригинално заглавие: Станков Н. Лекции по дисциплината „Управление на жизнения цикъл на продуктите“. Русе, 2020.)

5. Станков Н. <http://e-learning.uni-ruse.bg> – Web базирани материали за обучение по дисциплината „Управление на жизнения цикъл на продуктите“. Русенски университет „А. Кънчев“.

6. SolidWorks – modeling and drawings. TehnoLogika EAD, Sofia, 2019.

(Оригинално заглавие: SolidWorks – моделиране и чертежи. ТехноЛогика ЕАД, София, 2019.)

7. SolidWorks: Basic modeling and drawings. TehnoLogika EAD, Sofia, 2012.

(Оригинално заглавие: SolidWorks: Базово моделиране и чертежи. ТехноЛогика ЕАД, София, 2012.)

8. Радковски К., Н. Станков. **Разработване на технология и приспособления за сглобяване и механична обработка на кранова колона (Development of technology and fixtures for assembling and mechining of a crane column)**. Сборник доклади на 60-та студентска научна конференция – СНС‘21, Русе, 2021, стр. 23-38, ISSN 1311-3321.

9. Али И., Н. Станков. **Разработване на технология и приспособление за сглобяване на фланци за кранови колони (Development of technology and fixtures for assembling flanges for crane columns)**. Сборник доклади на 60-та студентска научна конференция – СНС‘21, Русе, 2021, стр. 39-52, ISSN 1311-3321.

10. Станков Н., Ал. Иванов, Н. Денев, Р. Милков. **Разработване на технология и приспособления за сглобяване на шест секционна кранова стрела**. XIII International Scientific Congress – Summer Session, “Machines. Technologies. Materials”, Section “Machines” and Section “Industrial Design Engineering & Ergonomics, Варна, 2016, стр. 14-17, 1310-3946.

11. Абрашева Д., Н. Станков, Ал. Иванов, Р. Милков. **Разработване на технология и приспособления за сглобяване на леви и десни тръби на кофи за грайфери MG1500 и MG1800**. Сборник доклади на студентска научна сесия – СНС‘16, Русе, 2016, стр. 90-101, ISSN 1311-3321.

12. Станков Н., Ал. Иванов. **Управление на конструкторска документация чрез SolidWorks Enterprise PDM**. Сборник научни трудове, том 54, серия 2, „Механика и машиностроителни технологии“, Русе, 2015, стр. 158-165, ISSN 1311-3321.

13. Трухчева Д., Н. Станков, Ал. Иванов. **Управление и организация на конструкторска документация чрез SolidWorks и SolidWorks Enterprise PDM**. Сборник доклади на студентска научна сесия – СНС‘15, Русе, 2015, стр. 20-30, ISSN 1311-3321.

14. Ахмед Е., Н. Станков, Ал. Иванов. **Разработване на технология и приспособление за сглобяване на „Долна част“ на грайфер MG300**. Сборник доклади на студентска научна сесия – СНС‘15, Русе, 2015, стр. 31-37, ISSN 1311-3321.

15. Цонева Д., Н. Станков, Ал. Иванов. **Разработване на технология и приспособление за сглобяване на грайфер SL500G на фирма ATLAS**. Сборник доклади на студентска научна сесия – СНС‘13, Русе, 2013, стр. 77-87, ISSN 1311-3321.

16. Мичев Т., Д. Цонева, Н. Станков, Ал. Иванов. **Разработване на технология и приспособления за сглобяване на хващач SL331H на фирма ATLAS**. Сборник доклади на студентска научна сесия – СНС‘13, Русе, 2013, стр. 88-93, ISSN 1311-3321.

17. [www.sl-industries.com](http://www.sl-industries.com). 2022.

18. [www.kinshofer.com](http://www.kinshofer.com). 2022.

19. [www.solidworks.com](http://www.solidworks.com). 3D Design Software. 2022.

20. [www.cimco.com](http://www.cimco.com). CIMCO Software, Version 6. 2022.



## ABOUT FORCE INDUCED DEFORMATIONS IN TURNING<sup>2</sup>

---

### Kristiyan Veleв –PhD Student

Department of Machine Tools & Manufacturing,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Tel.: +359 885 3234 09  
E-mail: kvelev@uni-ruse.bg

### Assist. Prof. Eng. Svetlana Koleva, PhD

Department of Machine Tools & Manufacturing,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Phone: 082 88 86 53  
E-mail: [svetla@uni-ruse.bg](mailto:svetla@uni-ruse.bg)

**Abstract:** This paper reviews the theory behind force induced deformations. It pays brief attention to the history of the problem. It also presents some of the so far established methods for their prediction and some of the methods for their control. Thus laying the foundation for a future research in to the problem.

**Keywords:** Turnning, Force induced deformations

### ВЪВЕДЕНИЕ

Силовите деформации са резултат от взаимодействието на инструмента (режещия клин) и обработвания материал. Те предизвикват пластични деформации и разрушаване на материала и отделянето му във формата на стружка. Основните изследвания на силовите деформации се извършват през средата на миналия век, когато те са били с доминиращ дял – 20-80% от сумарната грешка на обработването. Развитието на технологиите за получаване на заготовките, средствата за обработването им с рязане води до значително намаляване на тяхното влияние. Основание за това заключение е възможността при съвременното обработване да се постига със струговане 6-7 степен на точност.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

За съпоставяне на силовите натоварвания и съпротивлението на технологичната система се използват понятията “стабилност” и “податливост”. Под стабилност се разбира способността на технологичната система да се съпротивлява на действащите в процес на рязане силови натоварвания. За нейното количествено оценяване се използва изрза [12]:

$$j = \frac{F_y}{y}, \text{ N/mm} \quad (1)$$

където  $F_y$  е нормалната съставна на силата на рязане;

$y$  – преместването на режещия ръб на инструмента спрямо обработената повърхнина в същото направление с положителна стойност при увеличаване на размера.

Относно податливостта, то тя е величина реципрочна на стабилността т.е.:

$$W = \frac{y}{F_y}, \mu\text{m/N} \quad (2)$$

За установяване на количествена връзка между силовите деформации и основните технологични фактори се използва пружинния модел (аналог) на технологичната система. При него преместванията на всички съставни звена са пренесени към върха на ножа и се

---

<sup>2</sup> Докладът е представен на студентската научна сесия на 07.06.2022 г. в секция Механика и машиностроителни технологии с оригинално заглавие на български език: ОТНОСНО ДЕФОРМАЦИИТЕ ПРИ СТРУГОВАНЕ.

отчитат в направление, нормално на обработената повърхнина. Съпротивителното (еластичното) поведение на тези звена общо се моделира с пружината. На базата на този модел е установена и приета да се използва следната зависимост:

$$y = \frac{C(HB)^{z_{Fy}}}{j + C(HB)^{z_{Fy}}} t_3 \quad (3)$$

където:

HB – Твърдостта на материала;

j – Стабилността на технологичната система;

C – Константа отчитаща номиналните постоянни фактори;

t<sub>3</sub> – Дълбочина на рязане.

Разсейването на тези фактори оказва влияние върху точността и качеството на размерите, като то може да възникне при всеки от етапите на обработване.

### Прогнозиране на еластичните деформации

Към средата на миналия век са започнали изследванията свързани с определянето на еластичните деформации при трите характерни схеми на установяване – в патронник, патронник-център и между центри [4,5,7,8,11]. На този етап с цел опростяване на разработваните модели е разглеждано основно обработването на гладки цилиндрични заготовки. За приблизително изчисляване на техните деформации се препоръчва използването на теоретични зависимости изведени в теория на еластичността. Най-общо зависимостта за максималното провисване е :

$$y_{max} = \frac{F_y L^3}{c E_3 I_3} \quad (4)$$

където c е коефициент зависещ от схемата на установяване.

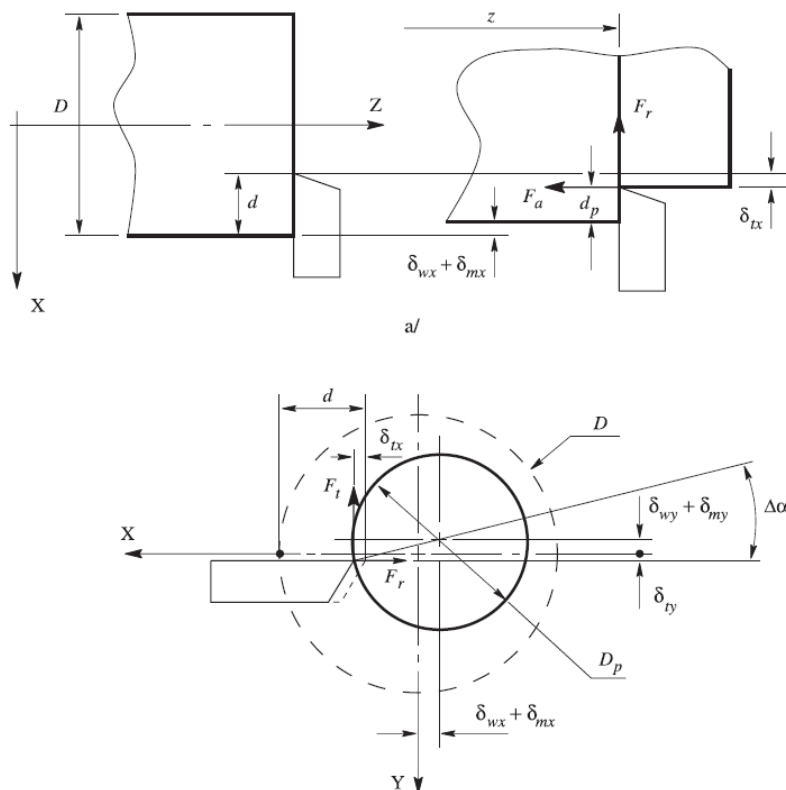
В [7] при анализиране на еластичните деформации при конзолното установяване е включено и влиянието на вретения възел заедно с патронника на машината. като изчислителния модел включва двустъпална заготовка. Нейното първото стъпало е с размери d и L създаващи еквивалентната податливост породена сумарно от вретения възел и установяването в патронника.

