

## **ԲԱՆԲԵՐ**

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՃԱՐՏԱՐԱԳԻՏԱԿԱՆ  
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

**Սերիա** ՄԵԽԱՆԻԿԱ, ՄԵՔԵՆԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ,  
ՄԵՔԵՆԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ

**Թողարկում** 17

**№** 2

Երևան 2014

---

## **ВЕСТНИК**

ГОСУДАРСТВЕННОГО ИНЖЕНЕРНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА АРМЕНИИ

**Серия** МЕХАНИКА, МАШИНОВЕДЕНИЕ,  
МАШИНОСТРОЕНИЕ

**Выпуск** 17

**№** 2

Ереван 2014

---

## **PROCEEDINGS**

OF STATE ENGINEERING UNIVERSITY  
OF ARMENIA

**Series** MECHANICS, MACHINE SCIENCE,  
MACHINE-BUILDING

**Issue** 17

**№** 2

Yerevan 2014

**Հանդեսը հրատարակվում է 1998 թվականից, սերիան՝ 2012 թ.**

**Բանբերի խմբագրական խորհուրդ.** Յու.Լ. Սարգսյան (գլխավոր խմբագիր, տ.գ.դ.), Հ.Ա. Թերզյան (գլխավոր խմբագրի տեղակալ, տ.գ.դ.), Ա.Խ. Գրիգորյան (գլխավոր խմբագրի տեղակալ, տ.գ.դ.), Ա.Գ. Ավետիսյան (պատասխանատու քարտուղար, տ.գ.դ.), Ս.Գ. Աղբալյան (տ.գ.դ.), Մ.Ք. Բաղդասարյան (տ.գ.դ.), Հ.Վ. Թոքմաջյան (տ.գ.դ.), Ն.Բ. Կնյազյան (տ.գ.դ.), Ս.Հ. Սիմոնյան (տ.գ.դ.), Ա.Շ. Խրիստաֆորյան (տ.գ.դ.)

**Սերիայի խմբագրական խորհուրդ.** Ա.Շ. Խրիստաֆորյան (սերիայի գլխավոր խմբագիր, տ.գ.դ.), Մ.Գ. Հարությունյան (սերիայի գլխավոր խմբագրի տեղակալ, տ.գ.թ.), Ա.Ս. Առուստամյան (սերիայի պատասխանատու քարտուղար, տ.գ.թ.), Վ.Հ. Առաքելյան (տ.գ.դ., Ֆրանսիա), Ա.Կ. Ամիրյան (տ.գ.դ.), Բ.Ս. Բալասանյան (տ.գ.դ.), Ա.Գ. Խառատյան (տ.գ.թ.), Ա.Ն. Միխայլով (տ.գ.դ., Ուկրաինա), Գ.Վ. Մուսայելյան (տ.գ.թ.), Ա.Բ. Պապոյան (տ.գ.դ.), Գ.Լ. Պետրոսյան (տ.գ.դ.), Մ.Գ. Ստակյան (տ.գ.դ.), Հ.Գ. Շեկյան (տ.գ.դ.), Լ.Ա. Շեկյան (ֆ-մ.գ.դ.)

խմբագիրներ՝ Ժ.Ս. Սեյրանյան, Հ.Յ. Պետրոսյան, Հ.Ջ. Ղազարյան

© Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարան (ՀՊՃՀ)  
«Ճարտարագետ» հրատարակչություն, հասցեն՝ 0009, Երևան, Տերյան 105, ՀՊՃՀ  
banber.seua.am

---

**Журнал издается с 1998 г., серия – с 2012 г.**

**Редакционная коллегия Вестника:** Ю.Л. Саркисян (главный редактор, д.т.н.), А.А. Терзян (зам. главного редактора, д.т.н.), А.Х. Григорян (зам. главного редактора, д.т.н.), А.Г. Аветисян (ответственный секретарь, д.т.н.), С.Г. Агбалиян (д.т.н.), М.К. Багдасарян (д.т.н.), Н.Б. Князян (д.т.н.), С.О. Симонян (д.т.н.), О.В. Токмаджян (д.т.н.), С.Ш. Христафорян (д.т.н.)

**Редакционная коллегия серии:** С.Ш. Христафорян (главный редактор серии, д.т.н.), М.Г. Арутюнян (зам. главного редактора серии, к.т.н.), А.М. Арустамян (ответственный секретарь серии, к.т.н.), А.К. Амирян (д.т.н.), В.А. Аракелян (д.т.н., Франция), Б.С. Баласанян (д.т.н.), А.Н. Михайлов (д.т.н., Украина), Г.В. Мусаелян (к.т.н.), А.Р. Папоян (д.т.н.), Г.Л. Петросян (д.т.н.), М.Г. Стакян (д.т.н.), А.Г. Харатян (к.т.н.), Г.Г. Шекиян (д.т.н.), Л.А. Шекиян (д.ф.-м.н.)

Редакторы: Ж.С. Сейранян, А.Ц. Петросян, А.З. Казарян

© Издательство Государственного инженерного университета Армении (ГИУА) “Чартарaget”, Адрес: 0009, Ереван, ул. Теряна 105, ГИУА  
vestnik.seua.am

---

**The journal has been published since 1998, the Series since 2012**

**Editorial Council of Proceedings:** Yu.L. Sarkissyan (Editor-in-chief, doctor of tech. sciences), H.A. Terzyan (vice Editor-in-chief, doctor of tech. sciences), A.Kh. Grigoryan (vice Editor-in-chief, doctor of tech. sciences), A.G. Avetisyan (responsible secretary, doctor of tech. sciences), S.G. Aghbalyan (doctor of tech. sciences), M.K. Baghdasaryan (doctor of tech. sciences), S.Sh. Khristaphoryan (doctor of tech. sciences), N.B. Knyazyan (doctor of tech. sciences), S.H. Simonyan (doctor of tech. sciences), H.V. Tokmajyan (doctor of tech. sciences)

**Editorial Council of the series:** S.Sh. Khristaforyan (Editor-in-chief of the Series, doctor of tech. sciences), M.G. Harutyunyan (vice Editor-in-chief of the Series, cand. of tech. sciences), A.M. Arustamyan (responsible secretary of the series, cand. of tech. sciences), B.H. Arakelyan (doctor of tech. sciences, France), A.K. Amiryan (doctor of tech. sciences), B.S. Balasanyan (doctor of tech. sciences), A.G. Kharatyan (cand. of tech. sciences), A.N. Mikhailov (doctor of tech. sciences, the Ukraine), G.V. Musayelyan (cand. of tech. sciences), A.R. Papoyan (doctor of tech. sciences), G.L. Petrosyan (doctor of tech. sciences), M.G. Stakyan (doctor of tech. sciences), H.G. Shekyan (doctor of tech. sciences), L.A. Shekyan (doctor of phys.-math. sciences)

Editors: Zh. S. Seyranyan, H.Ts. Petrosyan, H.Z. Ghazaryan

© State Engineering University of Armenia (SEUA) “Tchartaraget” Publishing House  
Address: 0009, Yerevan, 105 Teryan, SEUA  
proceedings.seua.am

ISSN 1829-3387

## ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Խմբագրի կողմից 6

### ԱԿՆԱՐԿԱՅԻՆ ՀՈԴՎԱԾՆԵՐ

**Քրիստափորյան Է.Ս., Արշակյան Ա.Լ., Խրիստաֆորյան Ս.Շ.**  
Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանում մեքենաշինության ուսումնա-արտադրական ինովացիոն համալիրի ստեղծման հնարավորության մասին 9

### ՄԵԽԱՆԻԿԱ

**Բելուբեկյան Մ.Վ., Սանոյան Յու.Գ.**  
Երկու մասից կազմված ուղղանկյուն սալի կայունությունը հաստատուն ջերմային դաշտում 25

### ՄԵՔԵՆԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

**Պետրոսյան Գ.Լ., Ազարյան Լ.Ա., Առուստամյան Ա.Մ., Կարապետյան Ա.Կ.**  
Հալակային տարբեր պայմանների դեպքում եռակալված գլանի նստեցման գործընթացի հետազոտումը 32

**Շեկյան Հ.Գ., Գևորգյան Վ.Ռ.**  
Ներքին այրման շարժիչների փականային զսպանակների ծառայության ժամկետի որոշման հարցի մասին՝ հոգնածային մաշման հաշվառումով 42

**Զաքարյան Ն.Բ.**  
Մարդու քայլքի հարթ մեխանիզմի դինամիկական վերլուծություն՝ օղակների և հողերի էլաստիկության հաշվառմամբ 49

### ՄԵՔԵՆԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ

**Գալոնսկա Մ.Կ., Պրեյս Վ.Վ., Բալասանյան Բ.Ս.**  
Պտտվող ձագարներով ռոտորային բունկերային բեռնավորող սարքերի կատարելագործումը հատային առարկաների մշակման համար 56

**Մակարով Վ.Ֆ., Նիկիտին Ս.Պ., Սակաև Ա.Խ.**  
Թվային ծրագրավորմամբ կառավարման հաստոցի վրա խոր հղկման մեթոդով գազատուրբինային շարժիչների մասերի մշակման որոշ հարցեր 64

**Հայրապետյան Վ.Ժ., Հովհաննիսյան Վ.Մ., Մովսիսյան Ա.Վ., Փարսյան Է.Ա.**  
Խառատա-կարուսելային հաստոցների հիմնական տեխնիկական պարամետրերի հետազոտություն 72

**Մուրաֆյան Լ.Հ.**  
Կտրող գործիքի երկրաչափության ազդեցությունը մշակված մակերևույթի խորդուբորդությունների վրա մետաղների ընդհատ կտրման դեպքում 81

**Հակոբյան Մ.Գ.**  
Էլեկտրաէրոզիոն մշակումը հատուկ էմուլսիոն աշխատանքային հեղուկներում 87

**Հեղինակների ցուցակ** 95  
**Հոդվածների ձևավորման կանոնները** 98

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>От редактора</b>	7
<b>ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ</b>	
<b>Христафорян Э.С., Аршакян А.Л., Христафорян С.Ш.</b> О возможности создания инновационного учебно-производственного комплекса машиностроения в Государственном инженерном университете Армении	9
<b>МЕХАНИКА</b>	
<b>Белубекян М.В., Саноян Ю.Г.</b> Устойчивость прямоугольной пластины из двух частей в постоянном температурном поле	25
<b>МАШИНОВЕДЕНИЕ</b>	
<b>Петросян Г.Л., Азарян Л.А., Арустамян А.М., Карапетян А.К.</b> Исследование процесса осадки спеченного цилиндра при различных контактных условиях	32
<b>Шекян Г.Г., Геворгян В.Р.</b> К вопросу определения срока службы клапанных пружин двигателей внутреннего сгорания с учетом усталостного износа	42
<b>Закарян Н.Б.</b> Динамический анализ плоского механизма ходьбы человека с учетом эластичности звеньев и суставов	49
<b>МАШИНОСТРОЕНИЕ</b>	
<b>Галонска М.К., Преис В.В., Баласаниян Б.С.</b> Совершенствование роторных бункерных загрузочных устройств с вращающимися воронками для штучных предметов обработки	56
<b>Макаров В.Ф., Никитин С.П., Сакаев А.Х.</b> Некоторые вопросы обработки деталей газотурбинных двигателей методом глубинного шлифования на станке с числовым программным управлением	64
<b>Айрапетян В.Ж., Оганесян В.М., Мовсисян А.В., Парсян Э.А.</b> Исследование основных технических параметров токарно-карусельных станков	72
<b>Мутафян Л.А.</b> Влияние геометрии режущего инструмента на шероховатость обработанной поверхности при прерывистом резании металлов	81
<b>Акопян М.Г.</b> Электроэрозионная обработка в специальных эмульсионных рабочих жидкостях	87
<b>Список авторов</b>	96
<b>Правила оформления статей</b>	99

## CONTENT

<b>Editorial</b>	8
------------------	---

### REVIEW PAPERS

<b>Qristaphoryan E.S., Arshakyan A.L., S.Sh. Khristaforyan</b> The Possibility of Establishing an Innovative Machine Building Educational-industrial Complex in State Engineering University of Armenia	9
--	---

### MECHANICS

<b>Belubekyan M.V., Sanoyan Yu.G.</b> Stability of a Rectangular Two-part-plate in a Constant Temperature Field	25
--	----

### MACHINE SCIENCE

<b>Petrosyan G.L., Azarya L.A., Arustamyan A.M., Karapetyan A.K.</b> Investigating the Upsetting Process of the Sintered Cylinder under Different Contact Conditions	32
<b>Shekryan H.G., Gevorgyan V.R.</b> On Determining the Durability of Valve Springs of Internal Combustion Engines at the Fatigue Wear	42
<b>Zakaryan N.B.</b> Dynamic Analysis of the Plain Biped Walking Mechanism Taking into Account the Elasticity of Links and Joints	49

### MACHINE-BUILDING

<b>Galonska M.K., Preys V.V., Balasanyan B.S.</b> Improving the Rotor Hopper Charging Device with Revolving Funnels for Piece Object Machining	56
<b>Makarov V.F., Nikitin S.P., Sakaev A.Kh.</b> Some Issues on Machining Parts of Gas Turbine Engines by the Method of Deep Grinding on Machine Tools with Numerical Control	64
<b>Hayrapetyan V.Zh., Hovhannisyan V.M., Movsisyan A.V., Parsyan E.A.</b> Investigating the Main Technical Parameters of Boring Lathes	72
<b>Mutafyan L.H.</b> Impact of the Cutting Tool Geometry on the Roughness of the Machined Surface at Intermittent Metal Cutting	81
<b>Hakobyan M.G.</b> Electric Discharge Machining in Special Emulsion Working Fluids	87
<b>List of the authors</b>	97
<b>Rules for preparing the manuscripts</b>	100

## Խմբագրի կողմից

**ՀՊՃՀ “Բանբեր” ամսագրի “Մեխանիկա, մեքենագիտություն, մեքենաշինություն”** սերիայի սույն համարը նվիրված է ժամանակակից տեխնիկայի նախագծման և մեքենաշինական տեխնոլոգիաների զարգացման մի շարք հարցերի լուսաբանմանը: Ներկայացված նյութերը շոշափում են ժամանակակից արտադրության առավել ուշագրավ հիմնախնդիրները, զարգացնում տեսական և գործնական հարցադրումներ: Ակնարկային հոդվածը նվիրված է ՀՀ-ի մեքենաշինական արդյունաբերության համար կադրերի պատրաստման հարցերի վերլուծությանը երկրի արդյունաբերության զարգացման համատեքստում: Բերված են հիմնավորված մոտեցումներ՝ ՀՊՃՀ-ում ուսումնա-արտադրական համալիրի ստեղծման առումով, որի հիմքի վրա հնարավոր կլինի ՀՀ արդյունաբերության համար մետաղամշակման մասնագետների պատրաստումը, ինչպես նաև ՀՀ արդյունաբերության կողմնորոշումը ժամանակակից գործիքային սարքավորանքների արտադրությանը՝ պլաստմասսե արտադրանքների համաշխարհային արտադրողների համար:

Խմբագրական խորհուրդը տեղեկացնում է, որ սերիայի այս համարը նվիրված է Հայաստանի ճարտարագիտական կադրերի դարբնոցի՝ ՀՊՃՀ (Պալիտեխնիկ)-ի մեխանիկամեքենաշինական ֆակուլտետի հիմնադրման 70-ամյակին: Հոբելյանական միջոցառումների ծրագրով իրականացվել է “Մեքենաշինական տեխնոլոգիաներ և ավտոմատացման տեխնիկա – 2014” խորագրով միջազգային գիտատեխնիկական համաժողով, ինչպես նաև հանդիսավոր նիստ և ֆակուլտետի կոլեկտիվի հանդիպումը գիտական շրջանների հետ: Հրավիրում ենք հանրապետության գիտնականներին և արդյունաբերության աշխատողներին՝ մասնակցելու հանդիսավոր միջոցառումներին:

*Սերիայի գլխավոր խմբագիր՝ Ս.Շ.Խրիստոֆորյան*

## От редактора

Настоящий номер **Вестника ГИУА - Серия “Механика, Машиноведение, Машиностроение”** посвящен ряду вопросов развития теории и проектирования современной техники и машиностроительных технологий. Отобранные материалы затрагивают весьма интересные проблемы современного производства, развивают вопросы теории и практики. В обзорной статье рассматриваются вопросы подготовки кадров для машиностроительной промышленности РА в контексте острой необходимости промышленного развития страны; приведены обоснованные соображения по созданию учебно-производственного комплекса ГИУА, на базе которого будет возможной подготовка специалистов металлообработки для промышленности РА; дан анализ целесообразности ориентации промышленности РА на производство современной инструментальной оснастки для мировых производителей изделий из пластмасс.

Редакционная коллегия информирует, что настоящий номер серии посвящен славному юбилею – 70-летию основания Механико-машиностроительного факультета кузницы инженерных кадров РА – Государственного инженерного университета Армении (Политехник). В рамках программы мероприятий были проведены Международная научно-техническая конференция “Машиностроительные технологии и техника автоматизации - 2014”, а также торжественное заседание и встреча коллектива факультета и выпускников. Приглашаем ученых и производственников РА участвовать в последующих торжественных мероприятиях.

*Главный редактор серии С.Ш. Христафорян*

## **Editorial**

The present issue of the **Proceedings of SEUA - Series "Mechanics, Machine Science, Machine-building"** is devoted to a number of problems concerning the development of the theory and design of modern equipment and machine building technologies. The selected materials touch upon rather interesting problems of modern production, develop issues of theory and practice. The review article considers the issues of training specialists for the machine building industry in RA in the context of an urgent need for the industrial development of the country. Substantiated considerations for the creation of an educational-industrial complex of SEUA are introduced. Based on the latter, it will be possible to train specialists for the metalworking industry in RA. The expedience of the Armenian industry orientation to the production of up-to-date tools for the world manufacturers of plastic products is analyzed.

The editorial staff is glad to inform that the present issue of the Series is devoted to the glorious 70th anniversary of the Faculty of Mechanical Engineering – Machine Building of State Engineering University of Armenia (Polytechnic) – a forge for training engineering personnel of RA. In the frames of the program of celebrations, an International Scientific and Technical Conference "Machine Building Technologies and Automation Equipment - 2014", as well as a ceremonial session with participation of the faculty staff and graduates have been held. We invite scientists and manufacturers of Armenia to participate in the further celebration events.

*Editor-in-chief of the Series S.Sh. Khristaforyan*



УДК 621.9

## **О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО УЧЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА МАШИНОСТРОЕНИЯ В ГОСУДАРСТВЕННОМ ИНЖЕНЕРНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ АРМЕНИИ**

**Э.С. Христафорян, А.Л. Аршакян, С.Ш. Христафорян**

*Государственный инженерный университет Армении (Политехник)*

Рассмотрены вопросы подготовки кадров для машиностроительной промышленности РА в контексте острой необходимости промышленного развития страны. Обоснованы соображения по созданию инновационного учебно-производственного комплекса машиностроения Государственного инженерного университета Армении (ГИУА), на базе которого станет возможной подготовка специалистов металлообработки для промышленности РА. Показана целесообразность ориентации промышленности РА на производство современной инструментальной оснастки для мировых производителей изделий из пластмасс. Проведен подробный стратегический и финансово-экономический анализ возможности создания проекта производства технологической оснастки на базе факультета Машиностроения ГИУА.

**Ключевые слова:** инженерное образование, металлообработка, учебно-производственный комплекс, автокомпоненты, пластмассы.

**Введение.** В настоящее время мир техники и техносферы стремительно развивается и обновляется, и эти процессы непрерывно активизируются и углубляются в связи с глобализацией экономики и отношений. При этом возникающие изменения в техносфере настолько глубоки и существенны, что требуют всестороннего и постоянного анализа происходящих процессов и выработки адекватных решений, в том числе и в вопросе полноценного инженерного образования. Для решения насущных проблем машиностроения Республики Армения необходим диалог между учеными, специалистами высшей школы и производителями, что востребовано реалиями XXI века.

Современное состояние промышленности РА характеризуется тем, что, по существу, специалисты металлообработки – основы машиностроения – имеют или очень высокий средний возраст, или они просто отсутствуют, а производства, допускающие возможность металлообработки, или малочисленны и разрознены, или по своим возможностям устарели и отстают от современных тенденций мирового машиностроения. Если учитывать реалии машиностроения

в РА к концу 80-ых годов прошлого столетия [1], то теперешнее положение дел, имеющее свои причины, плачевно, и для современных условий необходимо восстановить, хотя бы частично, прежние достижения. При этом надо взять в расчет множество факторов, учитывающих реалии логистических показателей с позиций организации вопросов подготовки кадров, транспортные проблемы, геополитические и пр. Исходя из сказанного, в первую очередь, необходимо уделить внимание вопросам машиностроительного образования, а также возможности организации маломатериалоемкого, но наукоемкого и высокорентабельного производства специальной оснастки.

В 2014 году факультет Машиностроения ГИУА отмечает славный юбилей – 70-летие организации Механико-машиностроительного факультета в ГИУА. В контексте вышеотмеченного следует провести анализ пройденного пути, достигнутых достижений, современного состояния факультета и перспектив развития машиностроительного образования и науки.

*Исторический экскурс.* В 1944 году при Ереванском политехническом институте им. К.Маркса был организован Механический факультет со специальностью “Технология машиностроения”, а в 1945 формируются кафедры факультета – “Металлорежущие станки и обработка резанием”, “Детали машин”, “Теории машин и механизмов” и “Металловедение и технология металлов”. Для организации подготовки инженерных кадров были приглашены специалисты из различных сфер промышленности Армении и других городов СССР, среди них: К.П. Стаев (лауреат Сталинской премии), С.А. Салтыков, М.В. Касьян, А.А. Мирзоян, А.М. Аванесов, Г.Л. Торгомян. В 1949 году факультет дал первый выпуск инженеров по специальности “Технология машиностроения”, За короткий промежуток времени наши специалисты получили заслуженные оценки как в Армении, так и в других странах СССР.

К концу 60-ых годов в республике стали бурно развиваться отрасли машиностроения и приборостроения, в особенности электромашиностроение и станкостроение. Формируются новые промышленные предприятия, научно-исследовательские и проектные институты, в том числе союзного подчинения. В таких условиях возникла острая проблема инженерных кадров. Прием в институт по специальности “Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты” достиг 800 студентов, а на Механический факультет, который в 1961 г. был переименован в Механико-машиностроительный (ММФ), – до пятисот. Надо отметить, что в этот период подготовка инженеров-машиностроителей и механиков осуществлялась и в системе вечернего и заочного образования, а также в филиалах ЕрПИ в городах Ленинакан и Кировакан и на Ереванском заводе “Армэлектромаш”, а в дальнейшем – и в филиале в г. Горис.

Такое количество инженеров не удовлетворяло все возрастающий спрос со стороны промышленности. Друг за другом стали открываться новые специальности: “Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты” (1944), “Строительные и дорожные машины и оборудование” (1959), “Машины и аппараты химической промышленности” (1960), “Литейное производство черных и цветных металлов” (1960), “Машины и технология литейного производства” (1960), “Машины и технологии обработки материалов давлением” (1961), “Автомобили и тракторы” (1965), “Автоматизация и комплексная механизация машиностроения” (1965), “Материаловедение, машины и аппараты термообработки” (1965), “Машины и аппараты пищевых производств” (1966), “Холодильные и компрессорные машины и оборудование” (1967), “Экономика и организация машиностроительной промышленности” (1967) [1].

В 80-ых годах ММФ стал одним из крупнейших в ЕрПИ, а количество студентов перевалило за 2000. Из 12 кафедр 7 были специализирующими, число сотрудников факультета составляло 277 человек, из них 167 преподавателей, 60% которых имели ученые степени и звания, в том числе 7 докторов технических наук. К этому времени факультет подготовил для страны 4667 инженеров. Только по специальности “Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты” было подготовлено 3749 инженеров, а если учитывать вечернее (1591) и заочное (705) образование, то эта цифра составит 5965.

Со дня основания кафедры “Технология машиностроения”, заведующим которой в течение почти 40 лет являлся академик АН Армянской ССР, доктор технических наук, профессор М.В. Касьян, началось развитие машиностроительной науки в Армении. Заслуги М.В. Касьяна в деле развития науки и машиностроительной промышленности, а также в подготовке высококвалифицированных кадров для развивающейся республики трудно поддаются оценке. Достаточно отметить, что он был руководителем более чем 160 докторских и кандидатских диссертаций. Среди подготовленных специалистов были не только сотрудники ЕрПИ и его филиалов, но и армия специалистов из научно-исследовательских институтов и производственных организаций. Основными направлениями научных изысканий в машиностроении являлись [1]: развитие теории резания [2-9], оптимизация процессов резания [10-12]. Проводились исследования: прерывистого резания, в области электрофизических методов обработки [6,13,14], резания с применением ультразвука в вакууме и газовых средах [4], деформационного упрочнения [15] и др. Результаты многих исследований и проектные разработки были внедрены в производство и отмечены многочисленными дипломами и премиями.

Однако в конце XX века, несмотря на достаточное количество студентов, интерес выпускников образовательных школ к инженерным специальностям сильно упал. Только благодаря разумному руководству уже Государственного инженерного университета Армении и стараниям коллектива факультета, а также после закрытия специальности “Приборостроение” со специализацией “Космическое приборостроение” удалось сохранить факультет Машиностроения и проводить образование на трех уровнях – бакалавр, магистр, инженер-исследователь. Первые же защиты магистерских диссертаций, защита докторской диссертации по разработке новейшей теории резания и нескольких кандидатских диссертаций показали, что фундамент, заложенный академиком М.В. Касьяном для дальнейшего развития образовательного цикла и науки, не является призрачным. К началу нового тысячелетия факультет выполнял три финансируемые научно-исследовательские работы, а его сотрудники активно начали публиковаться и получать патенты РА. Такая работа дала свои результаты, и в 2003 году сотрудники факультета по итогам десятилетия получили две первые премии за лучшую публикацию (Христафорян С.Ш.) и за лучший патент (Христафорян С.Ш., Баласанян Б.С.). Тогда же была защищена еще одна докторская диссертация в области ультразвукового резания (Баласанян Б.С.), автор которой подготовил еще двух докторов наук и несколько кандидатов технических наук.