В [2] изчисляването на отклоненията на напречното сечение на детайла породено от всички компоненти на силата на рязане (радиална, аксиална и тангенциална) се определя по метода на крайните елементи. В тази работа са разгледани трите широко използвани метода за установяване на детайли на струговата машина: конзолно, патронник-център и между центри.

За определяне на еластичните деформации във функция от позицията на инструмента се използва FEM система за линейни статични анализи. Изведените зависимости се решават с помощта на пакета за символни решения Maple, за да се получи решението в затворена форма, дори за стъпални детайли. Това позволява последващите изчисления да отнемат по-малко време и съответно получават по-лесно без да е необходимо допълнително използване на инструментите на крайните елементи.

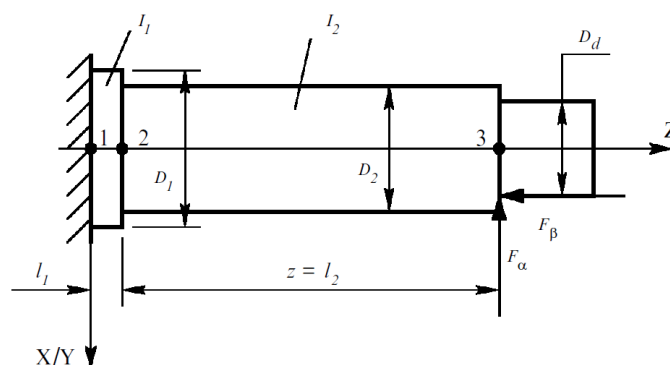
В следваща публикация [3] авторите разширяват разработения подход, като включват и податливостта на екипировката за установяване на заготовката и инструмента. Освен това при изчисляване на отклоненията отчитат промяната на зададената дълбочина на рязане от еластичните деформации.

На фигурата  $\delta_{wx}$ ,  $\delta_{wy}$  са промяна на диаметъра от податливостта на детайла по осите X, Y, а  $\delta_{mx}$ ,  $\delta_{my}$  от податливостта на екипировката за установяване на заготовката,  $\delta_{tx}$ - от инструмента.

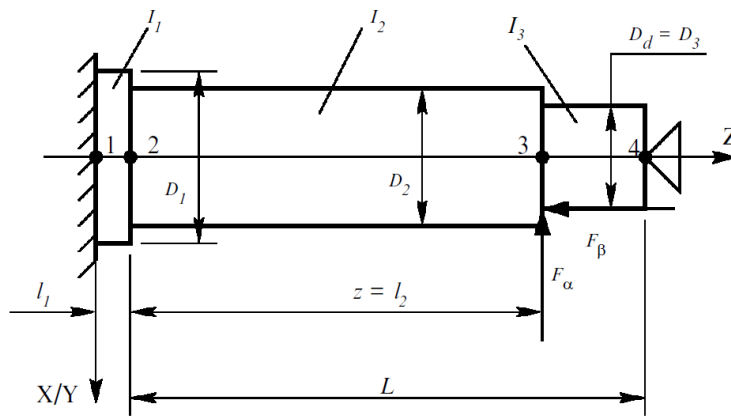


Фиг.1. Предсказан диаметър  $D_p$  на обработваната повърхнина

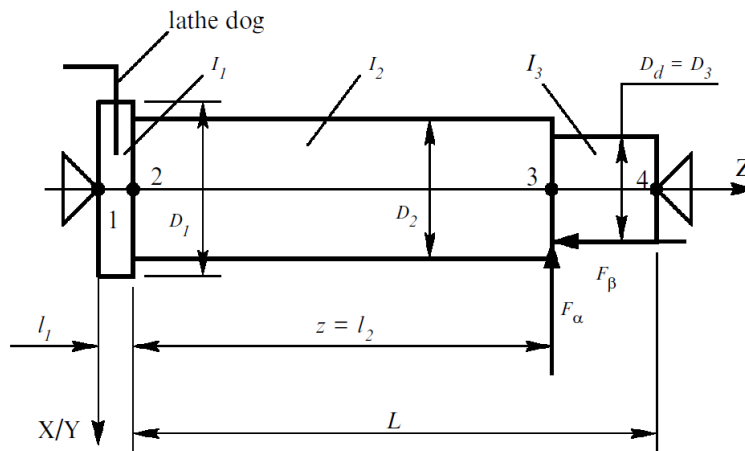
В изследването на грешките от еластичните деформации се използва следната конфигурация на заготовката обработвана при трите схеми на установяване (фиг. 2-4). След окончателното обработване детайлът е с две стъпала, но по време на обработване се формират три стъпала, като двете между точките 3-4 и 2-3 си променят дължината, а стъпалото между 3-4 и диаметъра, което се отразява на тяхната коравина. Стъпалото 1-2 се използва за установяване и за предаване на въртящия момент.



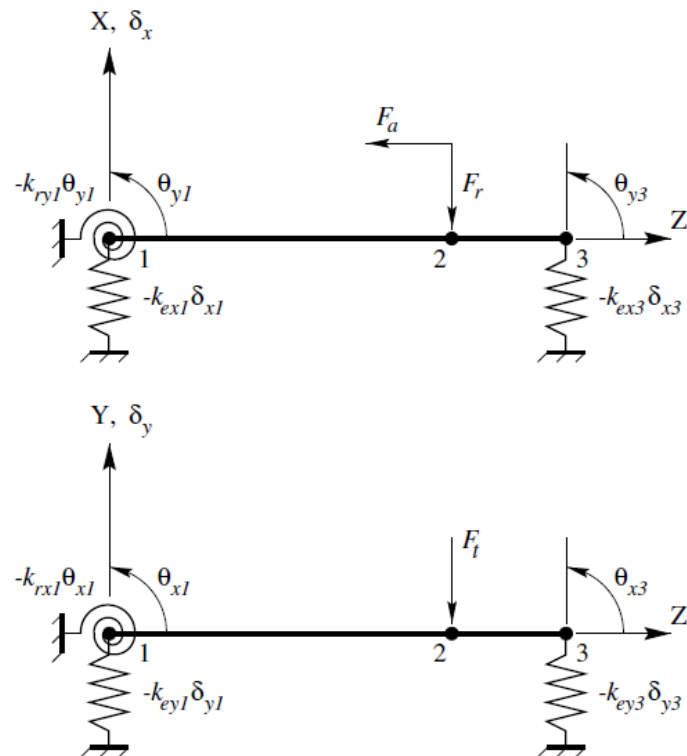
Фиг.2. Модел на крайните елементи при струговане на прът (конзолно закрепен)



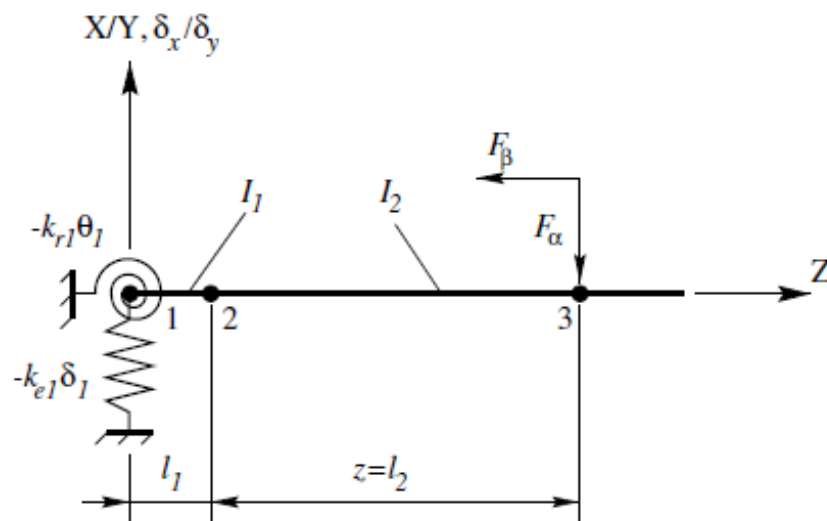
Фиг.3. Модел на крайните елементи при струговане на прът ( закрепен между патронник и център)



Фиг.4. Модел на крайните елементи при струговане на прът (закрепен между центри)



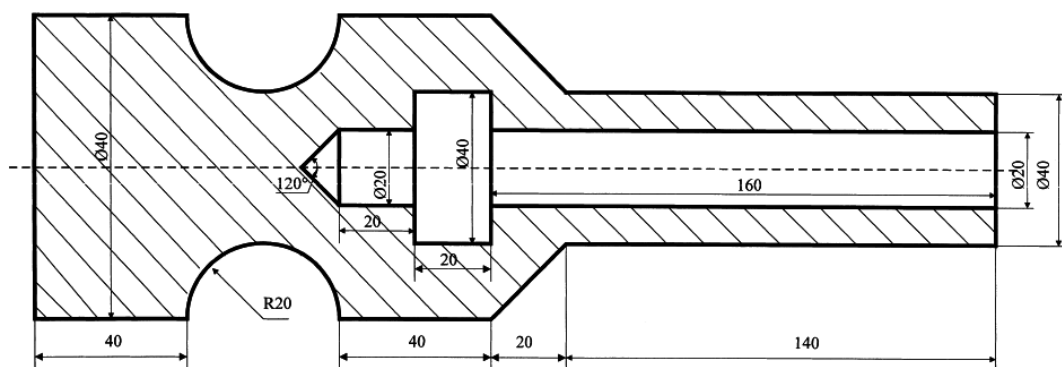
Фиг.5 Моделиране на заготовка закрепена на подвижни опори.