Конец XX века по объективным причинам был не лучшим в деле развития и совершенствования образования и науки. Разрыв экономических связей и ограниченные возможности в поставках сырья для машиностроения привели к резкому сокращению приоритетной отрасли промышленности РА. Многие предприятия оказались банкротами, а другие сворачивали производство ввиду отсутствия спроса. Разумеется, такое состояние дел отразилось как на высшем образовании, так и на научных достижениях в сфере машиностроения. Однако заметим, что машиностроение – это отрасль, которая, по существу, является основой всей промышленности любой страны, и поэтому в списках передовых государств все позиции занимают страны с передовым или хотя бы с каким-то машиностроением, так как без машиностроительных технологий и специалистов этой отрасли промышленности невозможно производить большинство выпускаемой продукции – от разовых шприцов до систем обороны.

**Создание базовой лаборатории.** В контексте отмеченного заметим, что в начале века начали формироваться в Армении ряд производств, которые в условиях глобализации производства успешно конкурировали с другими странами в деле производства специальной оснастки и инструмента на основе современных технологий проектирования и производства. Зарождение таких очагов высоких технологий вызвало сдвиги в деле машиностроительного образования и в вопросах интенсификации научных изысканий. В качестве

примера можно привести АОЗТ “Гоар”, руководство которого бережно относилось к вопросу подготовки инженерных и научных кадров. Так, благодаря усилиям АОЗТ “Гоар” в ГИУА и на предприятии были открыты специальные аудитории для обучения современным информационным технологиям в проектировании машиностроительной оснастки и технологий – CAD\CAM\CAE. Были заключены договора на оснащение оборудованием лаборатории гидро- и пневмо- автоматики в ГИУА. Представители промышленности и студенты факультета получили возможность проходить подготовку на современном лабораторном оборудовании. Лаборатория должна была стать центром FESTO в регионе наподобие центров в различных странах. Договора были заключены на высоком уровне, но по ряду причин центр FESTO не состоялся.

В 2003 году Правительство РА для сохранения научного потенциала РА и выполнения финансируемых из бюджета научно-исследовательских работ, имеющих важнейшее научно-прикладное значение для РА, объявило конкурс. Заявка, представленная от Машиностроительного факультета ГИУА по теме “Реологические основы совершенствования современных технологий машиностроения”, в 2004 году была утверждена в качестве приоритетной. На основании постановления Правительства РА в ГИУА была организована базовая лаборатория “Машиностроительные технологии” под руководством профессора Христафоряна С.Ш. Отметим, что этим постановлением была восстановлена деятельность проблемной лаборатории академика НАН РА М.В. Касьяна.

**Организация конференций.** Оказанное столь высокое доверие предполагало скорейшее восстановление авторитета научной школы М.В. Касьяна, и в 2006 году кафедра “Автоматизация и комплексная механизация машиностроения” и базовая лаборатория “Машиностроительные технологии”, а также АОЗТ “Гоар” решением Совета Международного союза машиностроителей (IUMB) приняты в коллективные члены Союза (протокол 19 от 14.09.2006). В том же году на Международной научно-технической конференции (МНТК) “Машиностроение и техносфера XXI века” из представленных учеными и производственниками РА 6-ти научных докладов два удостоились дипломов второй степени, а научный руководитель лаборатории был принят в члены Совета IUMB. Пленарный доклад о состоянии машиностроительной науки, производства и образования в РА удостоился самой высокой оценки. Большинство участников конференции (168 д.т.н., 211 к.т.н. и руководители производственных объединений из 21 страны) были удивлены, что АОЗТ “Гоар” производит пресс-формы для автомобильной промышленности Германии. Начало было поставлено. Были сформированы деловые научно-образовательные контакты с передовыми научными центрами и университетами стран СНГ и дальнего зарубежья. В последующем ученые ГИУА активно

сотрудничали с IUMB, участвовали на всех МНТК “Машиностроение и техносфера XXI века”, множество их докладов были удостоены различных дипломов конференций, а в РА было организовано представительство IUMB. Отметим, что решением Совета Международного союза машиностроителей (протокол 23 от 03. 09. 2008) по итогам деятельности за три года ГИУА был удостоен диплома первой степени за заслуги в развитии машиностроения и международное сотрудничество. Среди производственных предприятий диплома первой степени удостоился Снежанский машиностроительный завод, диплома второй степени – Военно-техническая академия Румынии и Российский фонд развития науки, а диплома третьей степени – Брянский технический университет и Ярославский моторный завод.

Разумеется, такое начало восстановления утерянных связей в обязательном порядке должно было привести к положительным сдвигам. В 2008 году в РА была организована первая МНТК “Машиностроительные технологии и техника автоматизации -2008”, в 2012 году – третья конференция, посвященная 80-летию ГИУА (Политехник), в 2014 году – конференция, посвященная 70-летию факультета. На МНТК были приглашены председатель IUMB проф. А.Н. Михайлов, председатель Ассоциации технологов-машиностроителей РФ проф. А.Г. Суслов, ректоры технических университетов, руководители научно-исследовательских институтов и предприятий из стран СНГ и имеющие высокий научный рейтинг специалисты из стран СНГ, Германии, Польши и других стран. В работах МНТК приняли также участие более 80 докторов технических наук, более 120 кандидатов технических наук и молодые ученые. На основе материалов конференций было издано четыре сборника научных трудов МНТК в среднем по 16 печатных листов каждый, а пленарным докладом МНТК 2012 года был посвящен отдельный номер журнала “Научно-технические технологии машиностроения”, издаваемого издательством “Машиностроение”. К сожалению, весьма скромным было участие производственных организаций Армении.

С начала XXI века ученые ГИУА на основе синергетики и неравновесной термодинамики достигли высоких результатов в развитии теории резания и многолезвийного резания, эмульгирования, формировании триботехнических структур на прецизионных поверхностях, упрочняющих технологиях и др. Совместно с Магдебургским университетом им. Otto-fon Gerike в рамках гранта VOLKSWAGENA проводятся исследования по разработке технологий изготовления двигателей внутреннего сгорания. Продолжается сотрудничество с учеными из Минска, Брянска, Тулы, Ярославля и др.

Следует заметить, что мощнейшая школа ученых-машиностроителей весьма оскудела, и ей нужны активные реанимационные действия. Так, например, АОЗТ “Интерстанок”, по существу, не имеет сотрудников, имеющих ученые степени, и

это тогда, когда при ГИУА действует специализированный докторский совет по специальности 05.02.03 – “Технологии и оборудование машиностроительного производства” (председатель – академик НАН РА Ю.Л. Саркисян). Этот вопрос должен всегда находиться в поле зрения руководства РА, и при его надлежащем внимании в ГИУА можно обеспечить подготовку ученых-специалистов, хотя бы в качестве соискателей, так как есть специалисты высокой квалификации, имеющие многолетний опыт успешной подготовки ученых-машиностроителей и машиноведов как в аспирантуре, так и в качестве соискательства.

***Перспективы машиностроительной науки и образования в РА.*** Мировое производство для поддержания темпов развития требует все большего количества высококлассных инженеров-технологов и ученых машиностроительного профиля, т.к. на технологиях машиностроения держится основная часть мирового производства – от роботов в медицине до роботов сборки автомобилей, от танкеров до машин легкой промышленности, от оборудования для энергетики до летательной и подводной техники. Это та сфера, где могут принять участие и специалисты РА, так как благодаря информационным технологиям профильные, мобильные коллективы специалистов РА могут принять достойное участие в проектировании оборудования, организации и обслуживании мирового производства, а также в научных изысканиях и пр.

Для этого, в первую очередь, необходима подготовка на достойном уровне инженерных кадров, операторов современного оборудования, педагогических кадров и ученых с одновременным развитием машиностроительного комплекса РА. На основе вышеизложенного предлагается концепция создания на базе ГИУА учебно-производственного комплекса (УПК), деятельность которого будет направлена на предоставление “последовательности ценностных услуг” наподобие “Технопарка”, а также на подготовку соответствующих кадров для промышленности РА. Разумеется, предложение требует обоснования по ряду параметров, характерных для мировой промышленности.

В последние годы наблюдается стремительное расширение ассортимента изделий из пластмассы, как, например, предметов для пищевой и медицинской промышленности, автомобилестроения, бытовой электроники, всех отраслей оборонной промышленности и т.д. В условиях конкуренции изготовители комплектной оснастки (ИКО) стремятся расширить свои рынки сбыта в мировом масштабе, что выражается в расширении перечня требований к качеству и в сокращении производственного цикла. Но такие производства консервативны и малоэффективны с позиций готовности к модернизации и переходу на новый организационный и производственный уровень, т.е. производство, созданное "с нуля", изначально будет максимально соответствовать мировым современным

требованиям и тенденциям сферы переработки пластмасс, что является весомым конкурентным преимуществом. Поэтому в этом сегменте рынка перспективы развития надо оценивать как однозначно положительные.

Адаптация к стремительным переменам на рынке является необходимым условием выживания изготовителей, специальной техники, в частности пресс-форм. Перемены затронули также сферу культуры изготовления форм, и если в прошлом эта индустрия носила скорее характер ремесла, требующего высокого мастерства персонала, то сейчас это высокотехнологичное производство, где нужны новейшие системы проектирования, программирования и моделирования, современные технологии механообработки и внедрения оптимальных моделей управления и планирования. То есть, в новых условиях и известных масштабах конкуренции изготовители пресс-форм не могут далее полагаться на старые модели бизнеса. Для того чтобы выжить в новых условиях рынка, им нужно нацелиться на завоевание определенных ниш на создание специализированных продуктов и процессов и разработку адекватной маркетинговой политики. Надо учесть, что пресс-формы – это маломатериалоемкий, наукоемкий продукт.

*Инициатор и участники проекта.* Инициатор проекта – Государственный инженерный университет Армении. Реализацию проекта предлагается осуществить на базе лабораторного корпуса факультета Машиностроения. Корпус 8 ГИУА – четырехэтажное здание с производственной площадью более 1000 кв.м. Имеется независимое энергообеспечение и часть инженерно-технических коммуникаций корпуса. Большая часть оборудования после проведения дефектовки и ремонта может быть использована в основном производстве для комплектации заготовительного участка и практического обучения специалистов. Участники проекта – профессорско-преподавательский состав факультета Машиностроения ГИУА, а также инициативная группа выпускников ГИУА, имеющая значительный опыт организации производства инструментальной оснастки и многолетний опыт работы как на аналогичных предприятиях страны, так и на иностранных предприятиях-производителях пресс-форм и штампов. Команда специалистов имеет обширные связи среди изготовителей и потребителей продукции инструментального производства как в странах СНГ, так и в странах дальнего зарубежья (Германия, Австрия, ОАЭ и др.). Командой были успешно реализованы проекты для таких разработчиков автокомпонентов, как Ford, MAN, Volvo, VW, Audi и др. Высокий профессиональный уровень и исполнительная дисциплина команды отмечены бизнес-сообществом многими дипломами и грамотами. Партнерские связи с западными производителями оснастки обусловят привлечение инновационных технологий проектирования, обработки и контроля качества на всех этапах как становления, так и дальнейшего развития учебно-производственного комплекса.



*Образовательный центр УПК.* Высококвалифицированная рабочая сила есть и будет одним из важнейших факторов, определяющих успех процесса изготовления форм. Изготовители пресс-форм и механики – это специалисты, предоставляющие ценнейшие услуги на производственной базе. Планируется создание образовательного центра для студентов в ГИУА по направлениям: промышленный дизайн, CAD/CAM/CAE моделирование, проектирование и программирование, современные технологии механообработки (CNC Milling, EDM и др.), измерения и стандартизация, планирование, управление и т.д.

Студенты будут регулярно посещать специальные занятия по программированию, обучаться работе на измерительных системах, оборудовании для испытания пресс-форм и т.д. УПК будет предоставляться возможность получения теоретических и практических навыков работы на современных термопласт-автоматах. По предварительной оценке, полный учебный курс займет примерно 1,5...2 года, а число студентов составит более 80 человек в год. Лучшим выпускникам будет предложено продолжить обучение в ГИУА по программам бакалаврского и магистерского обучения, многие будут востребованы и в иностранных компаниях.

Целью УПК является формирование в регионе научно-образовательного и инновационного кластера для повышения качества проведения практикумов, различных практик студентов, а также профессиональная подготовка студентов по рабочим профессиям в рамках требований современных образовательных стандартов. Для достижения цели необходимо решение следующих задач:

1. Формирование новой генерации специалистов, готовых с использованием современных технологий создавать и развивать новые направления экономики.
2. Организация современной инженерной подготовки, сочетающей в себе техническое и управленческое образование. При этом необходимо сохранить традиции инженерного образования - фундаментальную подготовку, позволяющую выпускникам решать комплексные проблемы, выходящие за рамки узкой специализации.
3. Достижение мирового уровня качества разработок и научных исследований, обеспечивающих модернизацию и реструктуризацию действующих производств, внедрение современных высокоэффективных технологий.
4. Интернационализация образовательного процесса, включая привлечение иностранных студентов, преподавателей и исследователей.
5. Превращение УПК в инновационное ядро – создание инфраструктуры поддержки инновационной деятельности (технопарк, консалтинг, экспертизы, структуры обучения, сертификация) и малых наукоемких бизнесов.

В задачи УПК входит и организация учебно-производственных мастерских по производству товаров и услуг, обеспечивающих в соответствии с учебными планами и программами профессиональную подготовку студентов факультета; проектирование, конструирование, разработка технологий и изготовление изделий, приспособлений и наглядных пособий для образовательного процесса факультета; организация выполнения практической части дипломных проектов и исследований студентами факультета на базе УПК. Доходы от деятельности УПК будут частично направлены на развитие системы адресной поддержки студентов и аспирантов, показывающих высокий уровень образовательных и научных результатов, а также на предоставление грантов на обучение, оплату сопутствующих обучению расходов, участие в стажировках за границей.

*Основные направления деятельности подразделений УПК:* проведение практикумов со студентами по рабочим профессиям, формирование у них профессиональных навыков; повышение квалификации студентов по рабочим профессиям; сотрудничество с кафедрами факультета по разработке и практическому выполнению дипломных проектов; производство и ремонт наглядных пособий, лабораторного оборудования, тренажеров, стендов и различных изделий для оснащения образовательного процесса; организация профессиональной подготовки студентов при технологических и производственных практиках по рабочим профессиям; инженерный анализ и реверсивный инжиниринг, изготовление образцов и прототипирование.

*Учебная деятельность УПК направлена на:* обучение практическим навыкам работы на современных станках с числовым программным управлением (ЧПУ) и обрабатывающих центрах с применением программированного проектирования; наглядную демонстрацию возможностей, диагностики и ремонта, разработки и отладки программ для станков с ЧПУ при подготовке операторов и технологов; подготовку кадров начального и среднего профессионального уровня; повышение квалификации и переподготовки специалистов предприятий машиностроения; инженерное проектирование и технологическое сопровождение изготовления изделий сложной формы; разработку управляющих программ для станков с ЧПУ и обрабатывающих центров; внедрение современных пакетов прикладных программ при производстве и проектировании изделий машиностроения; изготовление наукоемкой продукции по заказам юридических и физических лиц; повышение возможностей факультета и ГИУА в подготовке научных и педагогических кадров для факультета.

При реализации проекта наряду с учебной деятельностью УПК может предоставлять и иные услуги, которые соответствуют понятию “Технопарк”.

*Услуги УПК по проектированию.* Приоритетным является создание полного цикла изготовления пресс-форм. Как правило, работа в этой сфере начинается с

образца или чертежа изделия, предоставляемого клиентом. Техническая информация, предоставляемая заказчиком изготовителю пресс-форм, сильно варьируется в зависимости от природы бизнеса традиционного заказчика. Нужно создать группу проектировщиков-инженеров, работающих в области современного 3D автоматизированного проектирования и моделирования с использованием вспомогательных программных пакетов. Компьютерное программирование и специальное обучение в этой области являются существенным фактором для достижения результатов в этой сфере.

*Производство опытных образцов и базы для испытания* являются важной частью конструирования и испытания пресс-формы. Нужно создать базу программного и инструментального обеспечения этой составляющей бизнеса. Известные программные пакеты позволяют полностью моделировать реальные процессы с помощью компьютера, что позволит параллельно проектировать детали формы, проводить их оценку и определять их качество. Компьютерное моделирование процессов изготовления пресс-формы даст возможность выявить уже на самых ранних стадиях проектирования недоработки, что значительно облегчит процесс производства опытных образцов и процесс тестирования отдельных элементов и узлов еще до начала изготовления формы. Необходимо также создание метрологической лаборатории для проверки всех параметров пресс-формы и проведения испытаний в соответствии с требованиями заказчика.

*Технические проекты.* В отличие от проектирования в промышленности, где предоставляется окончательная версия конструкторской и технологической документации, многие заказы поступают к изготовителям в виде чертежей, не снабженных техническими деталями. Важно создать структуру, позволяющую быстро адаптировать эти заказы к требованиям и условиям любого другого изготовителя. На этом рынке преимущество обеспечивается способностью предоставить заказчику техническую поддержку на всех этапах производства, что значительно повышает ценность предоставляемых услуг. Фирмы ИКО стремятся сократить свои проектные отделы, так что способность предлагать технические проекты и программное обеспечение для станков и технологий изготовления деталей приобретает особую важность для изготовителей форм. Как и в случае двух приведенных видов услуг, здесь очень важна способность применять новейшие программы, отвечающие международным стандартам.

*Изготовление пресс-форм.* Укрепление производственной базы требует максимального привлечения инвестиций в различные процессы производства (станки, инструменты, технологии и т.д.), в программное обеспечение и в то, что связано с особенностями предоставления услуг заказчику. Например, общение (интерактивное) с заказчиком может ускорить процессы и повысить уровень их автоматизации. Усилия центра в перспективе будут направлены на расширение

бизнеса путем внедрения дополнительных услуг, но мы полагаем, что именно изготовление пресс-форм будет основным генератором прибылей в ближайшем будущем. Проект организации производства автокомпонентной оснастки основан на применении современной технологии, участии в организации процесса специалистов с большим опытом в сфере технологий производства.

*Интеграция в ряды передовых мировых производителей.* Планируется приглашать как представителей ведущих компаний в области станкостроения и производства инструмента, так и разработчиков программного обеспечения для проведения семинаров и тренингов относительно продукции, производимой и рекламируемой ими, что позволит повысить уровень производительности труда и квалификации персонала, работающего на соответствующем оборудовании. Студенты, посещающие семинары и тренинги, получают знания по технологиям и оборудованию, существующим в современном мире. Факультет Машиностроения начнет жить полноценной жизнью и при надлежащей рекламе и маркетинге станет притягательным центром для привлечения будущих инвесторов и студентов, а также для укрепления международных связей и повышения рейтинга ГИУА.

Ниже приводится схема перспективных направлений развития УПК (см. рис.).

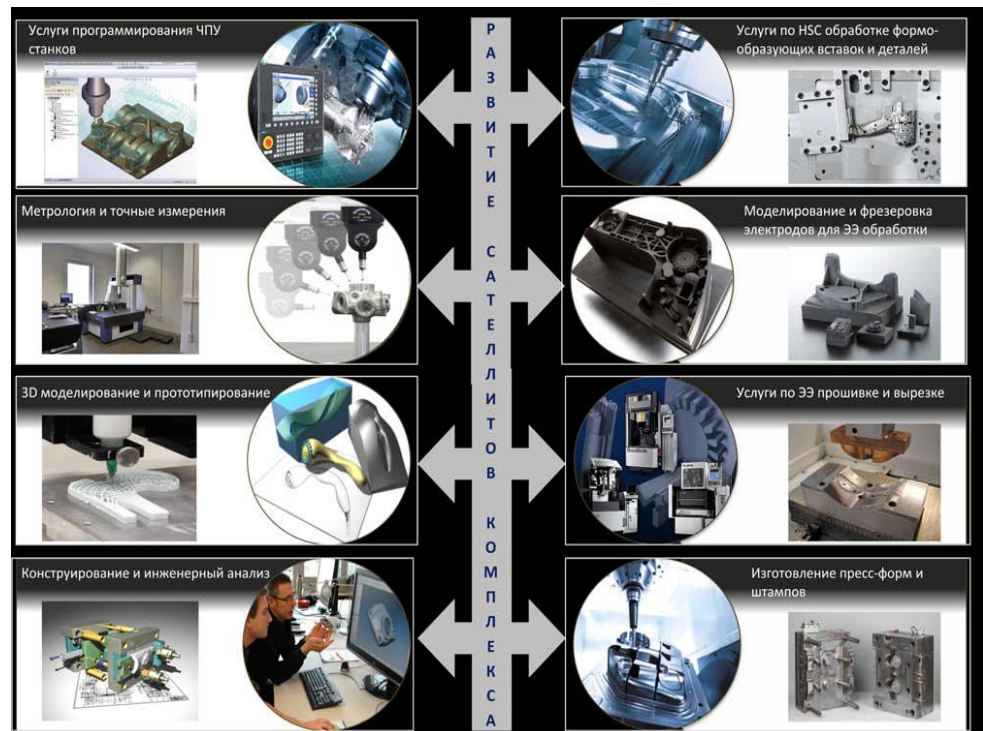


Рис. Схема перспективных направлений развития УПК

*Организационная структура УПК* предполагает следующие подразделения:

1. Учебно-производственная мастерская по металлообработке.
2. Учебно-производственная лаборатория по промышленному дизайну, 3D моделированию и прототипированию.
3. Учебная лаборатория автоматизации проектно-конструкторских и технологических работ.
4. Учебная лаборатория измерений, метрологии и контроля качества.
5. Учебная лаборатория автоматизации процессов и производств на базе учебно-лабораторных комплексов FESTO Didactic.
6. Производственная база для изготовления промышленной оснастки.
7. Участок художественного литья металлов.
8. Участок производства ортопедической техники.
9. Центр поиска и анализа информации, библиотека и архив.

Одним из ключевых моментов функционирования УПК рассматривается взаимодействие с другими вузами и учебно-производственными центрами ближнего и дальнего зарубежья. В рамках данного взаимодействия намечается:

1. Проведение научных семинаров и лекционных занятий. С этой целью лаборатории будут оснащены видеокамерами с возможностью передачи видео и звука как по локальной компьютерной сети УПК, так и через сеть Интернет в любую точку мира, применительно к проведению семинаров и лекционных занятий – в учебные аудитории вузов-партнеров. Данная технология создаст эффект присутствия в станочной лаборатории и позволит наглядно демонстрировать современные технологии и процессы, а также благодаря обратной связи получать ответы на вопросы или управлять процессами на расстоянии с контролем их выполнения.

2. Организация виртуальных семинаров. Возможности УПК позволят организовывать on-line семинары, к которым могут подключаться студенты, преподаватели или учебные аудитории любых вузов-партнеров. Трансляция будет содержать выступление специалистов и ученых, наглядную демонстрацию процессов, происходящих при функционировании оборудования.

3. Проведение совместных научных исследований с организацией коллективного доступа к оборудованию комплекса через каналы Интернет или с непосредственным доступом в помещения лабораторий.

4. Инженерный и научный консалтинг для специалистов вузов по направлениям деятельности центра.

Технологии видеотрансляции через локальные сети и Интернет отлажены и апробированы при проведении дистанционных семинаров.

Существующие схемы видеотрансляции позволят выводить видеосигнал из зоны обработки на экран с использованием проектора непосредственно в

помещении с технологическим оборудованием и проводить трансляцию видеосигнала через локальную или глобальную сеть из станочной лаборатории в лекционные аудитории для проведения научных семинаров или лабораторных занятий. Предусматривается также и потоковая трансляция видеосигнала через сеть Интернет с возможностью подключения большого количества пользователей как на индивидуальных рабочих местах, так и в лекционных аудиториях. Таким образом, оборудование УПК возможно предоставить для коллективного пользования с виртуальным доступом через Интернет для проведения научных семинаров с демонстрациями обработки, выполнения научных исследований, проведения виртуальных практических и лабораторных занятий для студентов и аспирантов (см. рис.).

Исходя из современных реалий, изготовление пресс-форм будет служить основным источником доходов УПК в ближайшем будущем, оборудование и периферия производства станут самыми капиталоемкими, а данное производство будет рассматриваться после этапа становления и выхода на ключевые показатели особо перспективным с точки зрения привлечения дополнительных инвестиций в будущем. Само производство будет "градообразующим" и станет донором средств, специалистов и технологий для остальных направлений деятельности учебно-производственного комплекса ГИУА.

**Выводы.** Проведен подробный стратегический и финансово-экономический анализ возможности создания командой проекта производства технологической оснастки на базе факультета Машиностроения ГИУА. Исследование ориентировано на европейский и российский рынки производства автокомпонентов как один из наиболее наукоемких и технологически сложных сегментов производства инструментальной оснастки, где конкуренция азиатских производителей минимальна, а потенциал роста рынка – один из самых высоких в мире.

Результаты анализа показывают, что проект УПК на базе факультета Машиностроения ГИУА, направленный на повышение уровня подготовки специалистов машиностроения, выйдет на самоокупаемость на третьем году реализации. Проект достаточно устойчив и может выдержать ухудшение ключевых показателей на 20...25%.

#### Литература

1. Христафорян С.Ш., Парикян Ф.А. Роль ГИУА в развитии машиностроительной науки и образования Армении // Вестник ГИУА. Серия "Механика, машиноведение, машиностроение". – 2013. – Вып. 16, № 1. – С. 9-22.

2. **Касьян М.В., Тер-Азарьев И.А.** Основы резания металлов. – Ереван: Айпетрат, 1961. – 403 с.
3. **Касьян М.В., Минасян Г.С.** Особенности резания титановых сплавов безвершинными резцами // АН АрмССР, Бюраканская оптико-механическая лаборатория. – Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1975. – С. 168-171.
4. **Касьян М.В., Парикян Ф.А.** Эффективность действия газовых сред на процесс резания металлов // Изв. НАН РА и ГИУА. Серия Техн. наук. – 1995. – Т. XLIX, № 3. – С. 32-38.
5. **Касьян М.В., Христафорян С.Ш.** К вопросу о механизме возникновения структуры резания // Известия ВУЗ-ов. – М.: Машиностроение, 1990. – С. 34-39.
6. **Христафорян С.Ш.** Влияние УЗК на процессы пластического деформирования при высоких скоростях резания // Электрофиз. и электрохим. методы обработки / НИИМАН. – М., 1983. – № 4. – С. 13-17.
7. **Христафорян С.Ш., Христафорян Э.С., Артунян А.В.** Интерпретация понятия “структура” и о преобразованиях Лоренца в приложении к теории резания // Сб. тр. МНТК “Технологии и техника автоматизации -2008”. – Ереван, 2008. – С. 30-33.
8. **Христафорян С.Ш.** О процессе резания материалов как самоорганизующейся структуре по переработке вещества // Изв. НАН РА и ГИУА. Серия техн. наук. – 1999. – Т. LII, №2. – С.145-152.
9. **Христафорян С.Ш.** Физическая модель пластического деформирования материала в процессе резания // Научно-технические технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2012. – № 6. – С. 18- 24.
10. **Касьян М.В., Багдасарян Г.Б., Арутюнян Г.А.** Об одном методе комплексной оптимизации процесса резания // Оптимальные режимы резания. – Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1978. – С. 27-31.
11. **Баласанян Б.С.** Способ определения математической модели объекта в виде многофакторного полинома различных порядков // Математика в высшей школе. – 2005. – Т.1, № 2. – С. 12-17.
12. **Аршакян А.Л., Вавулин А.А., Митрофанов В.Г.** Выбор оптимальных значений режимов резания с учетом формы получаемой стружки // Станки и инструмент. – М., 1992. – № 6. – С. 18-19.
13. **Баласанян Б.С.** Способ повышения виброустойчивости обрабатывающих систем с применением ультразвуковых колебаний // Проблемы прикладной механики: Международный научный журнал. – Тбилиси, 2002. – 2 (7). – С. 69-72.
14. **Ландау Ю.И., Парикян Ф.А.** Электрохимическое удаление заусенцев и притупление кромок на массивных сепараторах подшипников // Эл-физ. и эл-хим. методы обработки. – М., 1968. – Вып. 6. – С. 19-20.
15. **Парикян Ф.А., Бабаян А.С.** Влияние усилия обкатывания на качественные показатели обкатанной поверхности применением газовых сред // Сб. тр. XVII МНТК “Машиностроение и техносфера XXI века”. – Донецк, 2010. – Т.1. - С. 50-53.

*Поступила в редакцию 10.11.2014.  
Принята к опубликованию 16.12.2014.*

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՃԱՐՏԱՐԱՎԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆՈՒՄ  
ՄԵՔԵՆԱՇԻՆՈՒԹՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱ-ԱՐՏԱԴՐԱԿԱՆ ԻՆՈՎԱՑԻՈՆ ՀԱՄԱԼԻՐԻ  
ՍՏԵՂԾՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ**

**Է.Ս. Քրիստափորյան, Ա.Լ. Արշակյան, Ս.Շ. Խրիստաֆորյան**

Դիտարկված են կադրերի պատրաստման հարցերը ՀՀ մեքենաշինական արդյունաբերության համար երկրի արդյունաբերական զարգացման խիստ անհրաժեշտության համատեքստում: Հիմնավորված է ՀՊՃՀ մեքենաշինության ուսումնա-արտադրական ինովացիոն համալիրի ստեղծման հնարավորությունը, որի բազայի վրա կիրագործվի ՀՀ-ի արդյունաբերության համար մետաղամշակման մասնագետների պատրաստումը: Կատարվել է պլաստմասսե արտադրանքների համաշխարհային արտադրողների համար ժամանակակից գործիքային սարքավորանքների արտադրությանը ՀՀ-ի արդյունաբերությունը կողմնորոշելու նպատակահարմարության վերլուծություն, ինչպես նաև ՀՊՃՀ-ի Մեքենաշինության ֆակուլտետի բազայի վրա տեխնոլոգիական սարքավորումների արտադրության նախագծի ստեղծման հնարավորությունների ստրատեգիական և ֆինանսական վերլուծություն:

**Առանցքային բառեր.** ինժեներական կրթություն, մետաղամշակում, ուսումնա-արտադրական համալիր, ավտոբաղադրամասեր, պլաստմասսաներ:

**THE POSSIBILITY OF ESTABLISHING AN INNOVATIVE  
MACHINE BUILDING EDUCATIONAL-INDUSTRIAL COMPLEX  
IN STATE ENGINEERING UNIVERSITY OF ARMENIA**

**E.S. Qristaphoryan, A.L. Arshakyan, S.Sh. Khristaforyan**

The issues of training specialists for the machine building industry of RA in the context of the urgent need for the industrial development of the country are considered. Considerations for creating an educational-production complex of SEUA innovative machine building on whose basis, it will be possible to train specialists for the metalworking industry of RA are substantiated. The expedience of the RA industry orientation to the production of modern equipment for plastic products manufactured in the world is shown. A detailed strategic and financial-economic analysis allowing to reveal the opportunities of developing the production project of the technological equipment on the basis of the SEUA Machine Building faculty is carried out.

**Keywords:** engineering education, metalworking, educational-industrial complex, parts of vehicles, plastic materials.



UDC 539.3

**STABILITY OF A RECTANGULAR TWO-PART-PLATE  
IN A CONSTANT TEMPERATURE FIELD**

**M.V. Belubekyan, Yu.G. Sanoyan**

*Institute of Mechanics, NAS RA*

A rectangular plate with constant thickness consisting of two adjacent rectangles with different physical and mechanical properties is considered. All the edges and the adjacent brink are simply supported. In the initial state, the two edges of the plate which are perpendicular to the dividing surface of the rectangle are in sliding contact conditions. The equation determining the critical temperatures is obtained. The behavior of the critical temperature depending on the ratio of plate sides and the ratio coefficient of the linear thermal expansion is investigated.

**Keywords:** two-part-plate, buckling of plate, temperature stresses, critical temperature, stability.

**Introduction.** Thermal buckling of plates is an important issue in engineering application such as structural, naval, high speed flight vehicles, and aeronautical fields. The buckling problem of a rectangular plate under the action forces uniformly distributed along the edges has been discussed by several authors [1–3]. The development materials with new constitutive models have necessitated a continuous research in stability. Furthermore, the need of calculating shell elements has led to a large number of studies on the stability of the plates in the temperature field. Thermo-elastic stability and the related problems are studied [4]. Many publications in recent years have been devoted to laminated composite plates [5, 6] and functionally graded plates [7, 8]. The buckling problem of hinged rectangular butt-jointed plates (consisting of two parts) under the action of normal forces uniformly distributed along the edges, is discussed [9]. The thermal buckling problem of simply supported rectangular butt-jointed plates is discussed [10, 11]. In this paper, the problem of thermal stability of butt-jointed plates with a sliding contact is considered.

**1. Calculation of Initial Thermal Stresses.** A rectangular plate with a thickness of  $2h$  in the cartesian coordinate system  $(x, y, z)$  is in the region  $0 \leq x \leq a$ ,  $-b_2 \leq y \leq b_1$ ,  $-h \leq z \leq h$ . The plate consists of two parts. The part of the plate with the index (1) occupies the region  $0 < y \leq b_1$ , and the part with the index (2) is in the region  $-b_2 \leq y < 0$  (Fig. 1).

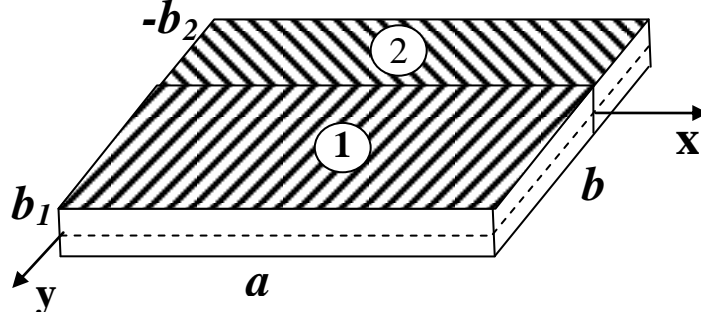


Fig. 1. The plate in a rectangular coordinate system

The plate is in a constant temperature field  $\theta = \text{const}$ . The elastic characteristics of the plate parts and the thermal properties are different. For a thin plate under generalized plane stress state, the following boundary conditions are taken [3]. It is assumed that on the edges of the plate  $x = 0$  and  $x = a$ , the sliding contact conditions are given

$$u_i = 0, \sigma_{12}^{(i)} = 0, \quad i = 1, 2, \quad (1.1)$$

where  $u_1, u_2$  is the displacement along the  $x$  coordinate for the parts of the plate 1 and 2 respectively (Fig. 1). Another pair of opposite sides of the plate is free

$$\begin{aligned} \sigma_{22}^{(1)} = 0, \sigma_{21}^{(1)} = 0 \quad \text{when } y = b_1, \\ \sigma_{22}^{(2)} = 0, \sigma_{21}^{(2)} = 0 \quad \text{when } y = -b_2. \end{aligned} \quad (1.2)$$

On the joining edges of the part of the plate, full contact conditions are accepted:

$$u_1 = u_2, \quad v_1 = v_2, \quad \sigma_{22}^{(1)} = \sigma_{22}^{(2)}, \quad \sigma_{21}^{(1)} = \sigma_{21}^{(2)}, \quad \text{when } y = 0, \quad (1.3)$$

where  $u_i, v_i$  are the displacement along the  $x$  and  $y$  axis for the plate parts (1) and (2) respectively. For the given problem, the generalized stress-strain state solution for the stress and displacements is as follows:

$$\begin{aligned} \sigma_{11}^{(i)} = -E_i \alpha_{ti} \theta, \quad \sigma_{22}^{(i)} = \sigma_{21}^{(i)} = 0, \\ u_i = 0, \quad v_i = (1 + \nu_i) \theta \alpha_{ti} y, \end{aligned} \quad (1.4)$$

where  $E_i$  are Young's modulus,  $\alpha_{ti}$  – the linear coefficients of thermal expansion (LCTE) of the materials of the plate parts. The displacements  $v_i$  herein after are not considered.

**2. Buckling of the Butt-Jointed Plate under a Uniform Temperature Rise.** A plate consisting of two parts (Fig. 1) and with an initial stress state (1.4) is placed on the supports along the edges and along the edge of the connection parts. The equation stability of such plates compressed by longitudinal thermal forces  $P_i$  (per unit width) along the  $x$  axis [4] is

$$D_i \Delta^2 w_i + P_i \frac{\partial^2 w_i}{\partial x^2} = 0, i=1, 2, \quad (2.1)$$

where  $w_i$  are the deflections of the appropriate parts of the plate

$$D_i = \frac{2E_i h^3}{3(1-\nu_i^2)}, P_i = -2hE_i \alpha_i \theta. \quad (2.2)$$

On the edges of the plate, there are boundary conditions of simple support

$$w_i = 0, \quad \frac{\partial^2 w_i}{\partial x^2} = 0, \quad \text{with } x=0, a, \quad (2.3)$$

$$w_1 = 0, \quad \frac{\partial^2 w_1}{\partial y^2} = 0, \quad \text{with } y=b_1, \quad (2.4)$$

$$w_2 = 0, \quad \frac{\partial^2 w_2}{\partial y^2} = 0, \quad \text{with } y=-b_2. \quad (2.5)$$

On the contact plane of the two parts of the plate, the following boundary conditions are used

$$w_1 = 0, w_2 = 0, \quad \frac{\partial w_1}{\partial y} = \frac{\partial w_2}{\partial y}, \quad D_1 \frac{\partial^2 w_1}{\partial y^2} = D_2 \frac{\partial^2 w_2}{\partial y^2}, \quad \text{when } y=0. \quad (2.6)$$

The solutions of the equation system (2.1) satisfying the boundary conditions (2.3), are presented in the form

$$w_i = \sum_{n=1}^{\infty} f_{in}(y) \sin \mu_n x, \quad \mu_n = \pi n/a \quad (2.7)$$

(thus, it is assumed that each part of the plate is buckling into  $m$  sinusoidal half-waves in the direction of loading). The substitution of (2.7) for (2.1) leads to a system of ordinary differential equations for the functions  $f_{in}(y)$ , whose general solution satisfying conditions (2.4, 2.5), has the form

$$\begin{aligned} f_{1n}(y) &= A_{1n} \sin p_{21}(b_1 - y) + B_{1n} \operatorname{sh} p_{11}(b_1 - y), \\ f_{2n}(y) &= A_{2n} \sin p_{22}(b_2 + y) + B_{2n} \operatorname{sh} p_{12}(b_2 + y). \end{aligned} \quad (2.8)$$

The following designations in (2.8) are accepted

$$p_{1i} = \frac{\pi n}{a} \sqrt{\eta_{in} + 1}, \quad p_{2i} = \frac{\pi n}{a} \sqrt{\eta_{in} - 1}, \quad \eta_{in}^2 = \frac{P_i}{\mu_n^2 D_i}. \quad (2.9)$$

The requirement that the function (2.8) satisfies the boundary conditions at the junction plates (2.6) leads to a system of homogeneous algebraic equations for arbitrary constants  $A_m$  and  $B_m$ . From the condition that the determinant of the system is equal to zero, we obtain the equation with respect to the critical temperature

$$\eta_{2n} \kappa \sin p_{22} b_2 (p_{21} \cos p_{21} b_1 - p_{11} \operatorname{cth} p_{11} b_1 \sin p_{21} b_1) + \eta_{1n} \kappa \sin p_{21} b_1 (p_{22} \cos p_{22} b_2 - p_{12} \operatorname{cth} p_{12} b_2 \sin p_{22} b_2) = 0, \quad (2.10)$$

where

$$\kappa = D_1 / D_2. \quad (2.11)$$

The temperature value is included in (2.9) as

$$\eta_{in} = \frac{\sqrt{3(1-\nu_i^2)} \alpha_i \theta}{h \mu_n}. \quad (2.12)$$

The equality of temperatures of both parts of the plate allows to express  $\eta_{2n}$  through  $\eta_{1n}$  by the formula

$$\eta_{2n} = \sqrt{\frac{1-\nu_2^2}{1-\nu_1^2}} \alpha_t \eta_{1n}, \quad (2.13)$$

which depends on the ratio  $\alpha_t = \alpha_{t2} / \alpha_{t1}$  of thermal linear expansion factors of the plate parts. As  $\eta_{1n}$  is the monotonically increasing function of temperature (2.12), the minimum critical temperature will correspond to the minimum value  $\eta_{1n}$ . Each value  $\eta_{1n}$  belongs to  $m$  roots equation (2.10), that is an unlimited monotonically increasing sequence. This sequence also includes the roots

$$\eta_{1n} = 1 \text{ и } \eta_{1n} = 1 / \sqrt{\frac{1-\nu_2^2}{1-\nu_1^2}} \alpha_t,$$

for them  $p_{21} = 0$  и  $p_{22} = 0$ . Thus, the minimum critical temperature at which the plate loses its stability corresponds to the lowest (minimum), unequal unit values  $\eta_{in}$ . These roots correspond to the critical values of the thermal load applied to the sides of the plate  $x = 0, x = a$ . In accordance with this load, (2.9) is equal to

$$P_{in} = K_\sigma \frac{4\pi^2 D_i}{b^2}, \quad K_\sigma = \eta_{in}^2 \frac{n^2 b^2}{4a^2}, \quad (2.14)$$

where  $K_\sigma$  is a factor depending on the sides ratio of the plate,  $b = b_1 + b_2$ . Thus, the critical values  $P_{in}$  determine the critical state of the plate.

**3. Numerical Applications.** We will consider the following particular cases. If the materials of the plate are identical, then

$$\kappa = 1, \quad p_{11} = p_{12} = p_1, \quad p_{21} = p_{22} = p_2 \quad (3.1)$$

and equation (2.11) has the form

$$p_2 \sin p_2 b - p_1 \sin p_2 b_1 \sin p_2 b_2 (\operatorname{cthp}_1 b_1 + \operatorname{cthp}_1 b_2) = 0. \quad (3.2)$$

The minimum non-zero root is achieved when  $m = 2$ . The curves for the values of  $K_\sigma$  calculated according to equation (3.2) for different values  $b_1/b_2$  and the plate aspect ratio  $2a/b$  are presented in Fig.2.

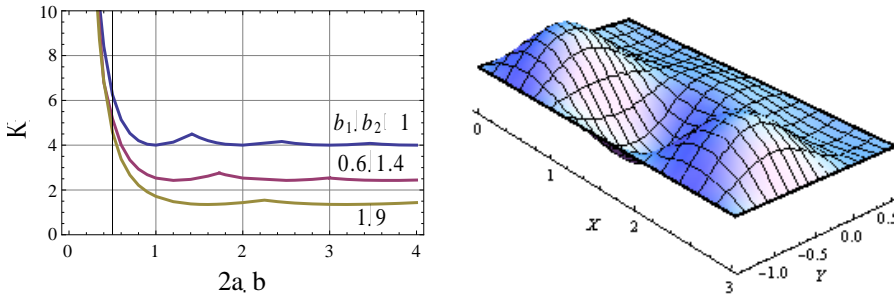


Fig. 2. The values of  $K_\sigma$  for different relations of the plate part width and eigenfunction of the plate  $b_1/b_2=0.6/1.4$  and  $n=3$

Eigenfunctions of the problem for each part of the plate will then be equal to

$$w_{1n} = A_{1n} \sin p_2 (b_1 - y) \sin \frac{\pi n}{a} x + B_{1n} \sin p_1 (b_1 - y) \sin \frac{\pi n}{a} x,$$

$$w_{2n} = A_{2n} \sin p_2 (b_2 + y) \sin \frac{\pi n}{a} x + B_{2n} \sin p_1 (b_2 + y) \sin \frac{\pi n}{a} x.$$

Fig. 2 also shows the eigenfunctions of the curve  $b_1 = 0.6$  and  $n = 3$ .

**Summary.** When reducing the width of one of the plate parts, the coefficient  $K_\sigma$  decreases. Each part of the plate buckles along the  $x$  axis like a plate with simply supported edges. Each part of the plate consists of  $n$  half-waves in the direction of an axis  $x$ , and one half-wave in the direction of an axis  $y$ . The phases of half waves of the parts of the plate are opposite. The amplitude of the deflections' half-waves of the wide part of the plate is more than that of the narrow part.

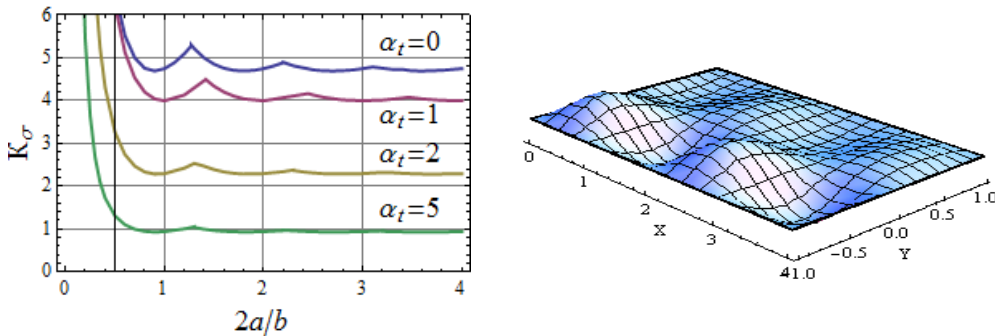


Fig. 3. The values of  $K_\sigma$  for various  $\alpha_t$  and the eigenfunction of the plate for  $\alpha_t = 4$  and  $2a/b=4$

Curves  $K_{\sigma}$  calculated according to equation (2.10) for plates with different ratio LCTE and for the equal values of other parameters of the plate parts are shown in Fig. 3. As in the previous case, each part of the plate consists of  $n$  half-waves in the direction of the axis  $x$  and one half-wave in the direction of the axis  $y$ . The phases of half-waves of the plate parts are opposite. The amplitudes of half-waves are more in the part of the plate with a great value of LCTE.

### References

1. **Timoshenko S.P. and Gere M.J.** Theory of Elastic Stability. – New York: McGraw-Hill, 1961. – 541 p.
2. **Амбарцумян С.А.** Теория анизотропных пластин. – М.: Наука, 1987. – 360 с.
3. **Bulson P.S.** The stability of Flat Plates. – London: Chatto & Windus, 1970. – 470 p.
4. **Boley B. and Weiner H.** Theory of Thermal Stresses. – New York, London: John Wiley and Sons Inc., 1960. – 585 p.
5. **Reddy J.N.** Mechanics of Laminated Composite Plates and Shells. Theory and Analysis. – London, New York, Washington: CRC Press, 2003. – 854 p.
6. **Meyers C.A., Hyer M.W.** A Thermal Buckling and Postbuckling of Symmetrically Laminated Composite Plates // J. Thermal Stresses. – 1991. – 14. – P. 519-540.
7. **Shyang-Ho Chi, Yen-Ling Chung.** Mechanical Behavior Of Functionally Graded Material Plates Under Transverse Load. Part 1: Analysis // International Journal of Solids and Structures. – 2006. – 43. – P. 3657-3674.
8. **Mostapha R., Alipour R., Kamanbedast A.** Thermal Buckling of Thin Rectangular FGM Plate // World Applied Sciences Journal. – 2012. – 16(1). – P. 52-62.
9. **Belowa O.Yu. and Sisoew Yu.G.** Stability Of Composite Plates With Elastic Hinges // Proceedings Of The Higher Educational Institutions. Oil and Gas. – 2006. – 2. – P. 58-64.
10. **Belubekyan M.V. and Sanoyan Yu.G.** On The Problem Of The Stability Of The Composite Plate When It Is Heated. Topical Problems Of Continuum Mechanics // Proceedings of International Conference dedicated to the 100<sup>th</sup> Anniversary of Academician N.Kh. Arutyunyan. – Yerevan, 2012. – V.1. – P. 121-125.
11. **Belubekyan M.V. and Sanoyan Yu.G.** On the Problem of Stability a Composite Plate in Heating // Journal of Mathematical Sciences. – 2013. – 192. – P. 682-690.

*Received on 30.05.2014.*

*Accepted for publication on 16.12.2014.*

**ԵՐԿՈՒ ՄԱՍԻՑ ԿԱԶՄՎԱԾ ՈՒՂՂԱՆԿՅՈՒՆ ՍԱԼԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆԸ  
ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ԶԵՐՄԱՅԻՆ ԴԱՇՏՈՒՄ**

**Մ.Վ. Բելուբեկյան, ՅՈՒ.Գ. Սանոյան**

Լուծված է ջերմաառաձգական կայունության խնդիրը ուղղանկյուն սալի համար, որը բաղկացած է երկու կից ուղղանկյուններից՝ տարբեր ֆիզիկական և մեխանիկական հատկություններով: Սալի կողմերը ազատ հենված են: Սկզբնական վիճակում երկու սալի եզրերը, որոնք ուղղահայաց են ուղղանկյունը բաժանող մակերեսին, գտնվում են սահող եզրի պայմաններում: Ստացված է հավասարում՝ կրիտիկական ջերմաստիճանը որոշելու համար: Հետազոտված է կրիտիկական վիճակի վարքը՝ կախված սալի մասերի լայնությունների և զծային ջերմային ընդլայնման գործակիցների հարաբերություններից: Ցույց է տված, որ երկու կից ուղղանկյունների միջին մակերեսների տեղափոխումներն ունեն սինուսոիդալ բնույթ՝ ուղղված սալի կտրող մակերեսին, և գտնվում են տարբեր ֆազերում:

**Ստանդային բառեր.** երկու մասից կազմված սալ, սալի ծռում, ջերմային լարումներ, կրիտիկական ջերմաստիճան, կայունություն:

**УСТОЙЧИВОСТЬ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ ИЗ ДВУХ ЧАСТЕЙ  
В ПОСТОЯННОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ПОЛЕ**

**М.В. Белубекийн, Ю.Г. Саноян**

Решена задача термической устойчивости прямоугольной пластины, состоящей из двух смежных прямоугольников с разными физико-механическими свойствами. Кромки пластины и смежная грань свободно оперты. В начальном состоянии кромки пластины, перпендикулярные к разделяющей прямоугольник прямой, находятся в условиях скользящего контакта. Получено уравнение для определения критических температур. Исследовано поведение критического состояния пластины от отношения ширины и коэффициентов теплового линейного расширения частей пластины. Показано, что перемещения средних поверхностей пластин сопряженных прямоугольников имеют волновой синусоидальный характер в направлении смежной грани и находятся в противоположных фазах.

**Ключевые слова:** пластинка из двух частей, изгиб пластины, температурные напряжения, критическая температура, устойчивость.

УДК 621.762, 620.10

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА  
ОСАДКИ СПЕЧЕННОГО ЦИЛИНДРА  
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНТАКТНЫХ УСЛОВИЯХ**

**Г.Л. Петросян, Л.А. Азарян, А.М. Арустамян, А.К. Карапетян**

*Государственный инженерный университет Армении (Политехник)*

Проведено исследование напряженно-деформированного состояния процесса осадки при различных случаях трения на контактных поверхностях образца с круглым сечением с учетом разных технологических факторов: степени деформации, размеров и пористости. Для случая комбинирования трения на торцах образца, скольжения снаружи и прилипания в центре получена безразмерная формула для определения контактного нормального напряжения, применимая для различных материалов. Для выявления значений изменения пористости спеченного образца использована формула для определения пористости деформационной теории пластичности пористых материалов. На основании численных расчетов, проведенных в программной среде *Wolfram Mathematica*, определены значения контактного давления и пористости в различных точках поперечного сечения.