Фиг.6 Моделиране на заготовка закрепена конзолно

При прилагането на метода на крайните елементи се използват модели на фиг.5 до фиг.6. Податливостта в установъчната екипировка е отразена с два вида пружини – винтовата характеризира линейните ( $k_{ex1}$ ,  $k_{ex3}$ ), а спиралната – ъгловата ( $k_{ry1}$ ) им податливости. Определят се деформациите, възникващи в резултат от действието на аксиалната  $F_a$  и радиалната  $F_r$  сили на рязане. Приложението на създадения подход се разширява за многостъпални [6] и с конусни повърхнини [1].

За прогнозиране на отклоненията от еластичните деформации при много-диаметрални заготовки по време на струговане се използва и метода за анализ на крайни разлики (FD) [9]. Разработени са модели с крайни разлики, за да опишат деформацията на детайла, когато се вземат предвид условията на струговане, като силата на рязане, материала на детайла, както и размерите на формата и видовете установявания. Този метод е по-лесно приложим в сравнение метода на крайните елементи, когато се търсят решения за механични конструкции с по-проста геометрия, каквато е ососиметричната конфигурация на стругово обработваните детайли имащи кръгло напречно сечение. Същността в приложение на метода се състои в математично разделяне на детайла на равномерно разпределени секции имащи постоянен инерционен момент. За всяка секция в диференциална форма се изразява връзката между деформациите, натоварването модула на еластичност и инерционния момент. С компютърно решаване на системата от получени уравнения се определя кривата на деформациите в зависимост от начините на установяване –патронник, патронник-център и между центри. В работата методът е приложен за определяне на отклонението от формата в надлъжното сечение от влиянието на еластичните деформации за на детайла от фиг.7. Резултатите са получени при условията на стабилно установяване и стабилен инструмент.



Фиг.7. Диаграма на сложнопрофилна заготовка

Предложеният метод е проверен за детайл с еднакъв диаметър, чрез сравняването на теоретичните резултати получени от пресмятане по метода на крайните разлики и познатата теоретично изведената зависимост  $y = \frac{Fx^2}{6EI}(x - 3l)$ .

## ИЗВОДИ

Изложеното до тук, ясно показва, че за да могат да се изработват достатъчно бързо и с минимален брой корекции, технологични процеси, то те имат нужда от ясна и точна технологична информация. Технологичната информация е всичко онова, което е необходимо за подготовката на процесите за изработване на машините, тяхното управление и организация с цел ефективното му изпълнение. Основните и най-сложни са задачите свързани с етапите на проектиране и управление на технологичния процес. Информационното осигуряване е средството за преодоляване на неопределеността при вземане на ефективни технологични решения особено в условията на действащи ограничения (времеви, икономически, ниво на квалификация) характерни за реалните производствени процеси(особено в широко-номенклатурното производство).

## REFERENCES

1. A.-V. Phan, G. Cloutier, J.R.R. Mayer, A finite element model for predicting tapered workpiece deflections in turning, Computer Modeling and Simulation in Engineering 4 (1999) 138±142.
2. A.-V. PHAN\*, G. CLOUTIER and J. R. R. MAYER, A finite-element model with closed-form solutions to workpiece deflections in turning, int. j. prod. res., 1999, vol. 37, no. 17, 4039±4051.
3. A.-V. Phan, L. Baron, J.R.R. Mayer, G. Cloutier, Finite element and experimental studies of diametral errors in cantilever bar turning, Department of Mechanical Engineering, University of South Alabama, Mobile, AL 36688-0002, USA b Department of Mechanical Engineering, Ecole Polytechnique, Montreal, Que., Canada H3C 3A7, Received 17 April 2001; accepted 1 November 2002.
4. E.J.A. Armarego, R.H. Brown, The Machining of Metals, Prentice-Hall, London, 1969.
5. G.F. Micheletti, Manufacturing Technology, UTET, Torino, 1968 (in italian).
6. G. Cloutier, J.R.R. Mayer, A.-V. Phan, Singular function representation in obtaining closed-form solutions to workpiece deflections in turning multi-diameter bars, Computer Modeling and Simulation in Engineering 4 (1999) 133±137.
7. Korsakov V.S., Machining accuracy, GNTI Engineering Literature, Moscow, 1961 (Корсаков В. С., Точность механической обработки, ГНТИ Машиностроительной литературы, Москва, 1961).
8. Kolev K.S., Issues of accuracy when cutting metals, Mashgis, Moscow, 1961 Kiev. (Колев К. С., Вопросы точности при резаний металлов, Машгиз, Москва 1961 Киев.).
9. Liu Zhan Qiang, Finite difference calculations of the deformations of multi-diameter workpieces during turning, Journal of Materials Processing Technology 98 (2000) 310-316, Received 12 April 1998.
10. Nathan H.C., 1966, Manufacturing Analysis (Reading, MA: Addison-Wesley).
11. S.M. Said, Static compliance of the centre lathe processing system, Int. J. Mach. Tool Des. Res. 4 (1964) 223±241.
12. Zamfirov I., Technological equipment, printing base of University of Ruse, Ruse, 2013. (Замфиров И., Технологична екипировка, печ. база на Русенски университет, Русе, 2013.).

TUE-1.417-SSS-MEMBT-03

---

## PROCESS CHAIN RESEARCH ON MAKING POLYMER AND METAL PROTOTYPES BY 3D PRINTING AND PRECISION CASTING<sup>3</sup>

---

### **Elena Zheleva – Student / Young Scientist**

Department of Materials Science and Technology,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Tel.: +359894456299  
E-mail: leni.zheleva@gmail.com

### **Assist. Prof. Emil Yankov, PhD**

Department of Materials Science and Technology,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Phone: +359895614247  
E-mail: [eyankov@uni-ruse.bg](mailto:eyankov@uni-ruse.bg)

### **Assoc. Prof. Roussi Minev, PhD**

Department of Materials Science and Technology,  
University of Ruse “Angel Kanchev”  
Phone: +359 82 888315  
E-mail: [rus@uni-ruse.bg](mailto:rus@uni-ruse.bg)

**Abstract:** In this research the possibility of obtaining prototype models and castings by special methods of casting in ceramic molds is considered. The created prototype model, designed with CAD system SolidWorks, was made by 3D printing using the FDM method. Two types of models were made on the printer – the first one is functional, made of PETG, and the second one is a prototype, made of PLA. The models were measured to check for dimensional deviations. The obtained values were compared with the prototype CAD model, and the deviations were calculated in percentages. The PLA model was used to obtain a casting in ceramic form by precision casting. The obtained metal casting was re-measured, as the deviations from the dimensions were compared with those of the digital model and are presented in percentages. The results show that there are contractions of the 3D printed models not more than 1.6%, and in the metal model they do not exceed 4.1%. To avoid these problems, it is necessary to make dimensional adjustments in the digital CAD model.

**Key words:** 3D printing, casting, CAD models, dimensional control, ceramic forms

## INTRODUCTION

Precise casting in ceramic molds on a molten model is one of the special methods for casting in disposable molds. Its main task is to ensure high accuracy and smoothness of the casting in view of almost complete elimination of subsequent machining. The essence of the method consists in the fact that after making the form the model is not taken out, but melted and drained from it. This makes it possible to cast parts with a very complex shape and with very small thicknesses (0.5 mm). There are no restrictions on the type of alloys. The main disadvantage of the method is the prolonged and complicated technological process, which leads to a decrease in productivity and increase in cost [1-6].

For the last 5 years, solutions have been sought to improve the productivity of the process, using modern means to create prototype models [7-10]. One of the approaches is the creation of CAD models with software products that are technologically studied before their development. The approval is most often done by the client. After passing this stage, a prototype model is made using

---

<sup>3</sup> Докладът е представен на студентската научна сесия на 07.06.2022 г. в секция Механика и машиностроителни технологии с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНА ВЕРИГА ЗА ИЗРАБОТВАНЕ НА ПОЛИМЕРНИ И МЕТАЛНИ ПРОТОТИПИ ЧРЕЗ 3D ПРИНТИРАНЕ И ПРЕЦИЗНО ЛЕЕНЕ.



a 3D printer, which makes it possible to shorten the time for its production. The printed model can be functional, made of materials with sufficient strength and resistance to external influences, and the prototype is made of materials that decompose and melt easily. The main problems in making models by 3D printing is the accuracy of the printing system, as well as the technological properties of the materials after cooling. The most common problems are differences in size, established practically after their placement in the assembled product. The prototype model is used to obtain a cavity in ceramic molds that are filled with metal. Comparing the dimensions of the casting with the digital model also reveals differences. In order to establish these differences and improve the manufacturability of the process, a technological line for prototype models has been developed, monitoring their change from the creation of the digital model to the production of a casting.

The sequence of the technological process is as follows: 1. Design of a CAD model, 2. Production of a prototype model by 3D printing, 3. Production of the form, 4. Melting of the models and baking of the form, 5. Filling of the form with metal, 6. Finishing operations.

## METHODOLOGY OF THE TECHNOLOGICAL CHAIN

### Model design

The SolidWorks CAD system was used for the design of the model, and the assignment of the model is in the form of drawing documentation. Often the model can be a sketch on a sheet drawn by a designer. Fig. 1 a) shows the 2D sketch of the model, and Fig. 1 b) shows the digital 3D model with the CAD system.