**Ключевые слова:** осадка, напряженно-деформированное состояние, давление, спеченный материал, прилипание, скольжение.

**Введение.** В настоящее время при обработке давлением сплошных, спеченных и неспеченных порошковых материалов получают используемые в различных отраслях промышленности предметы и детали с высокими механическими и эксплуатационными свойствами. На качество этих деталей действует множество факторов: размеры заготовок, материал, характер трения на контактных с инструментами поверхностях и т.д., учет каждого из которых связан с большими трудностями [1-3].

Исследование технологических процессов основано на соответствующих теориях пластичности и реальных механических свойствах материалов.

При испытании образцов с различными сечениями применяют методы осевого растяжения, сжатия, кручения и т.д. Для сплошных материалов основными экспериментальными методами являются осевое растяжение и сжатие, в то время как для спеченных материалов [4] – сжатие образцов с круглым сечением. Использование этих методов дает возможность определить



параметры пористости материала и построить график его деформирования [5]. Однако при испытании сжатия цилиндрического образца эти вопросы полностью не исследованы, в особенности из-за наличия в спеченных порошковых материалах пористости и различных зон трения на контактных поверхностях. Следовательно, исследование напряженно-деформированного состояния образцов круглого сечения с учетом пористости при различных случаях трения на контактных поверхностях обосновывает актуальность данной работы.

**Постановка задачи.** Целью работы является исследование процесса осевого сжатия спеченного образца круглого сечения в случае комбинирования зон прилипания и скольжения на контактных поверхностях с учетом пористости материала и определение нормального давления и уменьшенных значений пористости материала с использованием программной среды Wolfram Mathematica.

**Теория.** Задача решается в два этапа [6]. На первом этапе с использованием формул деформационной теории пластичности [5] рассматривается случай твердого материала, предел текучести которого соответствует плотности (или пористости) спеченного материала. На втором этапе на основании полученных данных компонентов напряженно-деформированного состояния, используя формулу для определения пористости деформационной теории пластичности пористых материалов [4], устанавливаются измененные значения пористости в различных точках деформированной заготовки. При этом для решения задачи рассматривается случай малопористого спеченного материала.

Рассмотрим задачу осадки силами  $F$  цилиндрического образца размерами  $d_0$  и  $H_0$ . После деформации размеры образца получили значения  $d$  и  $H$  (рис. 1). Решение задачи реализуется методом, описанным в работе [1] в случаях наличия и отсутствия трения на контактных поверхностях, при условии равенства окружной  $\varepsilon_\theta$  и радиальной  $\varepsilon_r$  деформаций, откуда следует также равенство соответствующих нормальных напряжений:

$$\sigma_r = \sigma_\theta.$$

При наличии трения на контактных поверхностях образца появляются малые, по сравнению с нормальными напряжениями, касательные напряжения  $\tau_{ry} = q$ , по причине которых в образце возникают окружные и радиальные напряжения. В этом случае компоненты напряженного и деформированного состояний, выраженные главными напряжениями и деформациями, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_r = \varepsilon_\theta = \varepsilon/2, \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_y = -\varepsilon, \\ \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_r = \sigma_\theta \neq 0, \quad \sigma_3 = \sigma_y = -p, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $p$  – контактное нормальное давление.

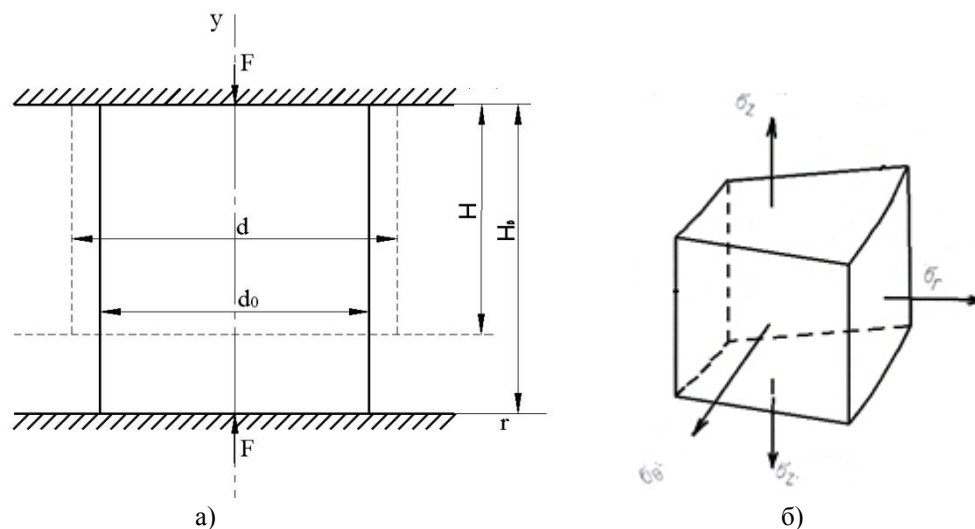


Рис. 1. Схема деформирования цилиндрического образца (а) и отделенный от образца элемент (б)

Отметим, что при представлении величины деформации согласно (1) использовано условие постоянства объема образца. Значение интенсивности деформаций, определяемых этими данными, будет

$$\varepsilon_i = \varepsilon. \quad (2)$$

Подставляя приведенные в (1) компоненты напряженного состояния в формулу интенсивности напряжений  $\sigma_i$  [5] и записывая условие пластичности Хубера-Мизеса:

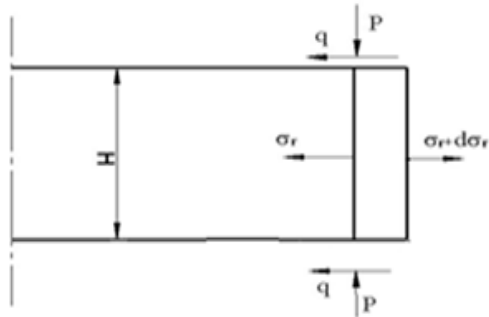
$$\sigma_i = \sigma_h, \quad (3)$$

выразим его через  $\sigma_r$  и  $p$ :

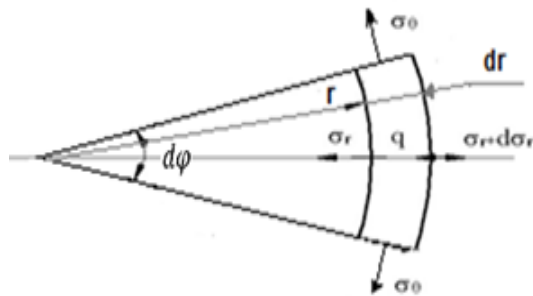
$$\sigma_r - \sigma_y = \sigma_h \text{ или } \sigma_r + p = \sigma_h, \quad (4)$$

где  $\sigma_h$  – напряжение предела текучести материала.

Для решения задачи используется уравнение равновесия элемента, отделенного от цилиндрического образца. Этот элемент имеет толщину  $H$  (рис. 1) и ограничен находящимися под углом  $d\varphi$  двумя радиальными и двумя окружными сечениями с радиусами  $r, r+dr$  (рис. 2).



a)



б)

Рис. 2. Отделенный от цилиндра элемент в двух проекциях (а, б), нагруженный напряжениями

Уравнение равновесия данного элемента [1]

$$d\sigma_r/dr = 2q/H$$

с учетом (4) принимает вид

$$dp/dr = -2q/H. \quad (5)$$

Для решения уравнения (5) необходимо предварительно иметь закон изменения касательных напряжений  $\tau_{ry} = q$ . Так как целью работы является исследование процесса сжатия образца круглого сечения в случае возникновения комбинированных зон прилипания и скольжения на контактных поверхностях, то вначале задача решается для зоны скольжения. Принимаем, что на контактных поверхностях интенсивность касательных напряжений  $q_1$  зависит от контактного давления  $p_1$  по закону Кулона  $q_1 = f p_1$  [1], где  $f$  – коэффициент трения.

В этом случае уравнение (5) принимает вид

$$\frac{dp_1}{p_1} = -\frac{2f}{H} dr.$$

Интегрируя это дифференциальное уравнение и используя граничное условие: при  $r=d/2 - \sigma_r = 0$ , или на основании (4): при  $r=d/2 - p_1 = \sigma_h$ , для зон скольжения определим  $p_1$  и его безразмерную величину:

$$p_1 = \sigma_h \exp \left[ \frac{2f}{H} \left( \frac{d}{2} - r \right) \right], \quad \bar{p}_1 = \frac{p_1}{\sigma_h} = \exp \left[ \frac{2f}{H} \left( \frac{d}{2} - r \right) \right].$$

Отметим, что из условия несжимаемости цилиндрического образца  $H_0 d_0^2 = H d^2$  следует, что  $d = d_0 \sqrt{H_0/H}$ . Это дает возможность представить формулу определения  $\bar{p}_1$  в следующем виде:

$$\bar{p}_1 = \frac{p_1}{\sigma_h} = \exp \left[ f \left( H_0/H \right) \sqrt{H_0/H} \left( 1 - 2r/d \right) / \left( H_0/d_0 \right) \right], \quad (6)$$

откуда видно влияние начальных размеров образца  $H_0/d_0$  и степени осадки  $H_0/H$  на безразмерное контактное нормальное давление.

Численные расчеты проведены в программной среде Wolfram Mathematica, принимая коэффициент трения на контактных поверхностях образца равным  $f = 0,1$  и степень осадки  $H_0/H = 1,1$  ( $\varepsilon^* = 0,1$ ). Задача решена для образцов различных размеров. В случае  $H_0 = 2d_0$  (длинный образец) формула безразмерного контактного нормального давления (6) имеет вид

$$\bar{p}_1 = \exp[0,058(1 - 2r/d)]. \quad (7)$$

Расчеты по определению  $\bar{p}_1$  проведены для промежутка  $0 \leq r \leq d/2$  с шагом  $r = d/16$ , полученные результаты приведены в табл. 1.

В случаях  $H_0 = d_0$  (средний образец) и  $H_0 = 0,5d_0$  (короткий образец) из (6) получены следующие формулы:  $\bar{p}_{1cp} = \exp[0,115(1 - 2r/d)]$  и  $\bar{p}_{1к} = \exp[0,23(1 - 2r/d)]$ , из которых при  $r = 0$  получим  $\bar{p}_{1cp} = 1,122$  и  $\bar{p}_{1к} = 1,26$ .

Известно, что в случае осадки цилиндрической заготовки зона прилипания появляется в ее центральной части (для упрощения расчетов ее радиус принимается  $r_y = 3d/16$ ), где касательное напряжение меняется по линейному закону  $q = \tau_h \cdot r/H$ . Согласно значению предела текучести  $\tau_h = \sigma_h/\sqrt{3}$ , в случае чистого сдвига [5] получим  $q_2 = \frac{\sigma_h}{\sqrt{3}H} r$ , при подстановке которого в (5) имеем

$$\frac{dp_2}{dr} = - \frac{2\sigma_h r}{\sqrt{3}H^2}. \quad (8)$$

Таблица 1

Значения нормального напряжения  $\bar{p}_1$  и  $\bar{p}_{комб}$  в зависимости от  $r$  при  $H_0 = 2d_0$ 

$\frac{r}{d/16}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\bar{p}_1$	1,060	1,051	1,044	1,037	1,029	1,022	1,015	1,007	1
$\bar{p}_{комб}$	1,050	1,048	1,044	1,037	1,029	1,022	1,015	1,007	1

Интегрируя формулу (8), получим безразмерную формулу для  $\bar{p}_2$  в зоне прилипания, содержащую постоянную  $c_2$ :

$$\bar{p}_2 = \frac{p_2}{\sigma_b} = -\frac{2}{\sqrt{3}H^2}r^2 + c_2. \quad (9)$$

Для определения  $c_2$  принимаем, что промежутком прилипания образца круглого сечения является  $0 \leq r \leq 3d/16$ . Тогда промежуток скольжения будет  $d/2 \leq r \leq 3d/16$ . Следовательно, решение задачи зоны прилипания начинаем с внутреннего края промежутка скольжения, когда  $r = 3d/16$ . По формуле (7) для  $\bar{p}_1$  получим  $\bar{p}_1|_{r=\frac{3d}{16}} = \bar{p}_{1*} = 1,037$ , что дает возможность определить  $c_2$  из (9), используя для этого следующее граничное условие: при  $r = 3d/16$  имеем  $\bar{p}_2|_{r=\frac{3d}{16}} = \bar{p}_{1*} = 1,037$ . Определив  $c_2 = 1,037 + \frac{2 \cdot 9 \cdot d^2}{256 \cdot \sqrt{3} \cdot H^2}$  и подставляя его в (9), получим

$$\bar{p}_2 = 1,037 + 0,356 \left( \frac{9}{256} - \frac{r^2}{d^2} \right). \quad (10)$$

Результаты расчетов в случае комбинирования зон прилипания и скольжения на контактных поверхностях приведены в табл.1. На основании этих результатов построены графики  $\bar{p}_{комб}(r)$  нормального давления (рис. 3).

**Определение значений изменения начальной пористости  $v_0$  материала образца круглого сечения.** При малых значениях  $v_0$  с использованием формулы деформационной теории пластичности пористых материалов [6] находим

$$v = 1 - (1 - v_0) \exp\left(\frac{-9v_0^m \sigma_0 \varepsilon_i}{\sigma_i}\right), \quad (11)$$

где  $\varepsilon_i$  и  $\sigma_i$  – соответственно интенсивности деформаций и напряжений [5], характеризующие механические свойства материала заготовки;  $m$  – параметр пористости, а  $\sigma_0$  – среднее напряжение.

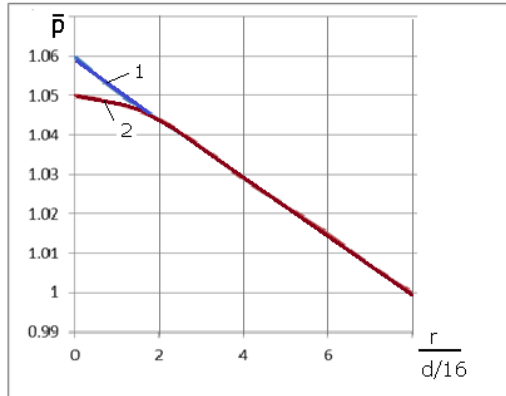


Рис. 3. Значения нормального давления в зависимости от  $r$  в случаях:  
 1 – скольжения, 2 – комбинирования скольжения и прилипания

Для выявления текущей пористости материала особое место занимает формула определения среднего напряжения:

$$\sigma_0 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3. \quad (12)$$

При наличии трения, подставляя в (12) приведенные в (1) данные главных напряжений ( $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_r = \sigma_\theta$ ,  $\sigma_3 = \sigma_y = -p$ ) и учитывая (4), получим

$$\sigma_0 = \sigma_h(-\bar{p} + 0,67). \quad (13)$$

Что касается случая отсутствия трения, когда  $\sigma_r = 0$  ( $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_r = \sigma_\theta = 0$ ,  $\sigma_3 = \sigma_y = -p$ ), то согласно (4):  $\sigma_y = -\sigma_h$ , а из (12) получим

$$\sigma_0 = -\frac{\sigma_h}{3} = -0,333\sigma_h. \quad (14)$$

Таким образом, в случае наличия сил трения для определения пористости по формуле (11) необходимо использовать формулы (2), (3) и (13), а в случае отсутствия сил трения – (2), (3) и (14). Причем формула (14) может быть также получена, если (12) выразить через  $\sigma_r$  и подставить  $\sigma_r = 0$ .

Численные расчеты проведены для  $v_0 = 0,1$  (10%), когда  $m = 1$ ,  $\sigma_{eq} = p$ ,  $\varepsilon_i = \varepsilon$  [4]. Вначале рассматривается случай отсутствия сил трения, Подставляя указанные выше параметры соответственно из формул (2), (3) и (14) в (11), получим

$$v = 1 - 0,9 \exp\left(\frac{-9 \cdot 0,1(-0,333\sigma_h)\varepsilon_y}{\sigma_h}\right) = 1 - 0,9 \exp(0,3\varepsilon_y). \quad (15)$$

Придавая  $\varepsilon_y$  разные значения, получим  $v|_{\varepsilon=0,01} = 0,097$ ,  $v|_{\varepsilon=0,02} = 0,095$  и  $v|_{\varepsilon=0,03} = 0,092$ .

В случаях комбинирования зон прилипания и скольжения на контактных поверхностях, а также с учетом трения для определения значений уменьшения пористости используем (2), (3), (11) и (13). В результате получим

$$v = 1 - 0,9 \exp\left(\frac{-9 \cdot 0,1(-\bar{p} + 0,67)\sigma_h \varepsilon_y}{\sigma_h}\right) = 1 - 0,9 \exp(-0,9(-\bar{p} + 0,67)\varepsilon_y). \quad (16)$$

Как видно из (16), в этом случае значение  $v$  зависит не только от  $\varepsilon_y$ , но также и от изменяющейся по радиусу цилиндра безразмерной величины давления  $\bar{p}$ , приведенной в табл. 1. Причем, согласно (6),  $\bar{p}$  зависит также от степени деформации, поэтому  $\varepsilon_y$  должно быть равно степени осадки образца:  $H_0/H = 1,1$  ( $\varepsilon^* = 0,1$ ). Данный вопрос является предметом другого исследования, поэтому приведем здесь только некоторые численные расчеты для случая  $v_0 = 0,1$ .

Выберем  $\varepsilon_y = 0,1$ , и по (16) для  $v$  получим формулу, выраженную только через переменную  $\bar{p}$ :

$$v = 1 - 0,9 \exp(0,018\bar{p} - 0,0121), \quad (17)$$

которая даст возможность на основе данных табл. 1 рассчитать значения  $v$ .

Результаты расчетов, проведенных в программной среде *Wolfram Mathematica* на основании формулы (17), приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения пористости материала  $v$  в зависимости от нормального давления  $\bar{p}_{\text{комб}}$  и расстояния  $r$  от центра образца при  $\varepsilon_y = 0,02$

$\frac{r}{d/16}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\bar{p}_{\text{комб}}$	1,050	1,048	1,044	1,037	1,029	1,022	1,015	1,007	1
$v$	0,0684	0,0687	0,0691	0,0695	0,0701	0,0707	0,0713	0,0719	0,0726

Как видно из таблицы, значения пористости материала в зависимости от текущего радиуса мало изменяются. Причем в центре они уменьшились наибольшим образом.

Отметим, что по формуле (16) в центре цилиндра, где согласно табл. 2  $\bar{p}_{\text{комб}} = 1,050$ , можно приближенно определить значение деформации  $\varepsilon_y$ , когда  $v = 0$ . Получим  $0 = 1 - 0,9 \exp(0,342\varepsilon_y)$ , откуда  $\varepsilon_y = 0,305$ . Причем в случае комбинирования двух зон из-за малой разницы контактного нормального давления значения пористости материала в зависимости от текущего радиуса тоже мало изменяются.

**Выводы.** При исследовании напряженно-деформированного состояния процесса осадки образца круглого сечения получена безразмерная формула контактного нормального давления, которая дает возможность его расчета для различных материалов.

Результаты расчетов показали:

1. В случае наличия трения значение пористости неравномерно по радиусу образца, в то время как в центре пористость получается наименьшей.

2. Используя разные технологические параметры, в центре образца можно получить нулевое значение пористости.

### Литература

1. **Малинин Н.Н.** Технологические задачи пластичности и ползучести. – М.: Высшая школа, 1979. – 119 с.
2. **Сторожев М.В., Попов Е.А.** Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
3. **Hosford William F., Coddell Robert M.** Metalforming, Mechanics and Metallurgy. – Cambridge, UK, 2007. - 312p.
4. **Петросян Г.Л.** Пластическое деформирование порошковых материалов. – М.: Metallurgy, 1988. – 153с.
5. **Малинин Н.Н.** Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. – 399с.
6. **Петросян Г.Л., Петросян А.Г., Левонян Г.Л.** Усовершенствование инженерного метода использования формулы для определения пористости спеченных материалов // Материалы Международного конгресса, посвященного 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова / МГТУ им. Н.Э. Баумана, 17-18 апреля 2014 г. – М., 2014. – С. 196-200.

*Поступила в редакцию 04.11.2014.  
Принята к опубликованию 16.12.2014.*



**ՀՊԱԿԱՅԻՆ ՏԱՐԲԵՐ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ ԵՌԱԿԱԼՎԱԾ ԳԼԱՆԻ ՆԱՏԵՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

**Գ.Լ. Պետրոսյան, Լ.Ա. Ազարյան, Ա.Մ. Առուստամյան, Ա.Կ. Կարապետյան**

Հետազոտվել է Կլոր հատույթով նմուշի հպակային մակերևույթներում շփման տարբեր դեպքերում նստեցման գործընթացի լարվածադեֆորմացիոն վիճակը տեխնոլոգիական տարբեր գործոնների հաշվառմամբ՝ ըստ դրա դեֆորմացման աստիճանի, չափերի և ծակոտկենության: Նմուշի ճակատներում շփման՝ արտաքինում սահքի ու կենտրոնում կպչելու համակցման դեպքում ստացվել է տարբեր նյութերի համար կիրառելի հպակային նորմալ ճնշման չափում չունեցող բանաձև: Եռակալված փորձանմուշի ծակոտկենության փոփոխման արժեքների որոշման համար օգտագործվել է ծակոտկեն նյութերի պլաստիկության դեֆորմացիոն տեսության ծակոտկենության որոշման բանաձև: Wolfram Mathematica ծրագրային միջավայրում կատարված թվային հաշվարկների հիման վրա որոշվել են հպակային ճնշման և ծակոտկենության արժեքները լայնական հատույթի տարբեր կետերում:

**Առանցքային բաներ.** նստեցում, լարվածադեֆորմացիոն վիճակ, ճնշում, եռակալված նյութ, կպչում, սահք:

**INVESTIGATING THE UPSETTING PROCESS OF THE SINTERED CILINDER UNDER DIFFERENT CONTACT CONDITIONS**

**G.L. Petrosyan, L.A. Azaryan, A.M. Arustamyan, A. K. Karapetyan**

An investigation of the stress-strain state of the upsetting process in different friction cases on the contact surfaces of the sample with a circular cross-section is carried out taking different technological factors into account: the deformation degree, the dimensions and porosity. For the case of combining the friction at the sample ends slipping outside and sticking in the center, a dimensionless formula for determining the contact normal stress applicable for different materials is obtained.

To reveal the values of the change in the porosity of the sintered sample formula for determining the porosity of the deformation plasticity theory of porous materials is used. On the basis of numerical calculations carried out in the software environment Wolfram Mathematica the values of the contact pressure and porosity in different points of the cross section are determined.

**Keywords:** upsetting, stress-strain state, pressure, sintered material, sticking, slipping.

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ КЛАПАННЫХ ПРУЖИН ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С УЧЕТОМ УСТАЛОСТНОГО ИЗНОСА

Г.Г. Шекян<sup>1</sup>, В.Р. Геворгян<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт механики НАН Республики Армения

<sup>2</sup>Технический университет Ильменау, Германия

Исследован процесс разрушения витка, соседствующего с опорным витком, вследствие усталостного износа, контактного сжатия и кручения под переменной нагрузкой. Показано, что на месте контакта с концом опорного витка соседствующий с ней виток в точке контакта испытывает давление высокой интенсивности, а в окрестности контакта возникают переменные изгибные и крутящие (касательные) напряжения. Показано также, что участок контакта из-за высокой интенсивности давления быстро изнашивается под знакопеременным напряжением, в результате чего под действием изгиба и кручения происходит разрушение. Получены математическая модель расчета величины износа, условие прочности витка и выражение для оценки срока службы пружины.

**Ключевые слова:** усталостный износ, клапанная пружина, циклическое напряжение, условие прочности, срок службы.

**Введение.** Клапанные пружины, работающие в условиях осевого периодического сжатия, претерпевают сложное напряженное состояние. Вследствие интенсивного износа циклически контактирующих поверхностей через определенное число циклов изменения напряжений нарушается условие прочности контактного участка витка, в результате чего происходит разрушение.

При циклическом нагружении винтовых пружин в осевом направлении, вызывающем относительное перемещение концевой витка с соседствующим, на контактной площадке возникает неоднородное поле внутренних напряжений с высокой интенсивностью, что является причиной накопления усталостных повреждений, приводящих впоследствии к разрушению витка [1-3].

В результате высокой интенсивности давления участок контакта концевой опорной витка с соседствующим претерпевает интенсивный износ. Поскольку скорость износа зависит от интенсивности контактного давления и частоты изменения напряжений, то определение допустимого износа, обеспечивающего требуемый срок службы пружины, становится первоочередной задачей.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Результаты статистических данных эксплуатации двигателей и экспериментальных данных испытаний клапанных пружин показывают, что наиболее часто разрушение происходит вследствие наклепа от циклических нагрузок высокой интенсивности на месте контакта конца концевой витка с соседствующим витком, что вызывает отслоение поверхностного слоя последнего по усталостному механизму. При сжатии пружины конец концевой опорной витка прижимается к соседствующему витку почти точно, и происходит одновременно контактное сжатие высокой интенсивности, изгиб соседствующего витка вокруг контактной точки и кручение. При этом на контактной поверхности витка поле напряжения вызывает наклеп, который перерастает в упрочненный хрупкий слой [4]. Дальнейшее циклическое изменение напряжений вызывает возникновение микротрещин, которые разрастаются в макротрещины, что приводит к отслоению поверхности контакта, в результате чего под воздействием изгиба и кручения происходит разрушение витка [5, 6].

Предел усталостной прочности на износ, кручение, изгиб и контактное сжатие, при известном пределе выносливости для симметричного цикла изменения напряжений, определяется выражением

$$\sigma_r = \frac{2\sigma_{-1} \cdot \sigma_g}{\sigma_g(1-r) + \sigma_{-1}(1+r)}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{-1}$  – предел усталостной прочности для симметричного цикла изменения напряжений;  $\sigma_g$  – предел статической прочности материала (временное сопротивление);  $r$  – асимметрия цикла.

При пульсирующем цикле  $r = 0$ :

$$\sigma_{опр} = \frac{2\sigma_{-1} \cdot \sigma_g}{\sigma_g + \sigma_{-1}}. \quad (2)$$

Здесь  $\sigma_{опр}$  – предел усталостной прочности пульсирующего цикла изменения напряжений.

Для легированных сталей:  $\sigma_{-1} \approx 0,5\sigma_g$ . Тогда с учетом (2):  $\sigma_{опр} = (0,66 \div 0,67)\sigma_g$ .

Согласно [1], уравнение кривой Веллера (рис. 1) в координатах  $\sigma, -\lg N$  имеет вид

$$\sigma_{опр} + m \lg N = \sigma_g, \quad (3)$$

где  $m$  – постоянная,  $m = \alpha \sigma_g$ ;  $N$  – число циклов нагружения,  $N = f \cdot t$ ;  $f$  – частота изменения напряжения;  $t$  – продолжительность действия переменного напряжения;  $\alpha$  – коэффициент, определяемый выражением [1]

$$\alpha = \left( \frac{KE + \sigma_6}{KE} \right)^{2\mu} - 1. \quad (4)$$

Здесь  $K = \frac{\sigma_6}{\sigma_{опр}}$ ,  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Тогда

$$m = \sigma_6 \left[ \left( \frac{KE + \sigma_6}{KE} \right)^{2\mu} - 1 \right]. \quad (5)$$

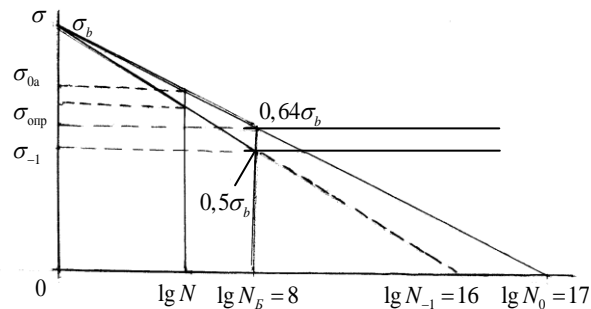


Рис. 1. Вид кривых для симметричного и пульсирующего циклов при  $N_\sigma = 10^8$

Условие длительной прочности требует, чтобы текущее напряжение  $\sigma_{оэ}$  пульсирующего цикла при сложном напряженном состоянии было бы меньше, чем предел усталостной прочности пульсирующего цикла:

$$\sigma_{оэ} \leq \sigma_{опр}, \text{ а } \bar{\sigma}_{оэ} = \bar{\tau}_c + \bar{\tau}_{кр} + \bar{\sigma}_u + \bar{\sigma}_{кc}, \quad (6)$$

где  $\bar{\tau}_c$  – вектор касательного напряжения от фрикционного взаимодействия контактирующих участков витков,  $\bar{\tau}_c = \bar{\sigma}_{кc} \cdot \gamma$ ;  $\bar{\sigma}_{кc}$  – напряжение от контактного сжатия,  $\bar{\sigma}_{кc} = \frac{\bar{P}}{\Delta F}$ ;  $\bar{P}$  – осевая нагрузка (амплитуда);  $\Delta F$  – площадь контакта.

Поскольку площадь контакта конца концевой витка с соседствующим витком в начальный момент почти точечная, то после первого акта сжатия происходит пластическая деформация, и площадь контакта увеличивается до величины [4]

$$\Delta F \approx 0,01\pi \cdot D(d - y) \text{ мм}^2.$$

Вокруг участка контакта происходит изгиб соседствующего витка с моментом изгиба  $M_u = PD/2$ , где  $D$  – средний диаметр пружины. Тогда вектор напряжения изгиба от воздействия изгибающего момента будет

$$\bar{\sigma}_u = \bar{M}_u / W,$$

где  $W$  – момент сопротивления сечения с учетом износа  $y$ ,  $W = 0,1(d - y)^3$ ;  
 $y$  – величина износа (толщина слоя).

При изгибе витка возникает и деформация скручивания вокруг оси витка.  
 Вектор напряжения от кручения будет

$$\bar{\tau}_{кр} = \frac{\bar{M}_{кр}}{W_p}, \text{ где } \bar{M}_{кр} = P \cdot D,$$

где  $W_p$  – полярный момент сечения витка, с учетом износа  $W_p = 0,2(d - y)^3$  [3].

Модуль амплитуды эквивалентного напряжения, согласно третьей теории прочности [7], будет

$$\sigma_{оэ} = \sqrt{(\sigma_u + \sigma_{кc})^2 + 3(\tau_{кр} + \tau_c)^2}. \quad (7)$$

В случае, когда  $\sigma_{оэ} \geq \sigma_{опр}$ , произойдет акт разрушения витка пружины на участке контакта конца концевой витка с соседствующим.

Из (3), (6) и (7) имеем

$$\sigma_\epsilon - \sqrt{(\sigma_u + \sigma_{кc})^2 + 3(\tau_{кр} + \tau_c)^2} = \alpha \cdot \sigma_\epsilon \cdot \ln N. \quad (8)$$

Подставляя значения  $\sigma_u, \sigma_{кc}, \tau_{кр}, \tau_c$  в (8), после несложных преобразований имеем

$$y = d - K_0 d = d(1 - K_0), \quad (9)$$

где  $K_0 = \sqrt{\frac{P}{\sigma_\epsilon (1 - \alpha \ln N)}}$ .

При  $N = 10^8$ ;  $\alpha = \frac{0,37}{8}$ ;  $D \approx 10d$ ;  $\sigma_{опр} = 0,64\sigma_\epsilon$  предельная нагрузка будет равна  $P = 128 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_\epsilon \cdot d^2$ , а

$$K_0 = 6 \cdot d \sqrt{\frac{128 \cdot 10^{-4}}{1 - 0,36}} \approx 0,846d.$$

Тогда допустимый износ при  $N = 10^8$  будет  $y = 0,154d$ .

Срок службы пружины можно определить из соотношения

$$t = N/f, N = 10^8.$$

Если клапан колеблется с частотой  $f = 10$  Гц, то срок службы будет не менее

$$t = \frac{10^8}{10} c = \frac{10^8}{10 \cdot 3600} c \approx 3000 \text{ ч.}$$

Поскольку базовое число было принято  $N_\sigma = 10^8$ , то и дальнейшая безотказная работа пружины не исключается.

При работе двигателя на предельной скорости 100 км/ч ( $n = 6000$  об/мин,  $\sigma_{0эк} = 0,64\sigma_0$ ) гарантийный срок службы клапанных пружин будет 500 часов, т.е. после пробега 50 000 км.

При работе пружины по асимметричному циклу:  $\sigma_{пр} = \sigma_a + \sigma_m$ , где  $\sigma_a$  – амплитуда напряжения,  $\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min})/2$  – среднее напряжение (рис. 2),  $\sigma_{min} = \sigma_m - \sigma_a$ ,  $\sigma_{max} = \sigma_m + \sigma_a$ .

Тогда  $\sigma_{пр} = \sigma_m(1 + \sigma_a/\sigma_m)$  для асимметрии  $r = \sigma_{min}/\sigma_{max} = 0,30$  будет

$$\sigma_{пр} = \sigma_r = \sigma_m \frac{2}{1+r}.$$

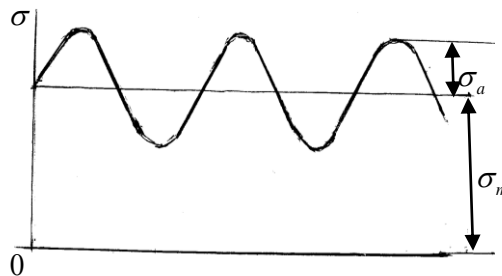


Рис. 2. Изменение напряжения по асимметричному циклу

На рис. 3 приведена зависимость амплитуды напряжения  $\sigma_a$  от  $\sigma_m$ .

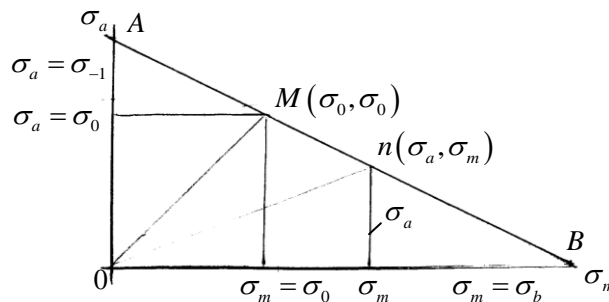


Рис. 3. График зависимости  $\sigma_a$  от  $\sigma_m$

Уравнение прямой, проходящей через точки  $A, M, N, B$ , будет

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{-1}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_0} = 1. \quad (10)$$

Тогда с учетом (10) получим уравнение прямой (см. (1)) при  $r = 0,3$ :

$$\sigma_r = \frac{\sigma_\epsilon^2}{\sigma_\epsilon (0,7 + 0,5 \cdot 1,3)} = \frac{\sigma_\epsilon}{1,45} \approx 0,7 \sigma_\epsilon. \quad (11)$$

Согласно (3),  $\sigma_r + m \lg N = \sigma_\epsilon$ .

С учетом (11) будем иметь

$$m \lg N = 0,3 \sigma_\epsilon, \quad (12)$$

а с учетом (5):

$$\lg N = \frac{0,3 \sigma_\epsilon}{\sigma_\epsilon \left( \frac{KE + \sigma_\epsilon}{KE} \right)^{2\mu} - 1}.$$

При  $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кз/см}^2$ ;  $\sigma_\epsilon = 2,8 \cdot 10^4 \text{ кз/см}^2$ ;  $K = 0,7$ :

$$\lg N = 9,1.$$

Тогда при  $N = 10^{9,1}$  и частоте  $f = 60 \text{ Гц}$  срок службы клапанной пружины будет

$$t = \frac{N}{f}; \quad t = \frac{10^{8,9}}{60 \cdot 3600} = \frac{10^{9,1-5}}{2,1} = \frac{10^4}{2,1} \approx 5,8 \cdot 10^3, \quad t = 5800 \text{ час.}$$

**Выводы.** Таким образом, допустимый износ клапанных пружин зависит от значения коэффициента асимметрии цикла, диаметра пружины и скорости изменения напряжений (частоты).

### Литература

1. **Шекян Г.Г., Хачатрян М.Н., Арутюнян А.С.** К вопросу усталостной прочности материалов // Труды VIII Международной конференции “Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред”. – Ереван, 2014. – С. 446-450.
2. **Шекян Г.Г., Геворгян В.Р., Клетцин У.** Износ клапанных пружин двигателей внутреннего сгорания // Вестник ГИУА (Политехник). Серия “Механика, машиностроение, машиноведение”. – 2014. – Вып. 17, №1. – С. 42–52.
3. **Шекян Г.Г., Геворгян В.Р., Клетцин У., Геворгян Г.Р.** Распределение давления по опорной поверхности концевой витка цилиндрической пружины сжатия // Сб. тр. Межд. науч.–техн. конф. “Технологии и техника автоматизации – 2009”. – Ереван, 2010. – С. 133-136.
4. **Горячева И.Г., Чекина О.Г.** Модель усталостного разрушения поверхностей // Трение и износ. – М., 1990. – Т. 11, №3. – С. 1-11.
5. **Шекян Г.Г.** К вопросу о факторах, снижающих долговечность подшипников высокоскоростных электрических машин // Межвузовский тематический сборник науч. тр. Серия “Машиностроение”. – Ереван, 1983. – С. 19-24.

6. **Горячева И.Г.** Расчетная оценка износа поршневых колец двигателей внутреннего сгорания // Теория и практика расчетов деталей машин на износ. – М.: Наука, 1983. – С. 123-128.
7. **Беляев Н.М.** Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 607 с.

*Поступила в редакцию 23.10.2014.  
Принята к опубликованию 16.12.2014.*

## **ՆԵՐՔԻՆ ԱՅՐՄԱՆ ՇԱՐԺԻՉՆԵՐԻ ՓԱԿԱՆԱՅԻՆ ՉՍՊԱՆԱԿՆԵՐԻ ԾԱՌԱՅՈՒԹՅԱՆ ԺԱՄԿԵՏԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՀԱՐՑԻ ՄԱՍԻՆ՝ ՀՈԳՆԱԾԱՅԻՆ ՄԱՇՄԱՆ ՀԱՇՎԱՌՈՒՄՈՎ**

**Հ.Գ. Շեկյան, Վ.Ռ. Գևորգյան**

Կոնտակտային փոխազդեցության մեխանիկայի, քայքայման մեխանիկայի և ֆրիկցիոն փոխազդեցության մեխանիկայի տեսությունների հիման վրա ուսումնասիրվել են ներքին այրման շարժիչների փականային զսպանակների մաշման, ծոման, ոլորման և քայքայման գործընթացները: Ցույց է տրված, որ գլանային զսպանակի հենարանային թելիկի վերջնամասը հարևան թելիկի հետ հպման տեղում, ցիկլիկ բեռնավորվածության հետևանքով, առաջացնում է ինտենսիվ մաշ, և սեղմման, ծոման ու ոլորման միաժամանակյա ազդեցությունից տեղի է ունենում քայքայում: Արդյունքում՝ ստացված են ամրության և մաշակայունության պայմանները, ինչպես նաև փականային զսպանակների ծառայության ժամկետի գնահատման մաթեմատիկական մոդելը:

**Առանցքային բառեր.** հոգնաձային մաշ, փականային զսպանակ, ցիկլիկ լարում, ամրության պայման, ծառայության ժամկետ:

## **ON DETERMINING THE DURABILITY OF VALVE SPRINGS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES AT THE FATIGUE WEAR**

**H.G. Shekryan, V.R. Gevorgyan**

The process of destruction of the coil neighboring the supporting coil, as a result of fatigue wear, contact compression and twisting under variable loading is investigated. It is shown, that in the contact place at the end of the supporting coil, the neighboring spire undergoes the pressure of high intensity, and near the contact, variable bend and turn (tangent) stresses arise. It is also shown that the contact site, because of high pressure intensity, is rapidly worn out under the action of variable signum stresses, and under the action of the bend and turn, a destruction takes place. A mathematical model for calculating the value of fatigue, the condition of durability of the spire and the expression for evaluating the term of service is obtained.

**Keywords:** fatigue wear, valve spring, cyclic stress, strength condition, term of service.



## **DYNAMIC ANALYSIS OF THE PLAIN BIPED WALKING MECHANISM TAKING INTO ACCOUNT THE ELASTICITY OF LINKS AND JOINTS**

**N.B. Zakaryan**

*State Engineering University of Armenia (Polytechnic)*

A seven bar plane mechanism for dynamic analysis of human bipedal locomotion is considered. In order to provide the walking gait fluency and velocity changes with minimal energy consumption the link and joint elasticity is taken into account. The two methods (Lagrangian and Gibbs-Appell) of dynamic modeling are proposed. Significant deviations of dynamic analysis results with and without consideration of elasticity are revealed and it is shown that in contrast to the Lagrangian method, the application of the Gibbs-Appell method requires simpler calculations. The necessity of biped locomotion is shown.

**Keywords:** bipedal locomotion, seven bar plane mechanism, dynamic analysis, elasticity of links and joints, Lagrangian method, Gibbs-Appell method.

**Introduction.** The motion of living organisms by means of legs, especially the locomotion of bipeds has always been a challenging problem to scientists of different vocations: biologists, physiologists, medical specialists, mathematicians, and engineers. In spite of their efforts, however this problem has not been solved yet in a satisfactory way.

From the viewpoint of mechanics, the motion of bipeds can be interpreted as a result of changes in equilibrium conditions within the fields of forces in which the system finds itself. The spontaneous motion due to the redistribution of tension in muscle groups modifies the relations between forces, bringing these relations to equilibrium or taking them away from the equilibrium position [1]. The study of these systems and their motion requires certain simplifications [2], because the anthropomorphic mechanisms represent extremely complex dynamic systems from the aspects of mechanical-structural and control system complexity. Such a system involves great dynamic complexity, even if it is idealized to a system of rigid levers with simple torque generators acting on each joint, but the elastic behavior of the components of a robot manipulator will tend to induce both static and dynamic errors between the desired and actual trajectories and end-effector positions [3]. In 1970s Honda started wide research on bipedal robots followed by numerous research projects performed by mainly Japan's companies and universities. Even though the research topic is relatively old, the bipedal walking robots need to be improved

because the technology maturity has not been reached and this indicates that the bipedal robot overall design is a very complex task. To understand the mechanical bipedal robots' mechanical design, it is necessary first to understand the bipedal walking process or bipedal locomotion. It is also called walking gait, that is the repetitive sequence of leg movements to allow locomotion.

**Problem statement.** The biped model is depicted in Figure 1 and the figure shows the definition of the chosen Lagrange coordinates. These coordinates are the absolute angles of each link of the mechanism, and are measured with respect to the horizontal axis. The first link simulates the torso, the 2-nd and the 3-rd simulate the thighs, the 4-th and the 5-th – the legs, the 6-th and the 7-th – the feet. The forces applied on the mechanism are shown in Figure 2. They are internal forces: moments  $M_1$  and  $M_2$  applied between the thighs and the torso,  $M_3$  and  $M_4$  applied in the knee joints,  $M_5$  and  $M_6$  applied in the ankle joints, and external forces:  $F_G$ ,  $F_H$  forces,  $M_G$ ,  $M_H$  moments that are applied on points G and H.

The number of DOF is determined using the following formula:

$$W = 3n - 2p_5. \quad (1)$$

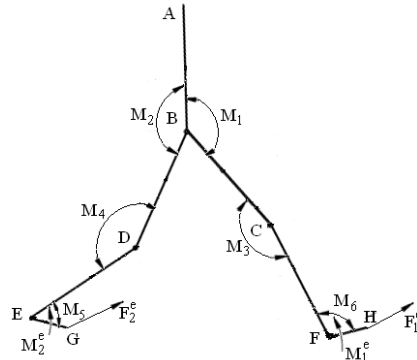


Fig. 1. Biped model

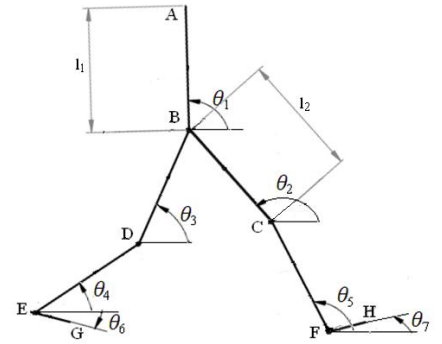


Fig. 2. Definition of internal and external forces and moments

With the swing feet included, the mechanism has 9 DOF if the mechanism is assumed to move only in the sagittal plane. These degrees of freedom are represented by the 9-dimensional vector:

$$q = (\theta_1 \ \theta_2 \ \theta_3 \ \theta_4 \ \theta_5 \ \theta_6 \ \theta_7 \ x \ y)^T. \quad (2)$$

The dynamics is represented by equations of motion of which the  $i$ -th equation can be written with the Lagrange formulation as:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial P}{\partial q_i} = Q_i \quad (i = 1, 2, \dots, 9) \quad (3)$$

with  $T$  and  $P$ , respectively the total kinetic and gravitational energy of the mechanism,  $Q_i$  are the generalized forces associated with the generalized coordinates  $q_i$ .

The total kinetic energy can be found by the summation of the separate kinetic energy values of each link:

$$T = \sum_{i=1}^7 T_i$$

or

$$T = T_{AB} + T_{BC} + T_{BD} + T_{DE} + T_{CF} + T_{EG} + T_{FH}.$$

If the links of the mechanism are assumed to be rigid, the kinetic energy can be defined as follows:

$$T_i = \frac{1}{2} \int_0^{l_i} \rho(y_i) A(y_i) (\bar{V}_{Gi}^0 \cdot \bar{V}_{Gi}^0) dy_i + \frac{1}{2} I_i \omega_i^2,$$

where

$$\bar{V}_{Gi}^0 = \sum_{i=1}^7 (\dot{R}_{i-1}^0 \bar{r}_{i-1}) + \dot{R}_i^0 \bar{r}_{Gi},$$

$$R_i^0 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_i & -\sin \theta_i \\ 0 & \sin \theta_i & \cos \theta_i \end{vmatrix}$$

otherwise:

$$T_i = \frac{1}{2} \int_0^{l_i} \rho(y_i) A(y_i) (\bar{V}_i^0 \cdot \bar{V}_i^0) dy_i + \frac{1}{2} \int_0^{l_i} I_i \left( \dot{\vartheta}_i^0(y_i, t) \cdot \dot{\vartheta}_i^0(y_i, t) \right) dy_i + \frac{1}{2} I_i \omega_i^2,$$

$$\bar{r}_{Gi}^0 = \begin{pmatrix} 0 \\ y_i \\ \varphi_i(y_i, t) \end{pmatrix}.$$

$\rho(y_i)$  is the  $i$ -th link material density,  $I_i$  – the link cross sectional moment of inertia,  $\vartheta_i(y_i, t)$  – the torsional displacement,  $\varphi_i(y_i, t)$  – the flexural displacement.

With the kinetic energy expressions determined, the complete potential energy levels must now be evaluated in order to form Lagrangian function. The potential energy is formed due to the links' gravity and elasticity and determined by the following expressions:

$$P_{igr} = \int g \bar{r}_i^0 dm_i,$$

$$P_{iel} = \frac{1}{2} \int_0^{l_i} GI(y_i) (\partial \vartheta_i(y_i, t) / \partial y_i)^2 dy + \frac{1}{2} \int_0^{l_i} EI(y_i) (\partial^2 \varphi_i(y_i, t) / \partial y_i^2)^2 dy + \frac{1}{2} c_i q_i^2,$$

$$P_i = P_{igr} + P_{iel},$$

where  $GI$  – is the torsional rigidity,  $EI$  – the flexural rigidity.

Finally, we can determine the kinetic and potential energies of all links and sets in the Lagrange equations of motion.

**Dynamic analysis of a flexible biped mechanism using recursive Gibbs-Appell formulation.** A new method for deriving the dynamic equations of motion for flexible biped mechanism is developed by using the Gibbs-Appell assumed modes method. By using this method, all the mathematical operations are performed by only  $3 \times 3$  or  $3 \times 1$  matrices. As it is shown, this method is computationally simpler and more efficient than the classical recursive Lagrangian method, and it largely reduces the computational complexity.

In this method, the equation of motion for a flexible mechanism is written in the following form:

$$I(\theta)\ddot{\bar{\theta}} = \bar{F},$$

where  $I(\theta)$  – is the inertia matrix of the whole system,  $\bar{\theta}$  denotes the vector of the generalized coordinate containing joint and deflection variables, and  $\bar{F}$  is the vector composed of the strain, gravitational, Coriolis, centrifugal forces or torques and also the generalized forces or torques exerted to the joint and link variables .

The generalized force in joint equations is the torque that applies to joints, but in deflection equations, the corresponding generalized force will be zero, if the corresponding modal deflections or rotations have no displacement at the locations where external forces are applied. With this assumption, the dynamic equation of motion in Gibbs-Appel formulation will be written as follows.

$$\frac{\partial S}{\partial \dot{q}_j} = \tau_j, \frac{\partial S}{\partial \delta_j} + \frac{\partial P_e}{\partial \delta_j} = 0,$$

where  $S$  is the summation of all the links' acceleration energy,  $\ddot{q}_j$  and  $\ddot{\delta}_j$  are the generalized accelerations.

The partial derivative of Gibb's function with respect to  $\ddot{q}_j$  becomes:

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial \dot{q}_j} &= \sum_i^n \frac{\partial \dot{r}_{O_i}^T}{\partial \dot{q}_j} (M_i \ddot{r}_{O_i} + I_{1i} - 2I_{2i} \bar{\omega}_i - I_{3i} \dot{\bar{\omega}}_i - \bar{\omega}_i I_{3i} \bar{\omega}_i) + \frac{\partial \dot{\bar{\omega}}_i^T}{\partial \dot{q}_j} (I_{3i} \ddot{r}_{O_i} + I_{6i} + \\ &\quad + 2I_{8i} \bar{\omega}_i + I_{9i} \dot{\bar{\omega}}_i + \bar{\omega}_i I_{9i} \bar{\omega}_i), \\ \frac{\partial S}{\partial \dot{\delta}_j} &= \sum_i^n \frac{\partial \dot{r}_{O_i}^T}{\partial \dot{\delta}_j} (M_i \ddot{r}_{O_i} + I_{1i} - 2I_{2i} \bar{\omega}_i - I_{3i} \dot{\bar{\omega}}_i - \bar{\omega}_i I_{3i} \bar{\omega}_i) + \\ &\quad + \frac{\partial \dot{\bar{\omega}}_i^T}{\partial \dot{\delta}_j} (I_{3i} \ddot{r}_{O_i} + I_{6i} + 2I_{8i} \bar{\omega}_i + I_{9i} \dot{\bar{\omega}}_i - \bar{\omega}_i I_{9i} \bar{\omega}_i) + \sum_{k=1}^m \delta_{jk} c_{jk} - \\ &\quad - 2\omega_j^T \sum_{k=1}^m \delta_{jk} c_{jk} - \bar{\omega}_j^T \beta_j \bar{\omega}_j + \dot{r}_{O_i}^T \bar{\varepsilon}_j + \dot{\bar{\omega}}_j^T \bar{\alpha}_j. \end{aligned}$$

The potential energy of the system is derived due to gravity and due to elastic deformations, it will be expressed in terms of deflections and rotations as follows:

$$P_e = \frac{1}{2} \int_0^{l_i} \left( EA \left( \frac{\partial u_i}{\partial \eta} \right)^2 + EI_y \left( \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial \eta^2} \right)^2 + GI_x \left( \frac{\partial \theta_{xi}}{\partial \eta} \right)^2 \right) d\eta,$$

$$\bar{\alpha}_j = \bar{c}_j + \sum_{k=1}^m \delta_{ik} \bar{c}_{ikj}, \beta_{ij} = c_j + \sum_{k=1}^m \delta_{ik} c_{ikj}, \bar{\varepsilon}_{ij} = \int_0^{l_i} \mu \bar{r}_{ij} d\eta,$$

where  $EI_y$  is the bending stiffness in the  $OY$  direction,  $EA$  is the extensional stiffness,  $GI_x$  is the torsional stiffness.  $u_i, \omega_i$  are the deflections in the  $OX$  and  $OY$  directions,  $\theta_{xi}$  is the rotation in the  $OX$  direction,  $\eta$  is the undeformed distance between the origin  $O_i$  and the arbitrary point on the link,  $M_i$  is the total mass of the  $i$ th link,  $c_{jk}$  represents the rigid-body-inertia terms,  $\mu$  is the mass per unit length.