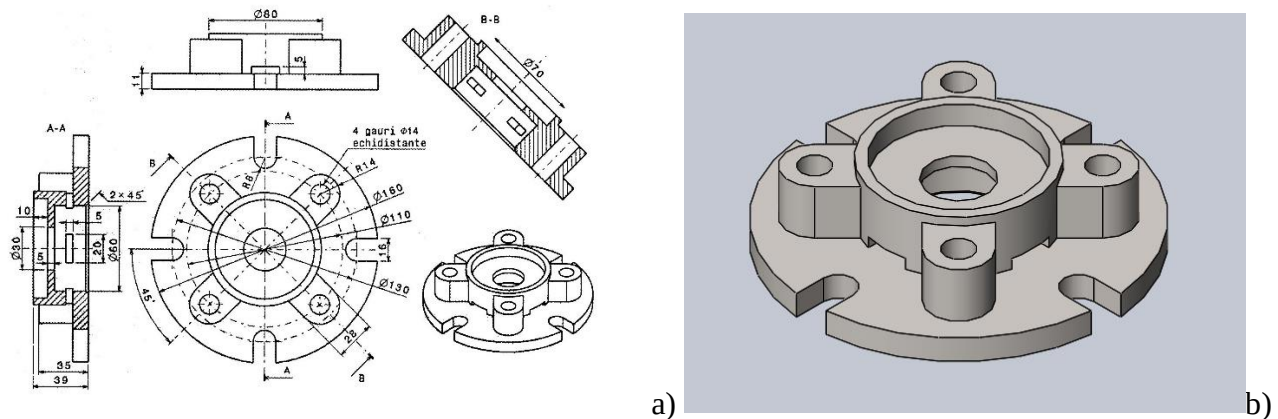


Fig. 1 Bearing cap model a) drawing, b) digital model

Important dimensions for the cap are the external dimensions and connection holes. These dimensions were used for inspection and control after printing and after casting. From the obtained dimensions of the model, functional and casting, an analysis of the deviations completed in a table was performed.

### Creating a prototype and functional model

In order to print the models, it is necessary to save the digital model in a suitable format for the 3D printing preparation software. In this case the software product "Creality" v.4.8 was used. For the production of both types of models a 3D printer "Creality Ender 3v2" was used, which works by FDM method. PLA material was used to make the prototype model, which is easily melted and burned by special methods for casting in ceramic molds. The functional model was made of PETG material, which is water and oil resistant, with sufficient strength and resistance to UV rays.

The creation of the model by 3D printing was done with the software product "Creality", in which the digital model saved in the STL file is inserted. The following necessary parameters were set for the functional model: nozzle diameter - 0.4 mm, material - PETG, wall thickness - 1.2 mm, layer thickness - 0.2 mm, filling - 85%, printing temperature - 230 °C, table temperature - 80 °C, printing

speed - 60 mm/s, cooling of the nozzle area - 100% and supports - in the form of lines with filling 20%. The parameters for the creation of the functional model are presented in Fig. 2.

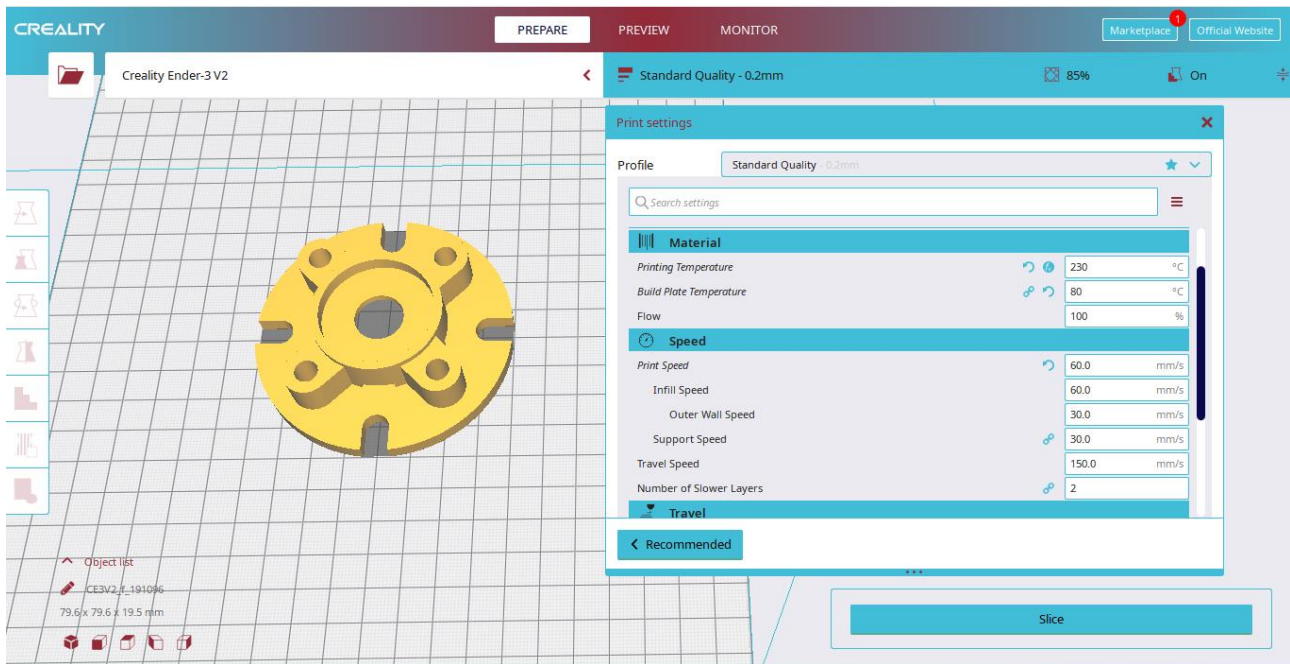


Fig. 2 Preparation for printing a functional model

With the parameters set in this way, the model will be made in 4 hours and 48 minutes. The required amount of material is 49 g with the supports and a total of 97 layers, shown in Fig.3. The printing strategy is to build the model lying on the work table with its largest area. For the construction, supports are provided in the inner part of the central opening and in the side slits, which are shown in blue in Fig. 3. The 3D printing program is generated using the "Slice" button. The created file is a code of movements along the x, y and z axes of the printer and is saved in an SD card, which is inserted into the printer for its decoding. In order to avoid a problem related to detachment of the model from the work table, it is set that the first layer is half the thickness of the predetermined layer thickness, ie. the first layer will be 0.1 mm thick and the others will be 0.2 mm thick. In this way, the amount of printed material in the first layer will flow more sideways than in height. This will also affect the height dimensions.

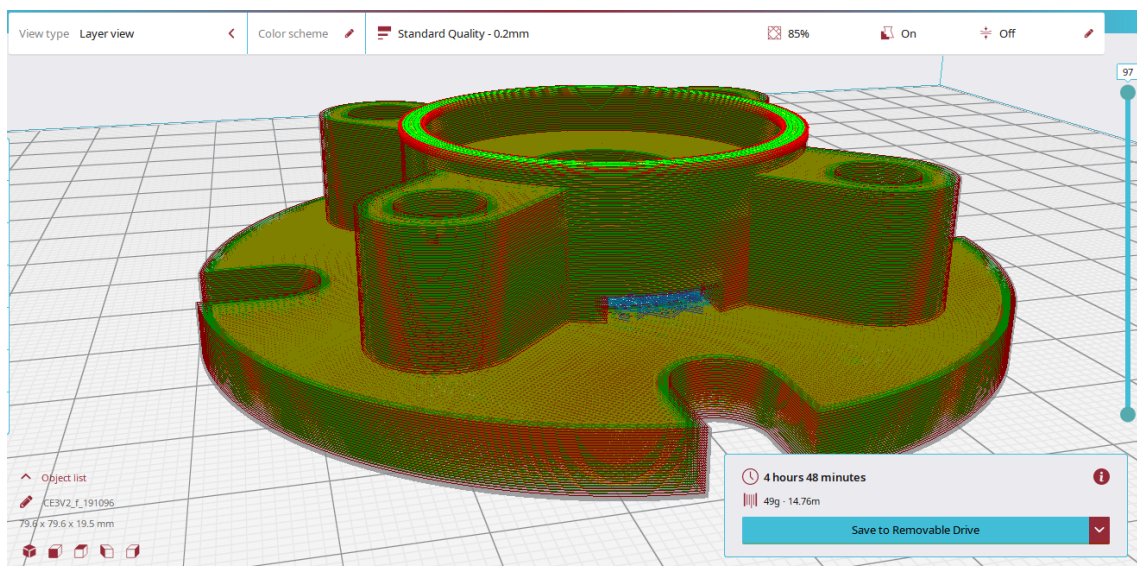


Fig. 3 Strategy for 3D printing of a functional model

For the development of the prototype model the sequence is similar, but with the following changes: material - PLA, filling - 35%, printing temperature - 210 ° C, table temperature - 60 ° C

and wall thickness - 0.8 mm. The purpose of thinner walls and less filling is to reduce the consumption of material and easier melting in the ceramic form during firing. The parameters for creating the functional model are presented in Fig.4. With the parameters set in this way, the time for making the prototype model is 3 hours and 13 minutes. The required amount of material is 27 g with the supports and a total of 97 layers, presented in Fig.5.

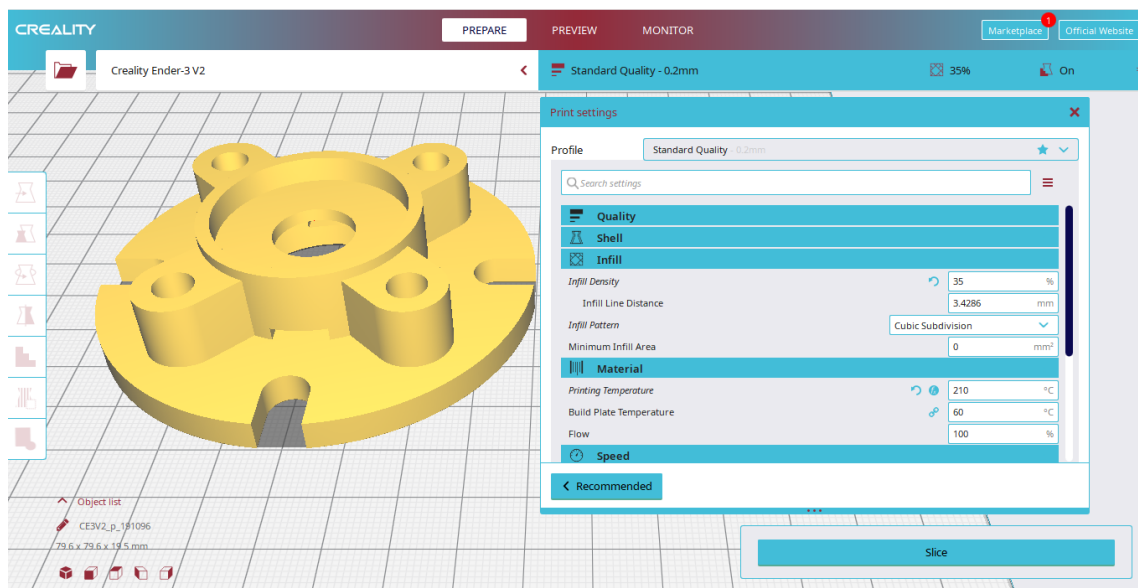


Fig. 4 Preparation for printing a prototype model

The undertaken strategy for making the prototype model leads to a reduction of the printing time by about 33%, and the material consumption decreases by about 45%. This creates a prerequisite for improving the productivity of the process of creating a model through the exact methods of casting in ceramic molds. Compared to the classic approach to getting a model, it would take a few weeks with the equipment.

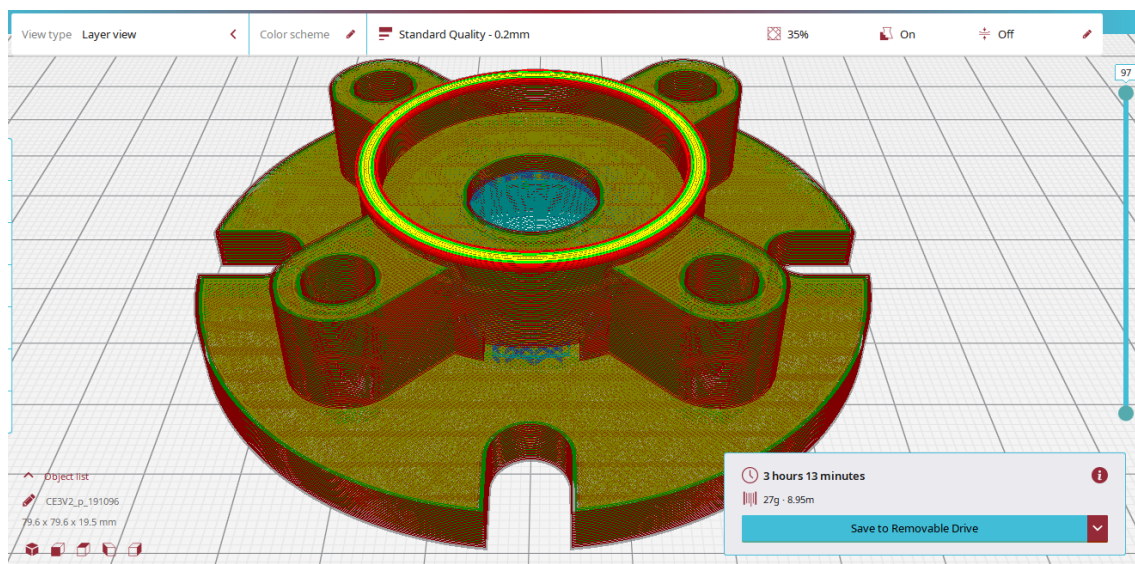


Fig. 5 Strategy for 3D printing of a prototype model

The printed models - functional and prototype, are presented in Fig.6 a) and b), as external differences are not noticed, but after control of the dimensions differences were found compared to the digital model as well as differences between the two types of printing materials in the same model. These differences are reflected in the "Results" section of Table 1.





Fig. 6 Models: a) functional, b) prototype, c) casting

### Making a casting in ceramic form

The preparation of a ceramic form is carried out by making fusible models, attached to a common runner with a pouring cup, forming a block of models. The models are attached to the runner by ingates glued to the model shown in Fig. 7 a). A horizontal runner is provided for the pouring cup, to which, through ingates additionally glued to the model, a condition is created for filling by 5 ingates at once, guaranteeing nourishment of the cavity and reduction of the risk of larger shrinkages. The resulting block is placed in a case, which is filled with liquid ceramics. The ceramics are baked according to the requirements of the manufacturer from a provided diagram. The initial stage of baking is raising the temperature to 240 ° C for 1 hour, ensuring smooth drying of the mold and leakage of the material, which forms a cavity. It takes another 2 hours to dry, after which the form switches to baking. The baking process proceeds smoothly, reaching a temperature of 750 ° C for 1 hour and 30 minutes and remaining at this temperature for another 2 hours. After baking, the temperature should drop for 1 hour at 600 ° C and hold long enough until the pouring process. This stage lasts about 4 hours. The whole cycle for obtaining the ceramic form lasts about 12 hours.

The melting of the metal was performed in an induction furnace "Emma", developed by Laybold, and the metal was melted in a graphite crucible, shown in Fig.7 b). The molten metal is poured into the heated ceramic mold, creating a vacuum in the lower part of the mold, which helps to better fill the cavity. The vacuum is created by a pump set to the installation. The temperature for making the brass alloy is about 1100 ° C and it should be poured into the mold in less than 15 seconds. The obtained casting in ceramic form is shown in Fig. 7 c).

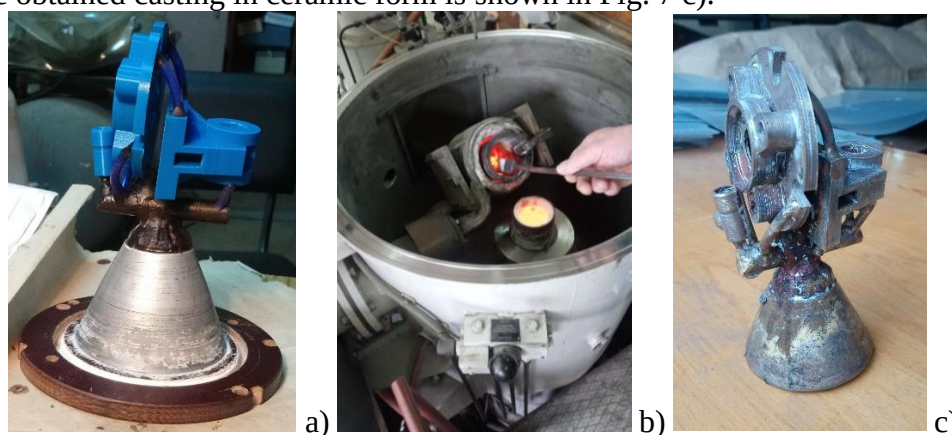


Fig. 7 Obtaining a casting: a) common block, b) pouring, c) casting with the gating system

The models are separated from the gating system by cutting with an angle grinder and a hand saw. Traces of the gating system are cleaned to the level of the model. The resulting casting is presented in Fig.6 c). Visible distortions and deviations at first glance are not noticeable, but after measurement and control differences were found compared to the digital model. The differences obtained are reflected in the "Results" section of Table 1.

## Results

In order to establish the manufacturability of the process and to obtain accurate models with ceramic shapes and to create models by 3D printing, a comparative Table 1 was used for the deviations between the obtained models and the digital 3D model.

Table 1 - comparative table of the controlled dimensions, indicated in Fig.8

|                                                | <b>A</b><br><b>mm</b> | <b>B</b><br><b>mm</b> | <b>C</b><br><b>mm</b> | <b>D</b><br><b>mm</b> | <b>E</b><br><b>mm</b> |
|------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>3D model</b>                                | 19,5                  | 80                    | 40                    | 15                    | 14                    |
| <b>Functional model<br/>(3D printer, PETG)</b> | 19,2                  | 79,74                 | 39,92                 | 14,96                 | 14,08                 |
| <b>Prototype model (3D<br/>printer, PLA)</b>   | 19,21                 | 79,87                 | 40,08                 | 14,74                 | 14,06                 |
| <b>Cast model<br/>(casting, brass)</b>         | 18,71                 | 78,81                 | 39,5                  | 14,6                  | 13,96                 |
| <b><math>\Delta f</math>, %</b>                | 1,54                  | 0,33                  | 0,20                  | 0,27                  | -0,57                 |
| <b><math>\Delta p</math>, %</b>                | 1,49                  | 0,16                  | -0,20                 | 1,73                  | -0,43                 |
| <b><math>\Delta c</math>, %</b>                | 4,05                  | 1,49                  | 1,25                  | 2,67                  | 0,29                  |

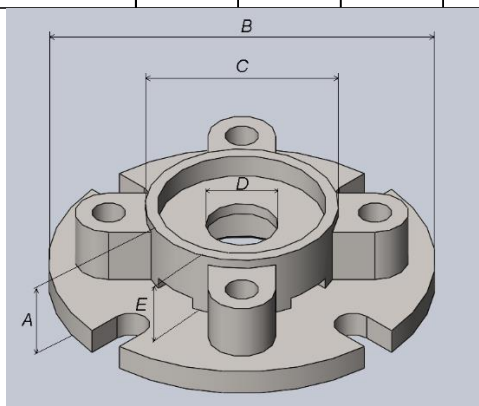


Fig. 8 Controlled dimensions

After 3D printing in the functional model there is a change in the nominal dimensions due to shrinkage of the material when cooled, and in the rest, the change is within the tolerances of the 3D printer ( $\pm 0.1$  mm). In the prototype model, the same change in size is observed, but the internal holes shrink more than the tolerance and reach 1.73%. The reason for this behavior lies in the PLA material, which is characterized by greater compressibility than PETG. After casting, the deviations increase compared to the digital model to 4.05%, mainly due to the shrinkage of the metal after cooling. In order to achieve the desired casting with the set dimensions, it is necessary to adjust the dimensions of the prototype digital model with a sign opposite to the change. To check the technological chain in order to obtain an accurate casting relative to the digital model, it is necessary to repeat the procedure again.