**Computational simulation.** For forward dynamic problem solving the  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_7$  angles,  $x, y$  coordinates and the links' displacement laws varying on the time, links weights ( $m_1, m_2, \dots, m_7$ ) and lengths ( $l_1, l_2, \dots, l_7$ ) are considered to be known. We will determine torques for the hip joint (Fig. 3) and the knee joint (Fig. 4) for the rigid-link mechanism ( $T_1, T_2$ ) and for the elastic-link mechanism ( $T_{1el}, T_{2el}$ ) using the recursive Lagrangian method.

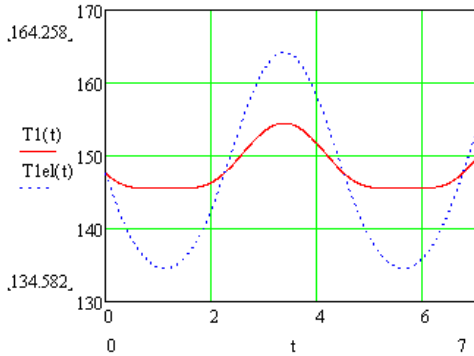


Fig. 3. Hip joint torque

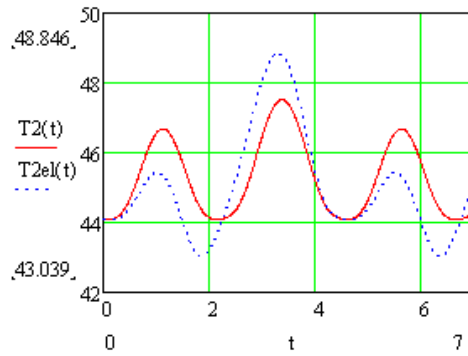


Fig. 4. Knee joint torque

The difference between the values of the torques for the rigid-link mechanism and the elastic-link mechanism is about 5%.

The same problem for the elastic-link mechanism is solved by using the Gibbs-Appell method that due to its simplicity allows to avoid some of the computational difficulties and obtain more accurate values for torques (Fig. 5, 6).

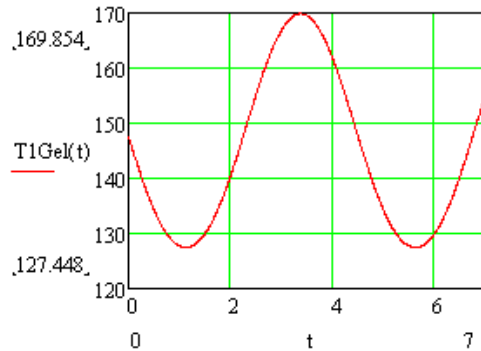


Fig. 5. Hip joint torque

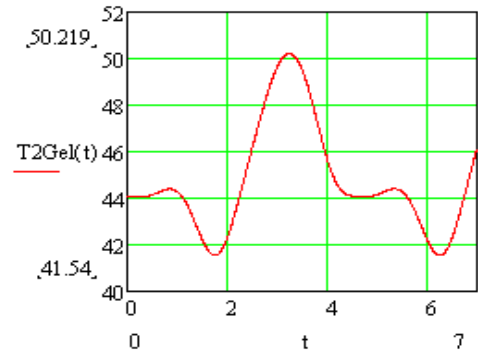


Fig. 6. Knee joint torque

As shown in the figures, in case of dynamic simulation with the Gibbs-Appell method, the values of torques are reduced about 3,5%.

### Conclusions

1. The dynamic modeling of biped walking mechanism taking into account the links' and joints' elasticity is introduced. It has an essential influence on the character of locomotion, provides a walking fluency and velocity variation with minimal energy consumption. The results of dynamic simulation of the rigid link and elastic link mechanisms are compared.
2. The two methods (Lagrangian and Gibbs-Appell) of dynamic modeling are proposed and the computational simplicity and the greater accuracy of the Gibbs-Appell method are revealed.

### References

1. **Vanderborght B.V.** Dynamic stabilization of the biped Lucy powered by actuators with controllable stiffness // Springer tracts in advanced robotics. - Brussel, Belgium, 2010. – P. 227-232.
2. **Korayem M.H., Shafei A.M.** Motion equations proper for forward dynamics of robotic manipulator with flexible links by using recursive the Gibbs-Appell formulation // Sharif university of technology. – Iran, December, 2009. – P. 1-17.
3. **Hinds J.C.** Simulation of a two link robot manipulator with elastic members // University of Pennsylvania, school of engineering and applied science. – May, 1988. – P. 28-55.

*Received on 16.09.2014.*

*Accepted for publication on 16.12.2014.*

**ՄԱՐԴՈՒ ՔԱՅԼՔԻ ՀԱՐԹ ՄԵԽԱՆԻԶՄԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆ՝  
ՕՂԱԿՆԵՐԻ ԵՎ ՀՈԴԵՐԻ ԷԼԱՍՏԻԿՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՌՄԱՄԲ**

**Ն.Բ. Զաքարյան**

Մարդու երկոտանի քայլքի դինամիկական վերլուծության նպատակով դիտարկված է հարթ յոթօղակ մեխանիզմ: Քայլքի սահունությունը և արագությունների փոփոխությունը նվազագույն էներգածախսով ապահովելու համար հաշվի է առնված օղակների և հոդերի էլաստիկությունը: Առաջարկվել է դինամիկական վերլուծության երկու եղանակ՝ Լագրանժի և Գիբս-Ապելի: Ի հայտ են եկել էլաստիկության հաշվառմամբ և առանց հաշվառման դինամիկական վերլուծությունների արդյունքների զգալի շեղումներ, և ի տարբերություն Լագրանժի մեթոդի՝ Գիբս-Ապելի մեթոդը կիրառելիս նկատվել է հաշվարկների անհամեմատ պարզություն: Աշխատանքում ցույց է տրված երկոտանի քայլքն ուսումնասիրելու անհրաժեշտությունը: Վերջնական նպատակն է՝ երկոտանի քայլքին նպաստող սարքի նախագծման սկզբունքների մշակումը և մարդու բնական քայլքի կրկնօրինակումը:

**Առանցքային բաներ.** երկոտանի քայլք, յոթօղակ հարթ մեխանիզմ, դինամիկական վերլուծություն, օղակների և հոդերի էլաստիկություն, Լագրանժի մեթոդ, Գիբս-Ապելի մեթոդ:

**ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЛОСКОГО МЕХАНИЗМА ХОДЬБЫ  
ЧЕЛОВЕКА С УЧЕТОМ ЭЛАСТИЧНОСТИ ЗВЕНЬЕВ И СУСТАВОВ**

**Н.Б. Закарян**

Для динамического анализа двуногой ходьбы человека представлен плоский семизвенный механизм. В целях обеспечения плавности движения и изменения скорости с минимальным потреблением энергии учтена эластичность звеньев и суставов. Предложены два метода динамического анализа: Лагранжа и Гиббса-Аппелля. Выявлены значительные отклонения динамических результатов анализа с учетом и без учета эластичности. В отличие от метода Лагранжа, при использовании метода Гиббса-Аппелля видна простота расчетов. Показана необходимость исследования двуногой ходьбы.

**Ключевые слова:** двуногая ходьба, плоский семизвенный механизм, динамический анализ, эластичность звеньев и суставов, метод Лагранжа, метод Гиббса-Аппелля.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РОТОРНЫХ БУНКЕРНЫХ  
ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ С ВРАЩАЮЩИМИСЯ ВОРОНКАМИ  
ДЛЯ ШТУЧНЫХ ПРЕДМЕТОВ ОБРАБОТКИ**

**М.К. Галонска<sup>1</sup>, В.В. Прейс<sup>2</sup>, Б.С. Баласанян<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Филиал ОАО “Конструкторское бюро приборостроения”, “ЦКИБ  
спортивно-охотничьего оружия”, Тула, Россия

<sup>2</sup>Тульский государственный университет, Россия

<sup>3</sup>Государственный инженерный университет Армении (Политехник)

Предлагаются пути совершенствования роторных бункерных загрузочных устройств с вращающимися воронками для штучных осесимметричных предметов обработки формы тел вращения, направленные на обеспечение надежной загрузки стержневых предметов обработки в широком диапазоне изменения соотношения их габаритных размеров. Рассматриваются теоретические основы проектирования роторных бункерных загрузочных устройств с вращающимися воронками на заданную производительность. Надежность роторной системы автоматической загрузки (САЗ) обеспечивается на стадии проектирования рациональным выбором её расчетных технических параметров с учетом функциональных и параметрических отказов САЗ и выбором стратегии обслуживания на этапе эксплуатации. Одним из направлений повышения надежности роторных САЗ является создание резервированных систем методами замещения с ненагруженным или нагруженным резервом.

**Ключевые слова:** роторное бункерное загрузочное устройство, вращающаяся воронка, штучный предмет обработки, проектирование, производительность.

**Введение.** В ряде отраслей машино- и приборостроения одним из эффективных направлений комплексной автоматизации массовых производств многоэлементных изделий (строительно-монтажных патронов, приводных втулочно-роликовых цепей и др.) являются технологические системы, создаваемые на основе роторных (роторно-конвейерных) машин (РМ/РКМ).

**Метод исследования.** При эксплуатации технологических систем на базе РМ/РКМ их показатели надежности во многом определяются надежностью функционирования САЗ штучных предметов обработки (заготовок, элементов, деталей). Требования к надежности функционирования САЗ многократно возрастают при автоматизации процессов сборки многоэлементных изделий массового выпуска, поскольку в структуре сборочной РМ/РКМ имеется несколько параллельно работающих систем для подачи собираемых элементов в соответствии с технологическим процессом сборки [1].



Автоматическая загрузка штучных предметов обработки в РМ/ПКМ с производительностью более 400 шт./мин осуществляется роторными САЗ [2], представляющими собой многопозиционные непрерывно вращающиеся системы, построенные по принципу технологических роторных машин (рис. 1).

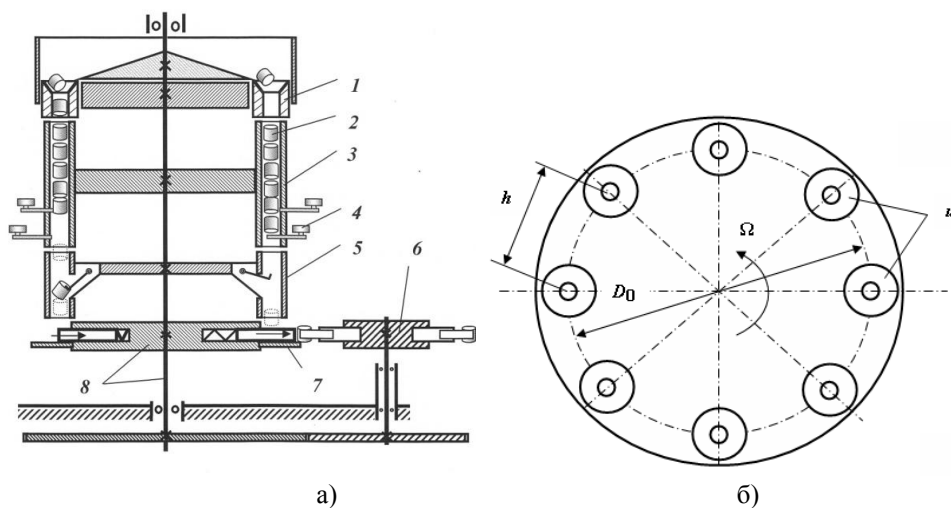


Рис. 1. Типовая схема роторной САЗ однороторной компоновки: а – продольный разрез; б – вид сверху; 1 – вращающаяся воронка; 2 – предмет обработки; 3 – накопитель; 4 – механизм поштучной выдачи; 5 – ориентатор; 6 – транспортный ротор; 7 – шиберный питатель; 8 – транспортно-несущее устройство

В структуре роторных САЗ для загрузки осесимметричных предметов обработки формы тел вращения с явно выраженной асимметрией геометрической формы или продольной асимметрией центра масс эффективно применение бункерных загрузочных устройств (БЗУ) с захватывающими органами в виде вращающихся воронок 1, которые обладают широкой универсальностью, высокой производительностью, структурной и кинематической простотой. Предметы обработки 2, захваченные вращающимися воронками, поступают в накопители 3, откуда механизмами поштучной выдачи 4 выдаются в ориентаторы 5, ориентируются и питателями 7 выдаются в приемные органы транспортного ротора РМ/ПКМ. Все функциональные устройства роторной САЗ смонтированы на непрерывно вращающемся транспортно-несущем устройстве 8.

**Результаты исследования.** Проведенный анализ позволил обосновать, что наиболее рациональным способом, позволяющим интенсифицировать процесс захвата предметов обработки в конструкциях многопозиционных роторных БЗУ, является изменение конфигурации приемной части вращающейся воронки,

поскольку это не требует введения дополнительных элементов. Разработаны различные конструкции захватывающих органов в виде вращающихся воронок, обеспечивающие надежный захват осесимметричных предметов обработки формы тел вращения с различным отношением их габаритных размеров:

- с приемной частью, составленной из двух усеченных конусов (рис. 2а), геометрическая ось которых смещена относительно оси вращения воронки, и частью криволинейной конфигурации [3] для захвата равноразмерных предметов обработки с отношением габаритных размеров  $1,2 \leq l/d < 1,5$ ;

- с приемной частью, выполненной в виде одного наклонного конуса (рис. 2б), геометрическая ось которого смещена и наклонена относительно оси вращения воронки для захвата стержневых предметов обработки с отношением габаритных размеров  $2 \leq l/d \leq 5$ ;

- с многоэлементной приемной конической частью (рис. 2в), которая выполнена в виде нескольких сопрягаемых между собой наклонных конусов с последовательно снижающимися углами при их вершинах и увеличивающимися углами наклона относительно оси вращения воронки для захвата стержневых предметов обработки с отношением габаритных размеров  $5 < l/d \leq 10$ .

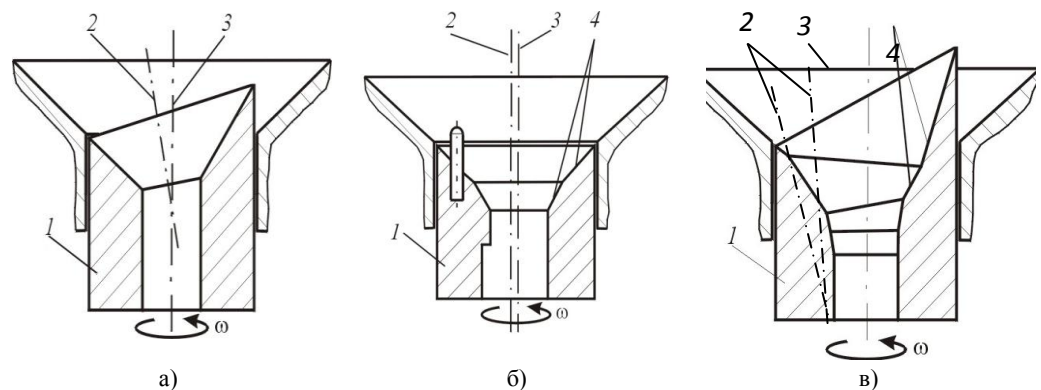


Рис. 2. Захватывающие органы в виде вращающихся воронок: а – с приемной частью в виде двух усеченных конусов; б – с приемной частью в виде одного наклонного конуса; в – с многоэлементной конической приемной частью; 1 – воронка; 2 – геометрическая ось конуса; 3 – ось вращения воронки; 4 – поверхности конусов приемной части

Применение БЗУ с вращающимися воронками позволяет создавать эффективные роторные САЗ, обеспечивающие требуемую производительность в рациональных габаритах системы, удобство обслуживания и ремонта. Цикловая производительность роторной САЗ [шт./мин], как технологической машины роторного типа, определяется известными выражениями

$$\Pi_y = 60 \Omega R_0 / h = 30 \Omega D_0 / h = n_p u, \quad (1)$$

где  $\Omega$  – угловая скорость роторной САЗ (БЗУ),  $rad/c$ ;  $R_0 = 0,5D_0$  – соответственно начальные радиус и диаметр САЗ (БЗУ);  $h$  – шаг захватывающих органов БЗУ на рабочих позициях САЗ,  $m$  (см. рис. 1б);  $u$  – число рабочих позиций роторной САЗ, равное числу захватывающих органов (вращающихся воронок) БЗУ;  $n_p$  – число оборотов в минуту роторной САЗ (БЗУ).

Условие компоновки БЗУ в роторной САЗ:

$$\bar{\Pi}_{\Phi_{БЗУ}} \cdot u > \Pi_{Ц}, \quad (2)$$

где  $\bar{\Pi}_{\Phi_{БЗУ}}$  – производительность одной позиции роторного БЗУ (одной вращающейся воронки).

Тогда число вращающихся воронок роторного БЗУ, обеспечивающих требуемую производительность и определяющих габариты роторной САЗ в поперечном сечении, в соответствии с выражениями (1), (2) должно удовлетворять неравенству

$$u > 30 \Omega D_0 / h \bar{\Pi}_{\Phi_{БЗУ}}. \quad (3)$$

Таким образом, чем выше производительность одной вращающейся воронки БЗУ при меньших значениях угловой скорости ротора, тем меньше число рабочих позиций роторной САЗ, а следовательно, и её габариты.

Фактическая производительность роторного БЗУ с захватывающими органами в виде вращающихся воронок равна

$$\bar{\Pi}_{\Phi_{БЗУ}} = c_{max} n_B \eta, \quad (4)$$

где  $c_{max}$  – максимальное число предметов обработки, которое может быть захвачено за один оборот воронки;  $n_B$  – число оборотов воронки в минуту;  $\eta$  – коэффициент выдачи БЗУ.

Коэффициент выдачи роторного БЗУ с позиций методологического подхода, предложенного автором, трактуется, как вероятность того, что параметры потока штучных предметов обработки, формируемого на выходе БЗУ, а именно – их шаг и скорость, будут близки к экстремальным значениям, соответствующим параметрам идеального или идеально плотного потока, который может сформировать БЗУ в соответствующем физическом поле сил. В соответствии с этим положением коэффициент выдачи определяют как произведение двух коэффициентов, имеющих вероятностный смысл:

$$\eta = k_h k_v, \quad (5)$$

где  $k_h$  – стохастический коэффициент преобразования шага идеального потока предметов обработки;  $k_v$  – стохастический коэффициент преобразования скорости идеального потока предметов обработки.

Математические описания стохастических коэффициентов преобразования получены в виде произведений некоторых вероятностей, учитывающих

взаимное влияние геометрических параметров предмета обработки, геометрических и кинематических параметров захватывающей воронки БЗУ на процесс захвата и выдачи предмета обработки вращающейся воронкой. Для оценки влияния центробежной силы инерции, возникающей вследствие транспортного вращения роторного БЗУ и действующей на предмет обработки в процессе его захвата и выдачи вращающейся воронкой, предложен безразмерный динамический параметр  $z_5 = \Omega^2 D_0 / g$ .

Разработаны математические модели, позволяющие прогнозировать фактическую производительность роторного БЗУ (4), (5) при проектировании и выбрать число его рабочих позиций (3), обеспечивающее требуемую цикловую производительность роторной САЗ (1) и условие компоновки (2). Показано, что для равноразмерных предметов с отношением размеров  $1,2 \leq l/d < 1,5$  в формуле (4) следует принимать значение  $2 < c_{max} \leq 6$ ; для стержневых предметов обработки с отношением  $2 \leq l/d \leq 5$  – значение  $1,2 < c_{max} \leq 2$ ; для тонких стержней с отношением  $8 \leq l/d \leq 10$  –  $c_{max} = 1$  [3-5].

В частности, математическая модель фактической производительности роторного БЗУ с вращающейся воронкой, имеющей многоэлементную приемную коническую часть (рис. 2в) для захвата тонких стержневых предметов обработки, представлена в следующем виде:

$$P_{\Phi_{БЗУ}} = u c_{max} \frac{30\omega}{\pi} \cdot [1 - \arctg \mu(0,9 + 1,4z_1)/\pi(1 + 2z_1)] \cdot e^A, \quad (6)$$

$$A = -0,7e^{-5(2 - \sin\alpha_{max}/z_2 - z_1 \cos\alpha_{max}/z_2)} -$$

$$-0,69\sqrt{z_1 z_4 / [(\sin\alpha_{min} - \mu \cos\alpha_{min}) + z_5(\cos\alpha_{min} + \mu \sin\alpha_{min})]} -$$

$$-7e^{-6,5\{(\sin\alpha_{max} - \mu \cos\alpha_{min}) - (z_4(z_2 - 1) + z_5) \cdot (\cos\alpha_{max} + \mu \sin\alpha_{max})\}},$$

где  $\mu$  – коэффициент трения скольжения предмета обработки о направляющие поверхности БЗУ и воронки;  $z_1 = l/d, z_2 = D/d, D$  – диаметр выходного цилиндрического отверстия воронки;  $\alpha_{max}$  – максимальный угол наклона образующей нижнего усеченного конуса приемной части воронки;  $\alpha_{min}$  – минимальный угол наклона образующей верхнего усеченного конуса приемной части воронки;  $z_4 = \omega^2 d / 2g$  – безразмерный динамический параметр.

Исследованиями выявлена и обоснована двойственность влияния центробежной силы инерции, возникающей вследствие транспортного вращения роторного БЗУ, на его фактическую производительность. При увеличении динамического параметра  $z_5$  фактическая производительность роторного БЗУ по сравнению со стационарным БЗУ ( $z_5 = 0$ ) растет, достигая максимальных значений (на 20...25 % выше, чем для стационарного БЗУ) при некотором предельном значении  $0,3 \leq z_5 \leq 0,8$ , а затем снижается. При этом с увеличением

угловой скорости воронки  $\omega$ , а следовательно, и динамического параметра  $z_4$  такое увеличение производительности роторного БЗУ идет интенсивнее.

На рис. 3 представлена зависимость фактической производительности однопозиционного ( $u = 1$ ) роторного БЗУ с вращающейся воронкой от динамических параметров  $z_4$  и  $z_5$  для тонкого стержневого предмета обработки длиной  $l=0,08$  м, отношением габаритных размеров  $z_1=10$  и коэффициентом трения о направляющие поверхности воронки  $\mu = 0,35$ . Показано, что существенное влияние на максимальное значение фактической производительности роторного БЗУ оказывают отношение габаритных размеров и коэффициент трения скольжения предметов обработки о направляющие поверхности вращающейся воронки. Так, увеличение коэффициента трения с 0,15 до 0,45 приводит к снижению максимума значения фактической производительности роторного БЗУ на 25...50% в зависимости от отношения размеров загружаемых предметов обработки. Результаты исследований фактической производительности роторных БЗУ с вращающимися воронками для различных предметов обработки подтвердили теоретические выводы, полученные на основе компьютерного моделирования производительности роторных БЗУ по разработанным математическим моделям.

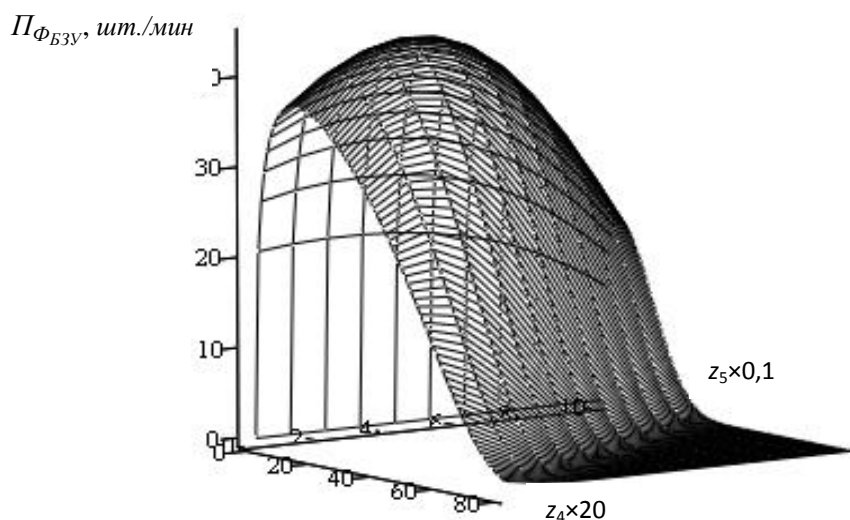


Рис. 3. Зависимость фактической производительности роторного бункерного загрузочного устройства с вращающейся воронкой от динамических параметров  $z_4$  и  $z_5$  для тонкого стержневого предмета обработки ( $l=0,08$  м;  $z_1=10$ ;  $\mu = 0,35$ )

Математические модели, результаты компьютерного моделирования и экспериментальных исследований производительности роторных БЗУ с

вращающимися воронками различной конфигурации были положены в основу методик параметрического синтеза роторных САЗ, реализованных в виде программных модулей и компьютерных программ [6].

В результате комплекса проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны теоретические основы проектирования роторных БЗУ [5], обеспечивающие разработку эффективных роторных САЗ для загрузки разнообразных осесимметричных предметов обработки формы тел вращения с отношением габаритных размеров от 1,2 до 10 с заданной производительностью.

**Выводы.** Надежность роторной САЗ обеспечивается на стадии проектирования рациональным выбором её расчетных технических параметров с учетом функциональных и параметрических отказов САЗ и выбором стратегии обслуживания на этапе эксплуатации. Одним из направлений повышения надежности роторных САЗ является создание резервированных систем методами замещения с ненагруженным или нагруженным резервом [4].

#### Литература

1. **Прейс В.В.** Надежность автоматических роторно-конвейерных линий для сборки многоэлементных изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2003. – № 10. – С. 17-22.
2. **Галонска, М.К., Прейс В.В.** Модели, варианты и принципы синтеза структур роторных систем автоматической загрузки // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – Вып. 12. – С. 30-40.
3. **Прейс В.В., Галонска М.К.** Бункерные загрузочные устройства с вращающимися воронками криволинейного профиля / Под ред. В.В. Прейса. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2004. – 128 с.
4. **Прейс В.В.** Надежность роторных систем автоматической загрузки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – 110 с.
5. **Галонска М.К., Ионов А.О., Прейс В.В.** Теоретические основы проектирования роторных бункерных загрузочных устройств с вращающимися воронками // Известия ТулГУ. Технические науки. В 2-х ч. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – Вып. 7, ч. 1. – С. 21-29.
6. **Галонска М.К., Прейс В.В.** Программный модуль синтеза оптимальных конфигураций захватывающих воронок бункерного загрузочного устройства // Известия ТулГУ. Технические науки. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. – Вып. 1. – С. 123-133.

*Поступила в редакцию 26.10.2014.  
Принята к опубликованию 16.12.2014.*

**ՊՏՏՎՈՂ ԶԱԳԱՐՆԵՐՈՎ ՌՈՏՈՐԱՅԻՆ ԲՈՒՆԿԵՐԱՅԻՆ ԲԵՌՆԱՎՈՐՈՂ ՍԱՐՔԵՐԻ  
ԿԱՏԱՐԵԼԱԳՈՐԾՈՒՄԸ ՀԱՏԱՅԻՆ ԱՌԱՐԿԱՆԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՄԱՐ**

**Մ.Կ. Գալոնսկա, Վ.Վ. Պրեյս, Բ.Ս. Բալասանյան**

Առաջարկվում են պտտվող ձագարներով ռոտորային բունկերային բեռնավորող սարքերի կատարելագործման ուղիներ պտտվող մարմինների ձևի մշակման հատային առանցքասիմետրիկ առարկաների համար՝ ուղղված մշակման փողային առարկաների հուսալի բեռնավորման ապահովմանը նրանց գաբարիտային չափերի հարաբերակցության փոփոխման լայն միջակայքում: Դիտարկվում են ձագարներով ռոտորային բունկերային բեռնավորող սարքերի նախագծման տեսական հիմունքները: Ավտոմատ բեռնավորման համակարգի (ԱԲՀ) հուսալիությունն ապահովվում է նախագծման փուլում նրա տեխնիկական հաշվարկային պարամետրերի արդյունավետ ընտրությամբ՝ հաշվի առնելով ԱԲՀ-ի գործառական և պարամետրական խափանումները, և սպասարկման ստրատեգիայի ընտրությամբ՝ շահագործման փուլում: Ռոտորային ԱԲՀ-երի հուսալիության բարձրացման ուղիներից է պահուստավոր համակարգերի ստեղծումը պահուստով բեռնավորված կամ չբեռնավորված դեպքերի փոխարինման մեթոդներով:

**Առանցքային բառեր.** ռոտորային բունկերային սարք, պտտվող ձագար, մշակման հատային առարկա, նախագծում, արտադրողականություն:

**IMPROVING THE ROTOR HOPPER CHARGING DEVICE WITH REVOLVING  
FUNNELS FOR PIECE OBJECT MACHINING**

**M.K. Galonska, V.V. Preys, B.S. Balasanyan**

Ways of improving the rotor hopper charging devices with revolving funnels for piece axisymmetrical objects of machining of the form of the revolution bodies aimed at supporting the reliable charging of the core objects of machining in a wide range of the change in the ratio of their dimensions are proposed. The theoretical fundamentals of designing rotor hopper charging devices with revolving funnels according to the preset productivity are considered. The reliability of the rotor system of automatic charging (SAC) is provided at the designing stage by a rational choice of its design technical variables taking into account the functional and parametric failures of SAC, and the selection of the servicing strategy in the operation phase. One of the ways of increasing the reliability of rotor SAC is the creation of redundant systems by the substitution methods with charged or discharged reserve.

**Keywords:** rotor hopper charging device, revolving funnel, piece objects of machining, design, productivity.

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ НА СТАНКЕ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В.Ф. Макаров<sup>1</sup>, С.П. Никитин<sup>1</sup>, А.Х. Сакаев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия

<sup>2</sup>ОАО “Пермский моторный завод”, Россия

Проведен сравнительный анализ обработки профильных поверхностей лопаток турбины на многокоординатном шлифовальном станке и по традиционной технологической схеме. Показано практическое значение и подтверждается эффективность применения многокоординатной обработки. В виде графиков приведены результаты тестов, произведенных на оборудовании. Отмечается, что наиболее предпочтительным методом обработки профильных поверхностей является многокоординатная обработка. Установлено существенное снижение растягивающих остаточных напряжений при использовании метода многокоординатного шлифования на станке с числовым программным управлением, что способствует повышению усталостной прочности и долговечности работы лопаток.

**Ключевые слова:** поверхность лопаток, газотурбинный двигатель, многокоординатное шлифование, числовое программное управление (ЧПУ).

**Введение.** Для рабочих и сопловых лопаток газотурбинных двигателей (ГТД) применяются наиболее труднообрабатываемые жаропрочные литейные никелевые сплавы типа: ЖС32-ВИ; ЖС6У-ВИ; ЖС6К-ВИ; ЖС26-ВИ; ВКНА-25; ВХ4Л-ВИ; ЧС88; ЧС104; АМ1; Rene125; DS200; In100 и др. Основным технологическим процессом обработки базовых поверхностей лопаток турбин является механическая обработка. При этом требуется обеспечить низкую шероховатость поверхности ( $Ra \leq 1,25 \text{ мкм}$ ) и высокую точность профиля ( $\pm 0,05 \text{ мм}$ ). Жаропрочные сплавы удовлетворительно можно обрабатывать только методом шлифования. В то же время установлено, что применение процессов шлифования осложняется тем, что припуски на обработку весьма велики для обычных процессов шлифования (1...3 мм), более того, припуски имеют большие допуски (до 0,6 мм). Это требует применения глубинного шлифования на специальных станках и специальными абразивными кругами. Эффективным методом обработки абразивным инструментом с большим объемом удаляемого материала является профильное глубинное шлифование (ПГШ) [1-4].



**Методы исследования.** Производители ГТД в условиях конкурентности рынка вынуждены различными способами повышать качество изготавливаемых деталей, снижая при этом себестоимость изготовления за счет внедрения новейших технологий. Одним из эффективных способов снижения стоимости продукции в условиях опытного и мелкосерийного производства является оптимизация процессов обработки, позволяющая за счет увеличения производительности формообразования уменьшить время изготовления детали, а также концентрации операций на одном станке. Еще одним способом удешевления продукции является снижение затрат на инструмент. Эти способы имеют значение лишь в том случае, если их применение не отражается на качестве изготавливаемых деталей, или если оно повышается.

В настоящее время традиционной технологией обработки лопаток турбин является шлифование на модернизированных токарно-лобовых станках. При обработке профильных поверхностей лопаток турбин можно столкнуться с различными типами поверхностей, для каждого из которых характерна своя специфика обработки. Эти поверхности подразделяются на криволинейные выпуклые, криволинейные вогнутые, конические выпуклые, конические вогнутые и плоские. Шлифование производится в специальной оснастке, имитирующей положение лопаток в работе, и одновременно шлифуется весь комплект лопаток. Эта технология обработки характеризуется как круглое шлифование. Формообразование осуществляется без смазывающе-охлаждающего технологического средства (СОТС) с применением абразивных кругов на бакелитовой и вулканитовой связках. При этом детали могут обрабатываться как по отдельности, так и в комплекте. Обработка торцевых диаметральных канавок лопаток турбин осуществляется с предварительной прорезкой канавки отрезными кругами, а окончательная обработка канавки производится резцом.

Одновременно схема обработки деталей в комплекте путём их набора в технологические колёса имеет ряд недостатков, в частности, количество приспособлений должно соответствовать количеству наименований деталей, входящих в двигатель. При этом установочные элементы каждого приспособления отличаются от элементов соседнего в пределах допуска на изготовление. Соответственно, набранные в колесо лопатки уже на момент обработки имеют погрешность, связанную с погрешностью установки. В этом случае сформированная при изготовлении цилиндрическая поверхность при сборке уже никогда не повторится, т.е. возникает “редан” на проточной части турбины и соплового аппарата. Недостатками данной технологии являются: требуемая высокая квалификация рабочего; большая трудоемкость; низкое качество; изготовление крупногабаритной технологической оснастки на каждый

тип лопатки; низкая точность обработки; трудоемкая переналадка на другой тип лопатки; экологически вредные условия труда.

**Результаты исследования.** Для устранения недостатков традиционной технологии изготовления лопаток на токарно-лобовом станке предлагается использовать многокоординатное глубинное шлифование (МГШ) на пятиосевом станке с ЧПУ (*Micro Cut 4 250-S840D* фирмы *ELB-Schleiff* (Германия)).

Данный станок имеет пять одновременно управляемых координат. Стол станка перемещает деталь по координате X. Перемещение шпинделя станка обеспечивает обработку еще по двум осям. Реализация метода МГШ связана с применением глобусного стола, установленного на столе станка. Глобусный стол позволяет вращать деталь по двум дополнительным осям. Использование пяти одновременно управляемых координат допускает возможность обрабатывать на заготовках криволинейные поверхности, что позволяет осуществлять обработку за одну установку профильных поверхностей лопаток турбины.

Для улучшения качества шлифуемой поверхности в многокоординатном обрабатывающем центре применяют механизмы постоянной правки круга, благодаря чему режущая поверхность круга в течение всего процесса резания поддерживается в работоспособном состоянии. Станок оснащается шестипозиционным автоматическим устройством для смены шлифовального круга, устанавливаемым рядом со станком.

Данное оборудование оснащено специальной техникой для подачи СОТС, позволяющей не только охлаждать зону обработки и удалять шлам с детали, но и производить очистку режущей поверхности шлифовального круга. Оно представляет собой механизм постоянной компенсации износа круга, т.е. механизм непрерывной регулировки положения сопла над обрабатываемой поверхностью, что имеет важное монологическое значение в обеспечении стабильности процесса многокоординатного глубинного шлифования.

Результаты предварительного исследования нового процесса показали, что профильную обработку поверхностей лопаток наиболее рационально проводить за пять проходов. Такая обработка является оптимальной с точки зрения как производительности, так и позиций формирования поверхностного слоя требуемого качества. Так, например, для шлифования бандажных полок рабочих лопаток турбины определены следующие рациональные режимы глубинного шлифования (см. табл.): шлифовальный круг: *1.400x37x127F13A 70 FF21 V (STRATO)* фирмы *TYROLIT* (Австрия); бумага фильтровальная *MO22055* – 1,4%; эмульсия *ELB-ISOGRIND 130EP*; автоматическая балансировка и попутная правка круга.

Шероховатость поверхности образцов измерялась на приборе МИС 11 – двойном микроскопе Линника. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что шероховатость лопаток, обработанных на многоосевом станке *Micro Cut 4 250-S840D*, составляет  $Ra = 0,64...0,81$  мкм. Обработка по серийному технологическому процессу на токарно-лобовом станке МК163М обеспечивает шероховатость поверхности в пределах  $Ra=1,06...1,25$  мкм. Такое снижение шероховатости объясняется применением при глубинном шлифовании кругов с высокопористой структурой и оптимальной твердостью. Высокопористые круги обладают хорошей самозатачиваемостью и меньшей засаливаемостью.

Таблица

Режимы глубинного шлифования бандажных полок лопаток

№ прохода	1	2	3	4	5
Глубина резания, мм	~2	1	1	0,5	0,05
Установка круга, мм	2,55	1,55	0,55	0,05	0
Скорость круга, $V_{кр}$ , м/с	20	20	20	20	20
Скорость детали, $V_d$ , мм/мин	100	150	150	200	300
Подача ролика, $S_p$ , мкм/об.	0,2	0,2	0,2	0,2	-
Фактор, $K$	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8

Здесь:  $K=V_{кр}/V_p$ ,  $V_{кр}$  – скорость круга;  $V_p$  – скорость ролика.

Более того, уменьшение шероховатости при обработке на станке *Micro Cut 4 250-S840D* происходит за счет применения высоконапорной подачи СОТС в зону шлифования, тогда как на токарно-лобовом станке МК163М обработка фасонных поверхностей идет всухую. При подаче СОТС складывается благоприятная гидроаэродинамическая обстановка, и, как следствие, после правки с подачей СОТС круг имеет более развитый рельеф, т.е. большую режущую способность. На шероховатость обработанной поверхности также влияют техника подачи и концентрация СОТС. Снижение шероховатости можно объяснить также постепенным снижением глубины снимаемого припуска по проходам. Считается, что в случае многопроходного шлифования легче обеспечить требуемые характеристики точности и шероховатости обработанной поверхности. Все параметры качества достигаются на заключительных чистовых ходах, когда глубина резания минимальна.

При повышенных требованиях к шероховатости поверхностей детали на последнем рабочем ходе правка не назначается. Это происходит по следующей причине: правящий ролик, имеющий алмазы размерами 400...500 мкм, правит методом врезания и поэтому оставляет следы на шлифовальном круге, которые

копируются на обработанной поверхности детали. Таким образом, правка не всегда благоприятно сказывается на качестве поверхностного слоя. Из результатов проведенных исследований следует, что глубинное шлифование с непрерывной правкой кругов на новом оборудовании и применение высокопористых кругов позволяют стабильно получать значения шероховатости  $Ra = 0,63...0,8 \text{ мкм}$ , что меньше требуемых по техническим условиям значений ( $Ra < 1,25 \text{ мкм}$ ).

Сравнительное исследование остаточных напряжений проводилось методом Н.Н. Давиденкова на образцах, вырезанных электроэрозионным методом. В качестве примера на рис. 1 приведены результаты сравнительного исследования влияния метода обработки на характер распределения остаточных напряжений в слое профильных радиусных поверхностей бандажных полок турбинных лопаток при различных схемах шлифования.

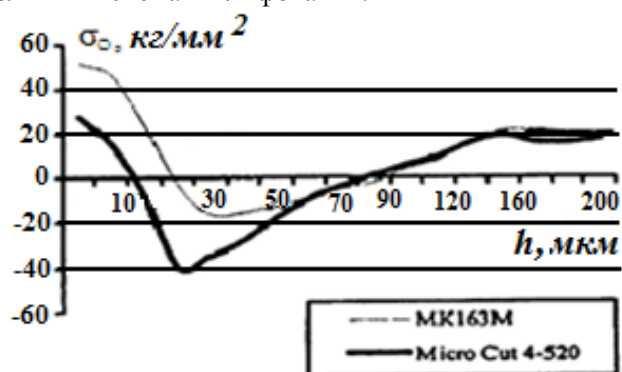


Рис. 1. Характер распределения остаточных напряжений  $\sigma_0$  слоя  $h$  по глубине поверхности при серийном (МК163М) и новом (Micro Cut 4 250-S840D) методах

Установлено существенное снижение растягивающих остаточных напряжений при использовании метода многокоординатного шлифования на станке с ЧПУ, что является весьма благоприятным фактором для повышения усталостной прочности и долговечности эксплуатации лопаток. Снижение растягивающих остаточных напряжений обусловлено воздействием при шлифовании одновременно нескольких факторов. Это - неравномерная пластическая деформация поверхностного слоя под действием сил резания абразивными зёрнами, упругопластические деформации, обусловленные тепловым расширением металла в поверхностном слое при его нагреве от тепловыделения при резании, структурно-фазовые превращения металла при нагреве и охлаждении поверхностного слоя.

Исследование характера распределения микротвердости по глубине поверхностного слоя образцов проводилось методом косых шлифов с

использованием микротвердомера ПМТ-3. Оценивались глубина и степень наклепа при различных методах профильного шлифования полок. Результаты сравнительных исследований приведены на графиках (рис. 2).

Снижение микротвердости при применении внедряемой технологической схемы обработки полок турбинных лопаток на станке *Micro Cut 4 250-S840D* объясняется тем, что используется непрерывная правка круга, при которой удаляются затупившиеся и засаленные зерна и режущая способность круга повышается, а также применяется высоконапорная подача СОТС для охлаждения и смыва накопившихся в крупных порах круга стружки и шлама.

Исследование микроструктуры проводилось на вырезанных образцах. Образцы заливались в специальную форму, торец образца полировался и подвергался травлению в специальном растворе для изучения микроструктуры. На микроструктурном микроскопе *NEOPHOT 32* при увеличении в 500 раз анализировалась и сравнивалась микроструктура поверхностного слоя лопаток турбин. В результате анализа микрошлифов установлено, что на образцах, обработанных на станке МК163М, поверхность рваная, неровная, с микротрещинами. С поверхности наблюдается нагартованный и рекристаллизованный слой на глубину 0,02 мм.

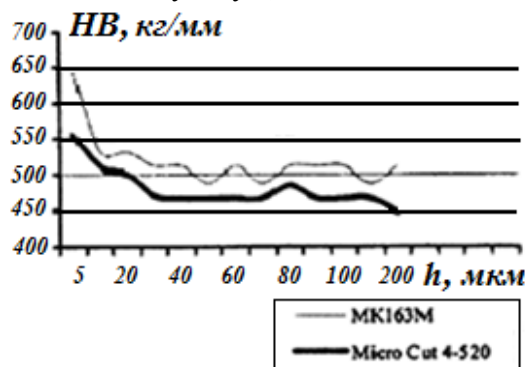


Рис. 2. Изменение микротвердости  $HB$  по глубине поверхностного слоя  $h$

Поверхность образцов, вырезанных из полок лопаток, обработанных методом глубинного шлифования на многоосевом станке *Micro Cut 4 250-S840D*, ровная, без надрывов. Изменений в микроструктуре с поверхности не наблюдается. Нагартованного слоя, выкрашивания по карбидам не обнаружено.

**Заклучение.** Сравнительный анализ влияния метода обработки лопаток турбин на характер микроструктуры поверхностного слоя показал, что применение процесса глубинного шлифования не ухудшает структурно-фазового состояния поверхностного слоя деталей, а в некоторых случаях — даже

способствует улучшению по сравнению с шлифованием по традиционной технологической схеме.

Исследования по выявлению трещин люминесцентным методом контроля показали, что на полках, обработанных на токарно-лобовом станке МК163М, имеются микротрещины. После обработки методом глубинного шлифования на плоскошлифовальном станке *Micro Cut 4 250-S840D* в поверхностном слое бандажных полок турбинных лопаток трещин и других дефектов такого вида не обнаружено.

Таким образом, переход от многооперационной обработки различных поверхностей турбинных лопаток на комплексную интегральную совмещенную технологию многокоординатного многоосевого глубинного шлифования позволяет существенно повысить производительность и качество обработки высоконагруженных деталей газотурбинных двигателей, их надежность и долговечность. В конечном счете это отражается на повышении конкурентоспособности такой сложной и наукоемкой продукции, как современные газотурбинные двигатели для авиации и наземного применения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор №02.025.310016) в рамках реализации Постановления Правительства РФ №218 "О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства" от 12.02.13.*

#### Литература

1. **Старков В.К.** Шлифование высокопористыми кругами. – М.: Машиностроение, 2007. – 688 с.
2. **Волков Д.И., Полетаев В.А.** Глубинное шлифование лопаток турбин: библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2009. – 272 с.
3. **Макаров В.Ф.** Современные методы высокоэффективной абразивной обработки жаропрочных сталей и сплавов: Учебное пособие. – СПб.: Издательство "Лань", 2013. – 320 с.
4. **Макаров В.Ф., Сакаев А.Х.** Наукоемкая технология глубинного шлифования профильных поверхностей лопаток турбин // Наукоемкие технологии в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2012. – №3(9). – С. 15-22.

*Поступила в редакцию 31.10.2014.  
Принята к опубликованию 16.12.2014.*

**ԹՎԱՅԻՆ ԾՐԱԳՐԱՎՈՐՄԱՄԲ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՍՏՈՑԻ ՎՐԱ  
ԽՈՐ ՀՂԿՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ ԳԱԶԱՏՈՒՐԲԻՆԱՅԻՆ ՇԱՐԺԻՉՆԵՐԻ ՄԱՍԵՐԻ ՄՇԱԿՄԱՆ  
ՈՐՈՇ ՀԱՐՑԵՐ**

**Վ.Ֆ. Մակարով, Ս.Պ. Նիկիտին, Ա.Խ. Սակաև**

Ներկայացված է բազմակողորդինատային հղկման հաստոցի վրա տուրբինային թիերի պրոֆիլային մակերևույթների մշակման և ավանդական մշակման սխեմայի համեմատական վերլուծություն: Նշված է բազմակողորդինատային մշակման գործնական կիրառությունը և դրա արդյունավետությունը: Դիտարկվում է մակերևույթային շերտի՝ տարբեր մեթոդներով հղկման որակը: Ցույց է տրված, որ ավելի նախընտրելի է բազմակողորդինատային մշակումը: Հաստատվել է ձգող մնացորդային լարումների էական նվազումը բազմակողորդինատային հղկման մեթոդի օգտագործման դեպքում թվային ծրագրավորմամբ կառավարման հաստոցի վրա, ինչը նպաստում է հոգնածային ամրության աճին և թիերի աշխատանքի երկարակեցությունը:

**Առանցքային *punkt*.** թիերի մակերևույթ, գազատուրբինային շարժիչ, բազմակողորդինատային հղկում, թվային ծրագրավորմամբ կառավարում (ԹԾԿ):

**SOME ISSUES ON MACHINING PARTS OF GAS TURBINE ENGINES  
BY THE METHOD OF DEEP GRINDING ON  
MACHINE TOOLS WITH NUMERICAL CONTROL**

**V.F. Makarov, S.P. Nikitin, A.Kh. Sakaev**

A comparative analysis of machining profile surfaces of the turbine blades on the multicoordinate grinding machine tool by the traditional scheme is carried out. The practical importance is shown, and the efficiency of applying multicoordinate machining is proved. The results of the tests carried out on the equipment are introduced in the graphical form. It is mentioned that the most preferable method for machining the profile surfaces is multicoordinate machining. An essential decrease in tensile residual stresses at using the method of multicoordinate grinding on a computer numerical control machine tool is shown. This will allow to increase the fatigue strength and durability of the blades.

**Keywords.** blade surfaces, gas turbine engine, multicoordinate machining, computer numerical control (CNC).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОКАРНО-КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКОВ

**В.Ж. Айрапетян, В.М. Оганесян, А.В. Мовсисян, Э.А. Парсян**

*Государственный инженерный университет Армении (Политехник)*

Металлорежущие станки характеризуются тремя основными техническими характеристиками: размерными, скоростными и силовыми. При проектировании заказчиком задается размерная характеристика будущего станка, на основании которой конструктор, принимая во внимание всевозможные характерные работы, выполняемые на станке с учетом материалов обработки и применяемых инструментов, определяет оптимальные режимы резания, т.е. скоростные характеристики будущего станка. Для каждого случая вычисляются потребляемая мощность резания и мощность будущего станка. Численным методом Чебышева исследуются основные технические параметры токарно-карусельных станков. С помощью функциональной связи в виде приближенного многочлена обоснованы основные технические параметры токарно-карусельных станков в зависимости от размеров планшайбы.

**Ключевые слова:** технические параметры, токарно-карусельный станок, размеры планшайбы, функциональная связь.

**Введение.** Основным принципом развития современного станкостроения является стремление к высокой производительности, обеспечение необходимой точности обработки и шероховатости поверхности. Для достижения этой цели необходимо создать новые модели металлорежущих станков с высокими экономическими параметрами, которые будут конкурентными на международном рынке.

Цель настоящей работы – разработка наиболее результативного метода обоснования основных технических параметров, рекомендуемого конструктору на стадии проектирования токарно-карусельных станков. Данный метод позволит избежать объемных и сложных конструкторских задач, возникающих при проектировании металлорежущих станков.

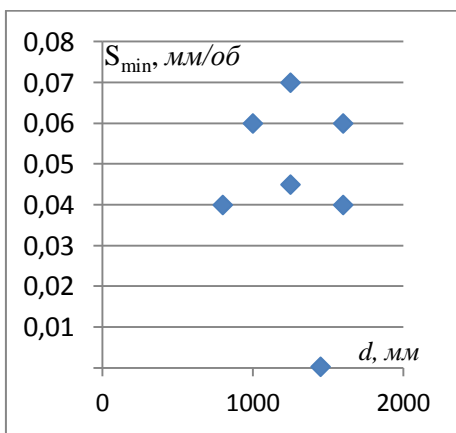
Анализ технологических процессов имеет цель определить также скоростные характеристики станка, то есть предельные значения и диапазон регулирования числа оборотов и подач, силовые характеристики и т.д.

**Постановка задачи.** Для проектирования токарно-карусельных станков исходными данными являются размеры планшайбы:

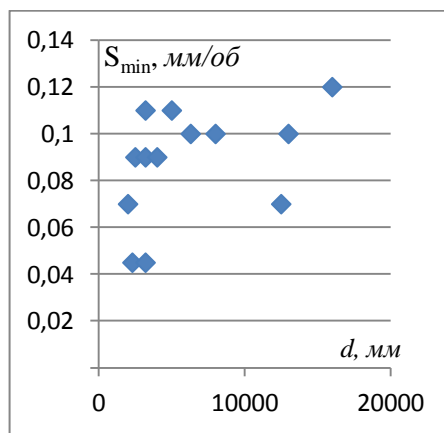


- 1) максимальный диаметр обработки  $d_{\max}$ ;
- 2) диаметр планшайбы  $d_1$ ;
- 3) высота базированной части  $h_{\max}$ .

В работе рассмотрены основные параметры по диаметру обработки 43 разных моделей токарно-карусельных станков [1-4]. Последовательно подставляя указанные параметры в координатную систему, получим поля рассеяния основных технических (минимальные подача и число оборотов, диапазон их регулирования, максимальная мощность) и исходных параметров (рис.1-5).