## CONCLUSIONS

The developed technological chain for the production of polymer and metal prototypes through 3D printing and precision casting allows for adequate evaluation of the acquired models through additional study of the obtained dimensions and the possibility for their correction. The possibilities for obtaining functional models within the tolerance of dimensional deviation

according to the accuracy of the 3D printer, which do not exceed 1.6% for the overall dimensions, have been established. In the prototype models, the deviations are larger in the internal sizes (holes), which reach 1.73%, while the other sizes keep their trend. After casting, the deviations of the overall dimensions reach higher values - 4.05%, due to the shrinkage of the metal during cooling or the shrinkage of the ceramic form during baking. The internal dimensions reach a deviation of up to 2.67% compared to the digital model.

Additional studies are needed to determine the change in size of the various printing materials, as well as the change in size after casting. In order to obtain an accurate model, it is necessary to make adjustments to the dimensions of the digital model with a sign relative to the change after printing and casting.

## REFERENCES

1. Gradinarov, A., (1989). Technology of foundry production, University of Ruse "Angel Kanchev", Ruse (**Original title:** Градинаров, А., 1989. Технология на лелярското производство, Русенски университет „Ангел Кънчев“, Русе).
2. Radoslavov, V., (1998). Technology of foundry production, RU "Angel Kanchev", Ruse (**Original title:** Радославов, В., 1998. Технология на лелярското производство, РУ „Ангел Кънчев“, Русе).
3. Zhelev, A., (2002). Materials Science- Engineering and Technology. v. 2 "Technological processes", Sofia (**Original title:** Желев, А., 2002. Материалознание- техника и технология. Том II „Технологични процеси и обработкаване“, София).
4. Tonchev, N., (2008). Technology of materials- metallic materials, Foundry properties of metals, VTU-Sofia, <http://www.castingarea.com/education/nt/tm05.htm> (**Original title:** Тончев, Н., 2008. Технология на материалите– метални материали, Лелярски свойства, ВТУ-София).
5. Kalev, L., (1987). Technology of manufacturing materials, Technique, S. (**Original title:** Калев, Л., 1987. Технология на машиностроителните материали, Техника, С.).
6. Mednev, (1986). Fundamentals of Metallurgical Production, "Angel Kanchev" University, Ruse (**Original title:** Меднев, 1986. Основи на металургичното производство, РУ „Ангел Кънчев“, Русе).
7. Yankov, E., Kamarinchev, D., Minev, R., Minev, E., (2019). Determining the optimum inclination for 3D printing- a case of rapid prototyping parts of a shell eco-marathon car, Mechanical Engineering and Machine-building Technologies, ISBN: 2603-41.
8. Minev, E., Yankov, E., Minev, R., (2015). Building and burning of PLA casting patterns for investment casting produced by REPRAP 3D printer, XXII International Scientific Technical Conference FOUNDRY 2015, Pleven, ISBN: 1310-3946 (**Original title:** Минев, Е., Янков, Е., Минев, Р., 2015. Изработване и изгаряне на модели за леење по стопяеми модели от PLA чрез REPRAP 3D принтер, XXII International Scientific Technical Conference FOUNDRY 2015, Плевен, ISBN: 1310-3946).
9. Minev, E., Yankov, E., Minev, R., (2015). The RepRap 3D Printers for metal Casting Pattern making- Capabilities and Application, On Innovative Trends in Engineering and Science (SFITES 2015), ISBN: 978-954-8483-35-6.
10. Minev, E., Yankov, E., Minev, R., (2015). Influence of building parameters on the accuracy and roughness of casting patterns produced by REPRAP 3D printer, XXII International Scientific Technical Conference FOUNDRY 2015, Pleven, ISBN: 1310-3946 (**Original title:** Минев, Е., Янков, Е., Минев, Р., 2015. Влияние на технологичните параметри на REPRAP 3D принтер върху точността и грапавостта на получаваните модели, XXII International Scientific Technical Conference FOUNDRY 2015, Плевен, ISBN: 1310-3946).

## COMPUTER MODELING OF A VERTICAL BUNGEE JUMP<sup>4</sup>

**Eng. Marusya Anatolieva Parakinova**

Master program Computer Science in Education

Department of Computer Science

University of Ruse "Angel Kanchev"

Tel.: +359 88 835 4222

E-mail: nikol4e19@gmail.com

**Assoc. Prof. Velina Bozduganova, PhD**

Department of Engineering Mechanics

University of Ruse "Angel Kanchev"

Tel.: +359 82 888-572

E-mail: velina@uni-ruse.bg

**Abstract:** A vertical bungee jump is investigated in the proposed work. Numerical experiments were performed in MATLAB to evaluate the dependence of the maximum of: the coordinate, the speed, the acceleration and the overload of the jumper on his mass in an interval from 50 kg to 120 kg with three types of ropes (hard, medium hard and soft).

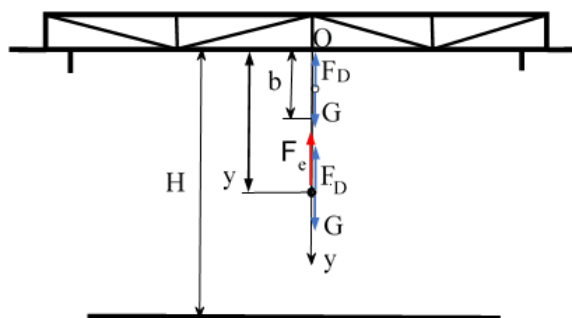
**Keywords:** Bungee jumping, Dynamics, Modeling, Simulation, Matlab

### ВЪВЕДЕНИЕ

Зародил се като религиозен ритуал на тихоокеанския остров Петдесетница преди столетия (Menz, P., 1993), сега бързо скокът се е превърнал в емоционален екстрем спорт (Li, Y., Lu, Z., 2013). При него скачащият е завързан за единия край на гумено въже, другият край на което е закрепен на висок мост или на подемен кран (Kadry, S., 2015; Kockelman, J.W. & Hubbard, M., 2004). След като скочи, човекът пада свободно, докато въжето се опъне и еластичната му сила започне да намалява скоростта. По-нататък човекът извършва няколко затихващи трептения и спира. Изучаването на механиката на този спорт дава възможност да се предвидят опасностите и да се осигурят безрискови скокове.

### МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ

В предлаганата разработка се разглежда модел на вертикален бързо скок (Витлиев, В., Боздуганова В., 2015). Човекът се моделира като материална точка, съвпадаща с масовия му център. При бързо скока движението има 2 етапа: свободно падане на човека, докато въжето се опъне и последващо трептливо движение, свързано с еластичността на въжето.



Фиг. 1. Схема на вертикален бързо скок

<sup>4</sup> Докладът е представен на студентската научна сесия на 07.06.2022 г. в секция Механика и машиностроителни технологии с оригинално заглавие на български език: КОМПЮТЪРНО МОДЕЛИРАНЕ НА ВЕРТИКАЛЕН БЪНДЖИ СКОК.



През първия етап от движението действат силата на теглото  $\mathbf{G}$  и съпротивителната сила на въздуха  $\mathbf{F_D}$ , а във втория етап се включва и еластичната сила  $\mathbf{F_e}$  (фиг. 1). Основното уравнение на динамиката за първия и втория етапи на движението има съответно вида:

$$m\mathbf{a} = \mathbf{G} + \mathbf{F_D}, \quad (1)$$

$$m\mathbf{a} = \mathbf{G} + \mathbf{F_D} + \mathbf{F_e}. \quad (2)$$

В горните уравнения  $\mathbf{G} = m \cdot \mathbf{g}$ , където  $m$  е масата на човека, а  $\mathbf{g}$  – земното ускорение. За съпротивителната сила на въздуха е приет линеен закон на изменение във вида:  $\mathbf{F_D} = -k\mathbf{v}$ , където  $k$  е коефициентът на аеродинамично съпротивление, а  $\mathbf{v}$  – скоростта на човека. Коефициентът на аеродинамично съпротивление е определен чрез граничната скорост  $\mathbf{v_{гр}}$  на човек във въздуха от зависимостта

$$k = m \cdot g / |\mathbf{v_{гр}}|. \quad (3)$$

Еластичната сила на въжето зависи от удължението му, възниква само когато въжето е удължено и е насочена обратно на посоката на това удължение. Въз основа на опитни резултати (Menz, P., 1993) големината на тази сила (фиг. 2) се изменя според зависимостите:

$$F_e = c_1(y-b), \quad r \geq y-b > 0, \quad (4)$$

$$F_e = c_1r + c_2(y-b-r), \quad y-b \geq r,$$

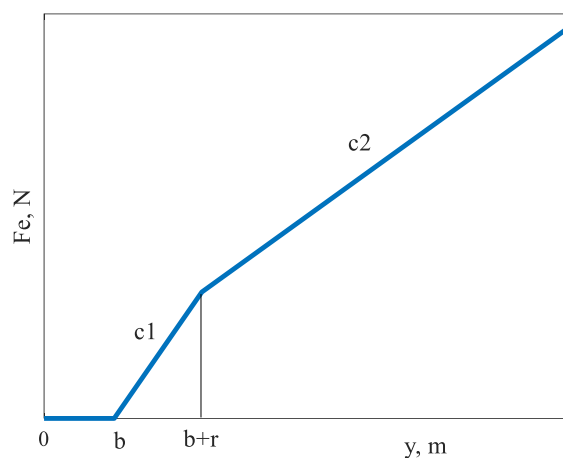
където

$c_1, c_2$  – коравинни коефициенти на въжето,

$y-b$  – удължение на въжето,

$r$  – характерен параметър в еластичната характеристика на въжето,

$b$  – дължина на недеформираното въже.



Фиг. 2. Изменение на еластичната сила  $F_e$  на въжето

Проектираме векторните уравнения (1) и (2) върху оста Оу (фиг. 1) и за първия етап на движението получаваме

$$m y'' = mg - kv, \quad (5)$$

а за втория етап

$$m y'' = mg - kv - c_1(y-b) \quad \text{при} \quad r \geq y-b > 0, \quad (6)$$

$$m y'' = mg - kv - c_1r - c_2(y-b-r) \quad \text{при} \quad y-b \geq r.$$

Необходимите за решаване с MATLAB канонични форми на системата диференциални уравнения (5) и (6) са съответно:

$$dy/dt = v, \quad y(0) = 0, \quad (7)$$

$$mdv/dt = mg - kv, \quad v(0) = 0,$$

и

$$dy/dt = v, \tag{8}$$

$$mdv/dt = mg - kv - c_1(y-b) \quad \text{при } r \geq y-b > 0,$$

$$mdv/dt = mg - kv - c_1r - c_2(y-b-r) \quad \text{при } y-b \geq r.$$

Цел на изследването е с предложения модел да се установи при бърз скок на хора с маса в интервала от 50 kg до 120 kg с три вида въжета (твърдо, средно твърдо и меко) има ли рисков скок и как се променят максималните стойности на четири основни характеристики на скока: координатата ( $y_{\max}$ ), скоростта ( $v_{\max}$ ), ускорението ( $a_{\max}$ ) и претоварването ( $p_{\max}$ ). Претоварването се определя като отношение на големините на ускорението на човека към земното ускорение.

### ЧИСЛЕНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ. ИЗВОДИ

Изследвания на задачата за вертикален бърз скок според описания модел (7) и (8) са извършени с програмната система MATLAB (Chapra, S., 2018). За численото интегриране на системата обикновени диференциални уравнения (5) и (6) е използвана функцията (т.н. солвър в MATLAB) ode45.

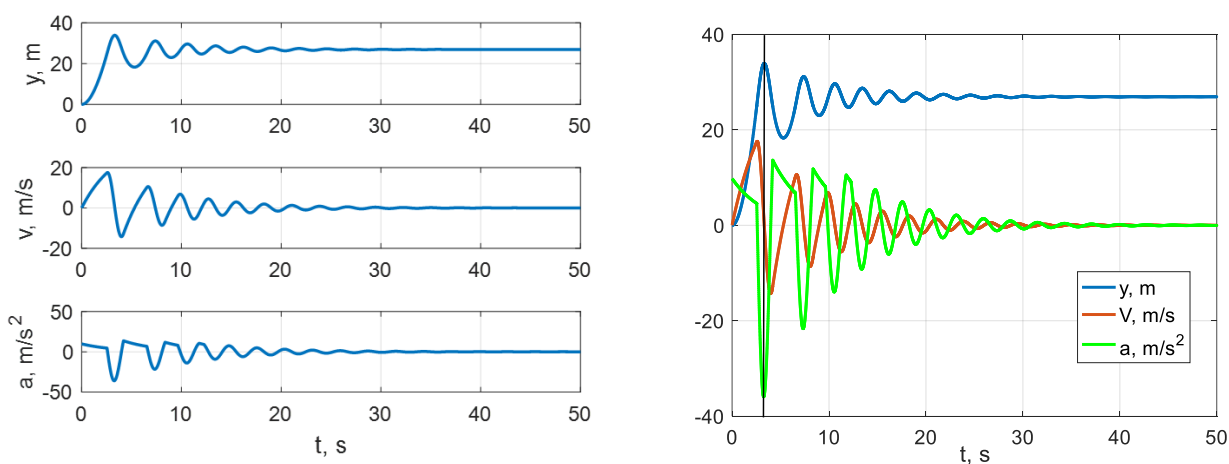
За входните величини са избрани следните стойности:  $b = 25$  m,  $H = 50$  m,  $r = 5$  m. Големината на граничната скорост на човек при свободно падане е  $v_{\text{тр}} = 53,6$  m/s и чрез нея от зависимост (3) се определя коефициентът  $k$ .

Стойностите на коравинните коефициенти са взети от литературата (Menz, P., 1993) на фирма-производител на бързи въжета (Табл. 1).

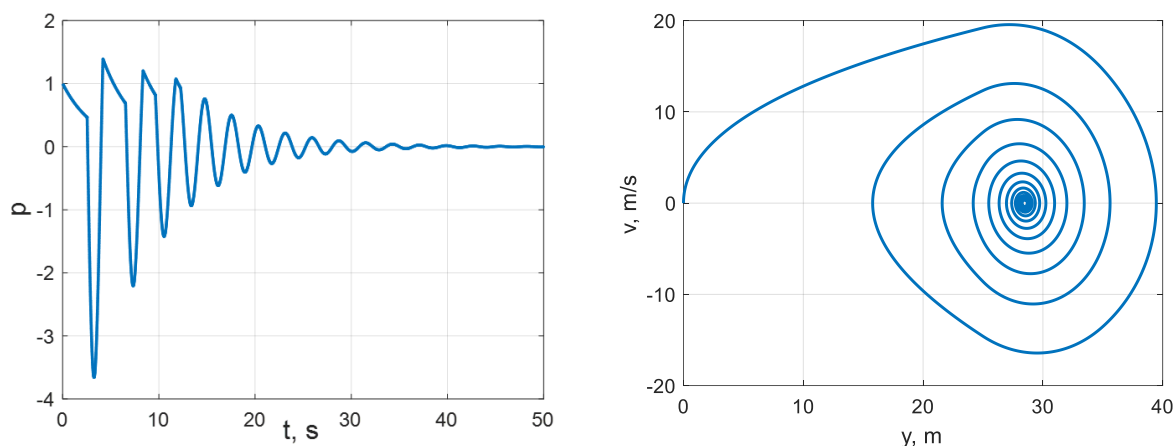
Таблица 1. Коравинни коефициенти на бързи въжета

| Вид въже      | $c_1$ (N/m) | $c_2$ (N/m) |
|---------------|-------------|-------------|
| твърдо        | 255         | 149         |
| средно твърдо | 204         | 111         |
| меко          | 162         | 77          |

На фиг. 3 и 4 са показани получените зависимости на основните характеристики на скока от времето и фазовият портрет при маса на човека  $m = 90$  kg и твърдо въже, от които можем да установим, че затихването на трептенията съответства на реални трептения на бързи скокове.



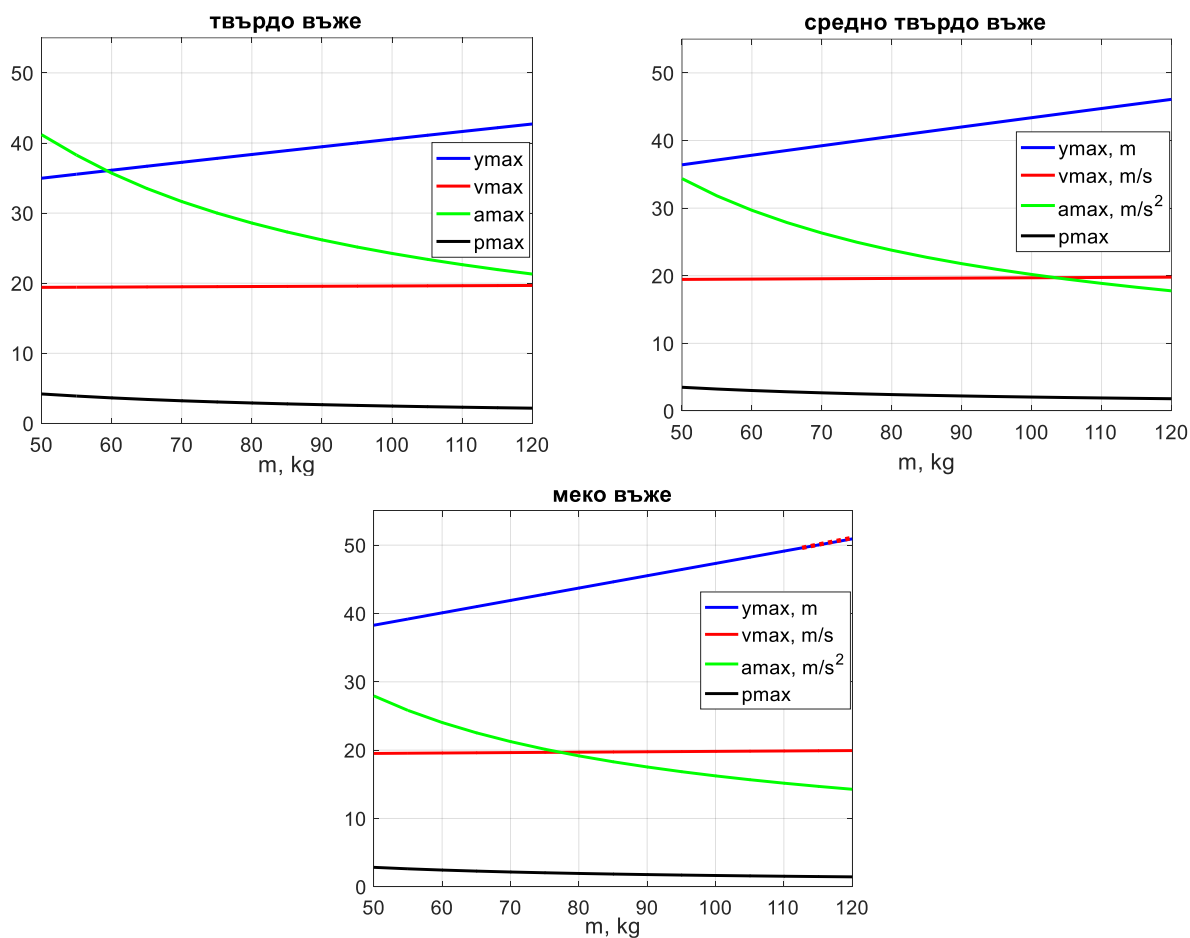
Фиг. 3. Зависимост на координата  $y$ , скоростта  $v$ , ускорението  $a$  от времето  $t$



Фиг. 4. Зависимост на претоварването  $p$  от времето и фазов портрет

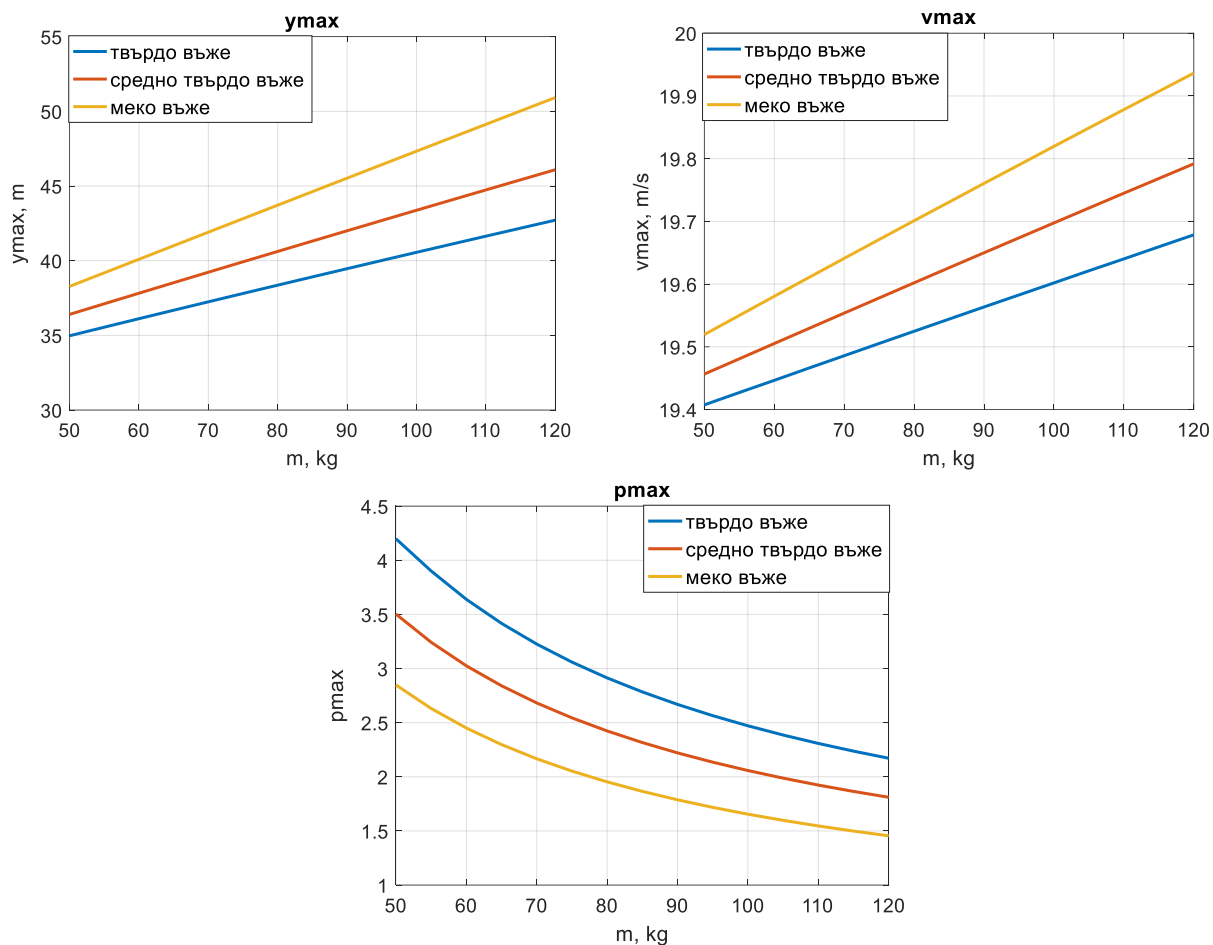
Очаква се максималната скорост да се достигне в края на етапа на свободното падане, а максималното претоварване – когато удължението на въжето стане най-голямо. Това се потвърждава от фиг. 3.

Изменението на максимумите на основните величини при промяна на масата на човека в интервала от 50 kg до 120 kg с трите вида въжета е отразено на фиг. 5.



Фиг. 5. Изменение на максималните: координата  $y_{max}$ , скорост  $v_{max}$ , ускорение  $a_{max}$  и претоварване  $p_{max}$  при промяна на масата  $m$  в зададения интервал

За по-добра сравнимост, на фиг. 6 са изобразени максимумите на основните характеристики поотделно за трите вида въжета.



Фиг. 6. Изменение на максималните: координата  $y_{max}$ , скорост  $v_{max}$  и претоварване  $p_{max}$  при промяна на масата  $m$  в зададения интервал за трите вида въжета

От фиг. 5 се вижда, че при използване на меко въже настъпва рисков скок за човек с маса над 110 kg, поради удар при достигане на граничната преграда. Максималната скорост и максималната координата нарастват, а максималното претоварване намалява с увеличаване на масата на човека и при трите вида въжета (фиг. 5). То не надвишава: 4.2 при твърдо, 3.5 при средно и 2.8 при меко въже.

Фиг. 6 показва, че с намаляване на коравината на въжето максималната координата се увеличава, а максималното претоварване намалява. От същата фигура следва, че максималната скорост практически не зависи от вида на въжето.

При по-нататъшни изследвания в модела е целесъобразно: да се разгледат трептенията на въжето като непрекъсната виско-еластична среда с разпределена маса; да се опишат въжето и човека като система с променлива маса (при свободното движение); да се включат освен масата и останалите масови инерционни характеристики на човека.

## REFERENCES

Chapra, S. (2018). Applied Numerical Methods with MATLAB® for Engineers and Scientists, Fourth Edition, NY : McGraw-Hill Education.

Kadry, S. (2015). Modeling and simulation of bungee jumping. [www.researchgate.net/publication/277289421](http://www.researchgate.net/publication/277289421).

Kockelman, J.W. & Hubbard, M. (2004) Bungee jumping cord design using a simple model. Sports Engineering, 7 (2), 89–96.

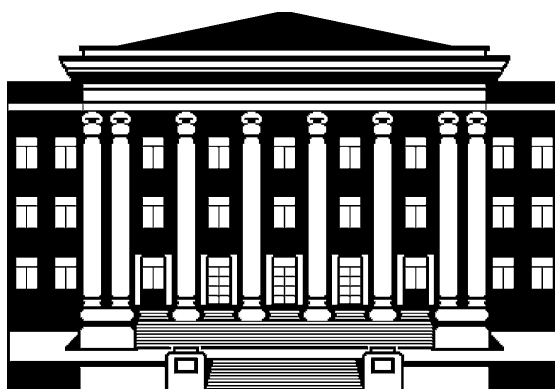
Li, Y., Lu, Z. (2013). Dynamic Analysis of Bungee Jumping. <https://core.ac.uk/download/pdf/212979557.pdf>.

Menz P. (1993). The Physics of bungee jumping, The Physics Teacher, 31, 483-487.

Vitliemov V., Bozduganova V., 2015. On-line lectures of computer modeling, “Angel Kanchev” University of Ruse (**Оригинално заглавие:** Витлиемов, В., Боздуганова, В. Електронни лекции по компютърно моделиране на Русенски Университет “Ангел Кънчев”) [https://e-learning.uni-ruse.bg/indexc.php?open\\_item=240024002350237023900680](https://e-learning.uni-ruse.bg/indexc.php?open_item=240024002350237023900680).

**UNIVERSITY OF RUSE „ANGEL KANCHEV“**

**UNION OF SCIENTISTS - RUSE**



**62-TH ANNUAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
OF UNIVERSITY OF RUSE „ANGEL KANCHEV“  
AND UNION OF SCIENTISTS – RUSE**

**OCTOBER 2023**

**I N V I T A T I O N**

**Ruse, 8 Studentska str.  
University of Ruse  
Bulgaria**



**PROCEEDINGS**  
**Volume 61, Series 2.2**

**Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies**

**Under the general editing of:**  
**Prof. Ivelin V. Ivanov, PhD**

**Editor of Volume 61:**  
**Prof. Diana Antonova, PhD**

**Bulgarian Nationality**  
**First Edition**

**Printing format: A5**  
**Number of copies: on-line**

**ISSN 1311-3321 (print)**  
**ISSN 2535-1028 (CD-ROM)**  
**ISSN 2603-4123 (on-line)**

The issue was included in the international ISSN database, available at <https://portal.issn.org/>.  
The online edition is registered in the portal ROAD scientific resources online open access



**PUBLISHING HOUSE**  
**University of Ruse "Angel Kanchev"**