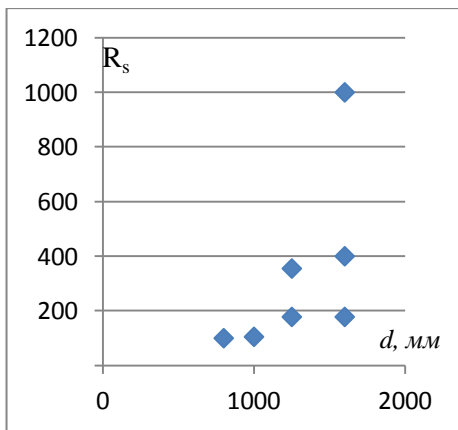


а)

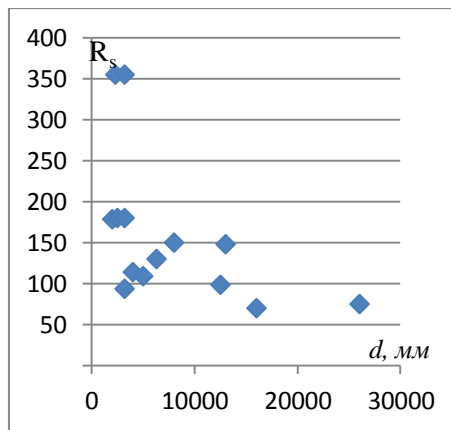


б)

Рис. 1. Поле рассеяния минимальных подач в зависимости от максимального диаметра обработки для одноэтажных (а) и двухэтажных (б) токарно-карусельных станков



а)



б)

Рис. 2. Поле рассеяния диапазона подач в зависимости от максимального диаметра обработки для одноэтажных (а) и двухэтажных (б) токарно-карусельных станков

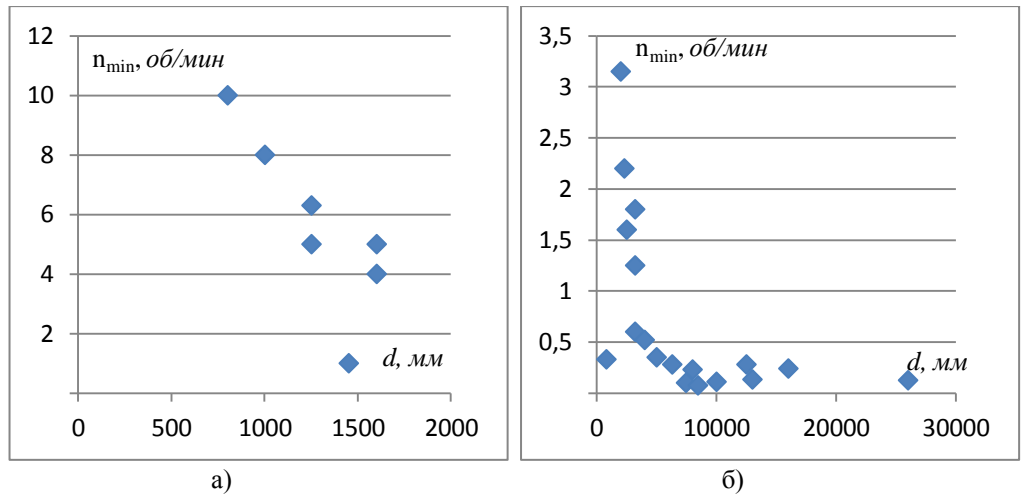


Рис. 3. Поле рассеяния минимального числа оборотов в зависимости от максимального диаметра обработки для одностоечных (а) и двухстоечных (б) токарно-карусельных станков

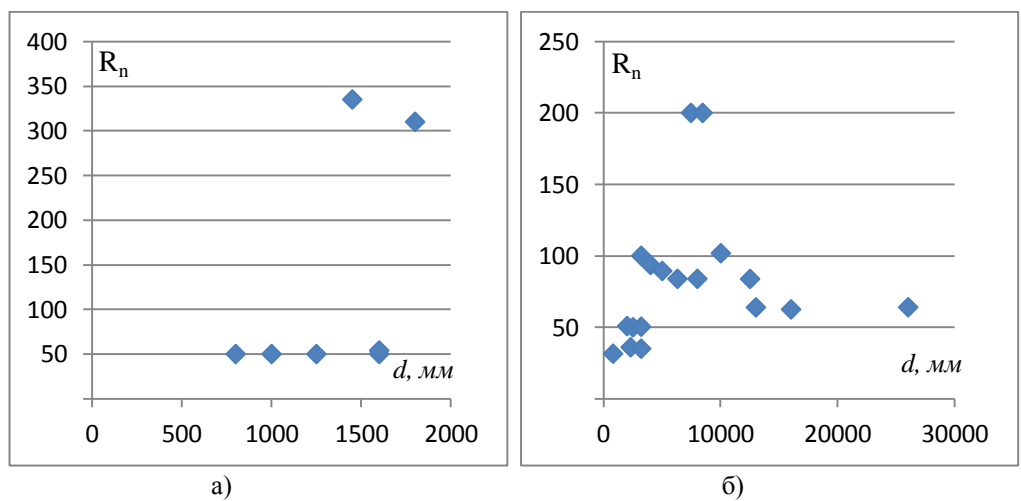


Рис. 4. Поле рассеяния диапазона числа оборотов в зависимости от максимального диаметра обработки для одностоечных (а) и двухстоечных (б) токарно-карусельных станков

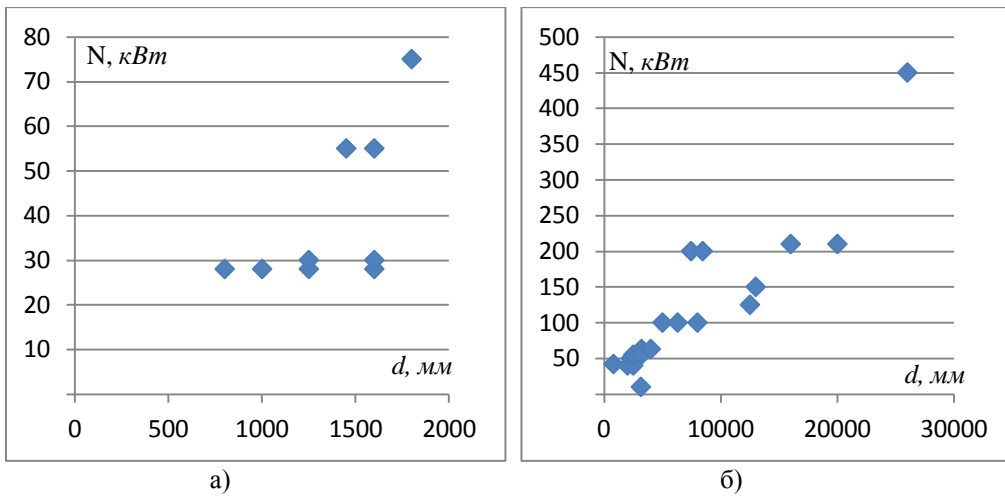


Рис. 5. Поле рассеяния мощности в зависимости от максимального диаметра обработки для одностоечных (а) и двухстоечных (б) токарно-карусельных станков

**Метод исследования.** Основная идея применения интерполяционных формул состоит в том, что функция  $y = f(x)$ , для которой дана только таблица значений, представляется интерполяционным многочленом, что рассматривается как приближенное аналитическое выражение функции  $f(x)$ . Из существующих методов интерполяционных задач выбираем метод Чебышева [5,6]. Искомый многочлен представлен в следующем виде:

$$y = a_0\varphi_0(x) + a_1\varphi_1(x) + \dots + a_m\varphi_m(x), \quad (1)$$

где  $\varphi_0(x) = 1$ ,  $\varphi_1(x) = x + \alpha_1$ , ..., и, вообще,  $\varphi_l(x)$  есть многочлен степени  $l$  вида

$$\varphi_l = x^l + \alpha_l^{(1)}x^{l-1} + \dots \quad (2)$$

Наиболее вероятные значения коэффициентов  $a_0, a_1 \dots a_m$  определяются по способу наименьших квадратов.

На основании произведенных расчетов получены следующие расчетные формулы для одностоечных и двухстоечных токарно-карусельных станков:

– связь между минимальными подачами и максимальным диаметром обработки:

$$S_{1min} = y_1 = -0,0492294 + 1,6393904 \cdot 10^{-4}d - 6,1248581 \cdot 10^{-8}d^2, \quad (3)$$

$$S_{2min} = y_2 = 0,0638135 + 0,0593908 \cdot 10^{-4}d - 0,0002245 \cdot 10^{-6}d^2; \quad (4)$$

– связь между диапазоном подачи и максимальным диаметром обработки:

$$R_{1s} = y_3 = 26,27454 + 0,202828d - 0,0000589d^2, \quad (5)$$

$$R_{2s} = y_4 = 252,44612 - 0,018265d + 0,4559928 \cdot 10^{-6}d^2; \quad (6)$$

– связь между минимальным числом оборотов и максимальным диаметром обработки:

$$n_{1min} = y_5 = 17,697147 - 0,0080609d + 0,13406742 \cdot 10^{-5}d^2, \quad (7)$$

$$n_{2min} = y_6 = 1,0093291 - 0,00011011584d + 0,0030151 \cdot 10^{-6}d^2; \quad (8)$$

– связь между диапазоном числа оборотов и максимальным диаметром обработки:

$$R_{1n} = y_7 = 48,47475694 + 0,0015135d, \quad (9)$$

$$R_{2n} = y_8 = 49,117625 + 17,221676 \cdot 10^{-4}d + 0,1675693 \cdot 10^{-6}d^2; \quad (10)$$

– связь между величиной мощности и максимальным диаметром обработки:

$$N_1 = y_9 = 39,05277 - 0,0391975d + 0,0000267d^2, \quad (11)$$

$$N_2 = y_{10} = 47,7527 + 56,22269 \cdot 10^{-4}d + 0,3098199 \cdot 10^{-6}d^2. \quad (12)$$

Подставляя в эти формулы максимальные значения диаметров обработки для одностоечных и двухстоечных токарно-карусельных станков, получим значения приближенной функции. Графические изображения исследуемых связей представлены на рис. 6–10.

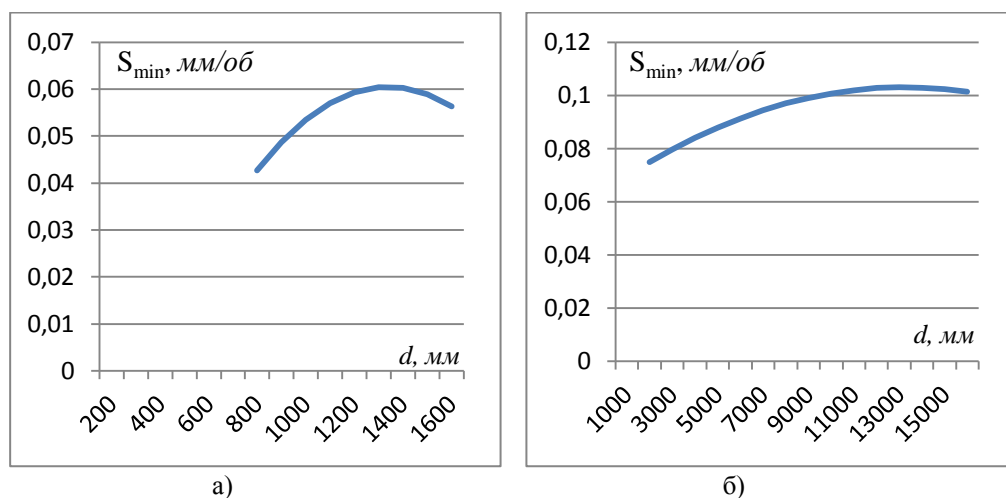


Рис. 6. График изменения минимальных подач и максимального диаметра обработки для одностоечных (а) и двухстоечных (б) токарно-карусельных станков

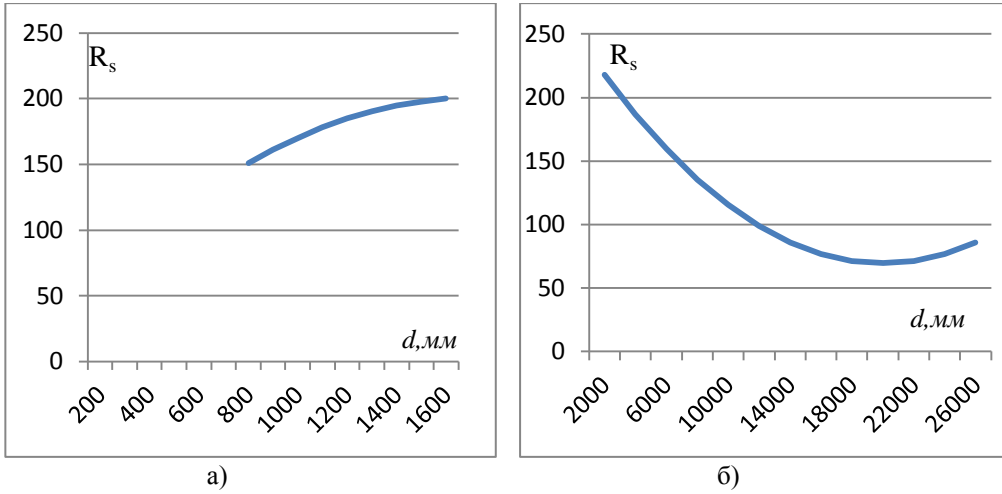


Рис. 7. График изменения диапазона подачи и максимального диаметра обработки для одностоечных (а) и двухстоечных (б) токарно-карусельных станков

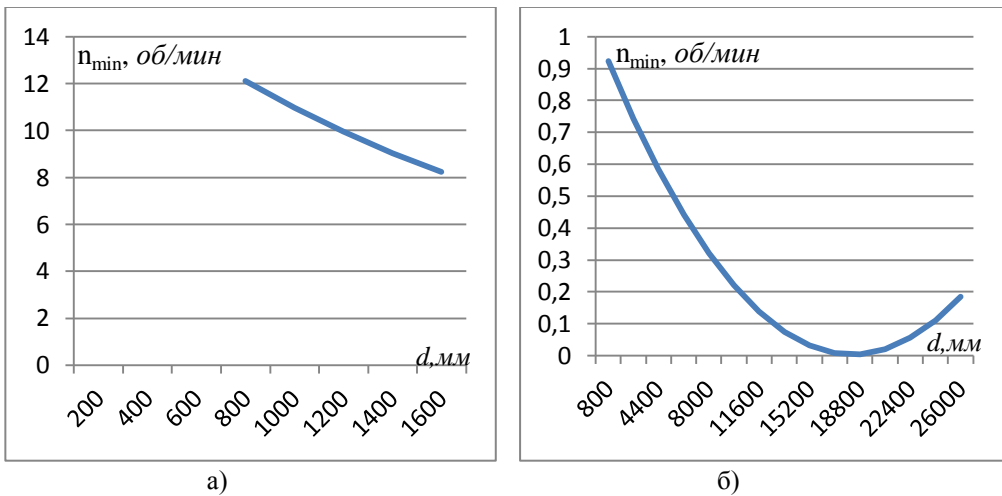
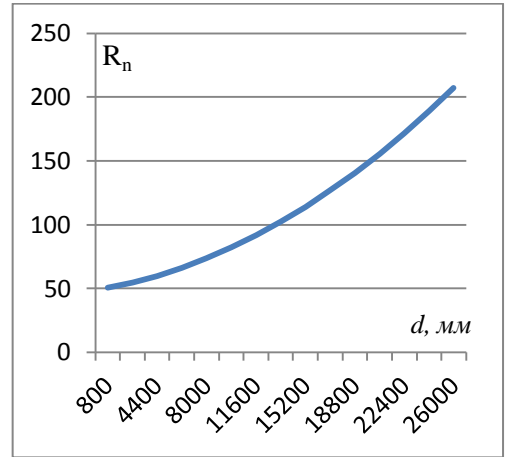
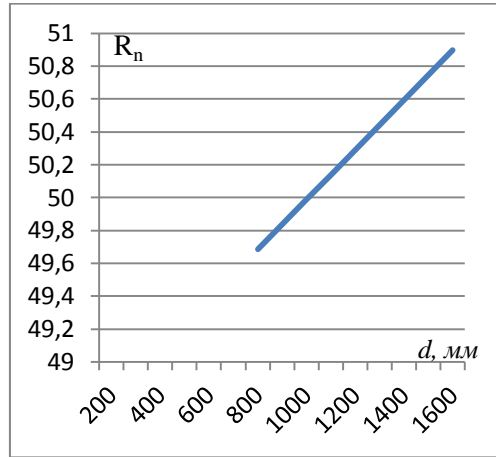
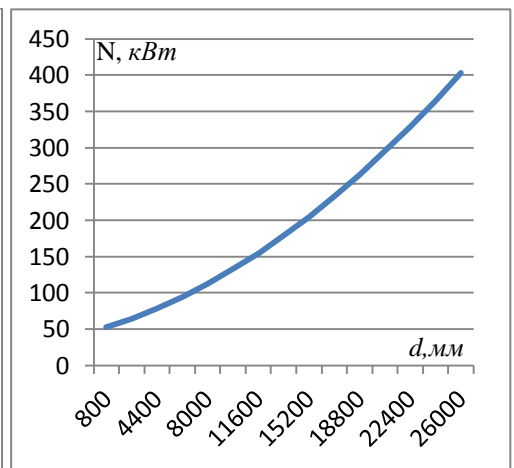
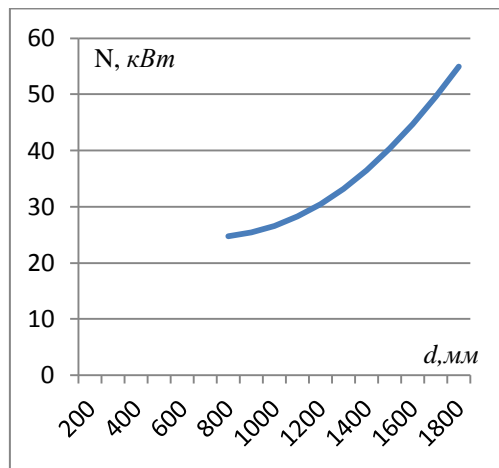


Рис. 8. График изменения минимальных чисел оборотов и максимального диаметра обработки для одностоечных (а) и двухстоечных (б) токарно-карусельных станков



а) б)  
Рис. 9. График изменения диапазона числа оборотов и максимального диаметра обработки для одностоечных (а) и двухстоечных (б) токарно-карусельных станков



а) б)  
Рис. 10. График изменения величины мощности и максимального диаметра обработки для одностоечных (а) и двухстоечных (б) токарно-карусельных станков

### **Выводы**

1. Расчетные формулы и графики позволяют определить значения предельных подач числа оборотов и потребляемой максимальной мощности в зависимости от заданного максимального диаметра обработки проектируемого токарно-карусельного станка.

2. Представленная работа позволяет основательно и за короткий срок определить основные технические параметры (скоростные и силовые) в зависимости от исходного размерного параметра на первичной стадии проектирования.

3. Полученные формулы могут быть использованы при выполнении курсовых и дипломных работ студентами машиностроительного факультета по специальности “Металлорежущие станки и инструменты”.

### **Литература**

1. **Ачеркан Н.С.** Расчет и конструирование металлорежущих станков. – М.: Машгиз, 1949. – 820 с.
2. **Проников А.С.** Расчет и конструирование металлорежущих станков. – М.: Высшая школа, 1980. – 500 с.
3. **Тарзиманов Г.А.** Проектирование металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1980. – 312 с.
4. **Черпаков Б.И., Альперович Т.А.** Металлорежущие станки. – М.: Издательский центр “Академия”, 2006. – 368 с.
5. **Гутер Р.С., Овчинский Б.В.** Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. – М.: Наука, 1970. – 432 с.
6. **Самарский А.А., Гулин А.В.** Численные методы. – М.: Наука, 1989. – 316 с.

*Поступила в редакцию 07.10.2014.  
Принята к опубликованию 16.12.2014.*

**ԽԱՌԱՏԱ-ԿԱՐՈՒՍԵԼԱՅԻՆ ՀԱՍՏՈՑՆԵՐԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ  
ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆ**

**Վ.Ժ. Հայրապետյան, Վ.Մ. Հովհաննիսյան, Ա.Վ. Մովսիսյան, Է.Ա. Փարսյան**

Մետաղահատ հաստոցները բնորոշվում են տեխնիկական երեք հիմնական ցուցանիշներով՝ չափային, արագության և ուժային: Հաստոցը նախագծելիս պատվիրատուի կողմից առաջադրվում է չափային բնութագիրը, որի հիման վրա կոնստրուկտորը հաշվի է առնում հաստոցի վրա կատարվող հնարավոր հիմնական աշխատանքները, մշակվող նյութերը և կտրող գործիքները՝ որոշելով յուրաքանչյուր դեպքում նպատակահարմար կտրման ռեժիմները, այսինքն՝ նախագծվող հաստոցի արագությունների բնութագրերը: Միաժամանակ, յուրաքանչյուր դեպքի համար որոշվում է կտրման պահանջվող հզորությունը, և հիմնավորում ապագա հաստոցի հզորությունը: Աշխատանքում խառատա-կարուսեղային հաստոցների հիմնական տեխնիկական պարամետրերը որոշվում են Չեբիշևի թվային մեթոդով: Մոտավոր բազմանդամի տեսքով ֆունկցիոնալ կապի միջոցով հիմնավորված են խառատա-կարուսեղային հաստոցների հիմնական տեխնիկական պարամետրերը՝ կախված հարթողակի չափերից:

**Առանցքային բաներ.** տեխնիկական պարամետրեր, խառատա-կարուսեղային հաստոց, հարթողակի չափեր, ֆունկցիոնալ կապ:

**INVESTIGATING THE MAIN TECHNICAL PARAMETERS OF BORING LATHES**

**V.Zh. Hayrapetyan, V.M. Hovhannisyan, A.V. Movsisyan, E.A. Parsyan**

Metal cutting machines are characterized by three basic peculiarities: dimension, speed and power. At designing, the customer sets the dimensional characteristics of the future machine tool based on which, the designer, considering all the possible specific operations performed on the machine tool taking into account the processing materials and the applied instruments, determines the optimal cutting conditions, i.e. the speed characteristics of the future machine tool. For each case, the power consumption of cutting and the capacity of the future machine tool are determined. By Chebyshev's numerical method, the main technical parameters of the boring lathes are investigated. By functional relationship in the form of the approximate polynomial, the main technical parameters of boring lathes depending on the faceplate dimensions are substantiated.

**Keywords:** technical parameters, boring lathe, faceplate dimensions, functional relationship.



## **ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ**

**Л.А. Мутафян**

*Государственный инженерный университет Армении (Политехник)*

Исследуется влияние геометрии режущего инструмента на шероховатость обработанной поверхности при прерывистом резании металлов. Показано, что на шероховатость поверхности значительное влияние оказывают, в частности, главный и вспомогательные углы в плане и радиус закругления при вершине режущего зуба, что необходимо учесть при оптимизации процесса резания по геометрическим параметрам режущего инструмента. Предлагается применить неиспользуемые режущие кромки многогранной неперетачиваемой пластинки ромбической формы (ТУ560-62) с минимальными углами в плане ( $\varphi = \varphi_1 = 29^\circ 45'$ ), обеспечивающими высокую чистоту обработанной поверхности, при этом ресурс использования пластины повысится вдвое.

**Ключевые слова:** шероховатость, обработанная поверхность, геометрия инструмента, главный угол в плане, радиус закругления.

**Введение.** Качество поверхности деталей машин определяется ее физико-механическими свойствами и геометрическими параметрами поверхностного слоя, от которых во многом зависят точность, надежность и долговечность изделия. На качество поверхности влияет множество факторов: вид обработки, режимы резания, геометрические параметры режущего инструмента, физико-механические свойства обрабатываемого материала, жесткость технологической системы и многие явления, связанные непосредственно с процессом резания.

Качество поверхности геометрически характеризуется шероховатостью, которая является геометрическим следом режущего инструмента, а также искажениями в результате пластической деформации, сопутствующей процессу резания. Шероховатость оказывает значительное влияние на прочность и выносливость деталей машин, особенно поперечная шероховатость и ее направленность по отношению к внешней нагрузке, воспринимаемой деталью.

**Теоретические основы.** Шероховатость является очагом концентрации напряжений, приводящих к появлению трещин, особенно при знакопеременных нагрузках. От нее во многом зависят процессы теплопередачи, коррозии и надежность неподвижных соединений. Вследствие микронеровностей площадь

фактического контакта поверхности оказывается чрезвычайно малой, что приводит к увеличению удельного давления и температуры и, как следствие, повышению интенсивности смятия, выкрашиванию выступающих частиц поверхностей, в результате чего повышается износ.

Высота и форма шероховатости поверхностей сильно влияют на трение и износ деталей. В начальный период работы контакт трущихся поверхностей происходит по вершинам неровностей, поэтому фактическая поверхность соприкосновения намного меньше расчетной. Вследствие этого в местах фактического контакта возникают большие давления, иногда превышающие предел текучести трущихся металлов, под действием которых в точках контакта имеют место упругое сжатие и пластическая деформация смятия неровностей. При взаимном перемещении поверхностей происходит срез или пластический сдвиг вершин неровностей, что приводит к износу трущихся деталей и увеличению их зазоров [1].

Для технологического обеспечения оптимального качества обработанной поверхности необходимо выявить взаимосвязь между критериями качества и технологическими факторами. Количественную зависимость между ними можно получить теоретически на основе детального исследования физических явлений, происходящих при резании в поверхностном слое, или же путем экспериментальных исследований, которые достаточно просты и позволяют получить данные, точно отражающие количественную сторону процесса, что и применяется нами.

**Результаты исследования.** Образование поверхностного слоя при прерывистом резании значительно отличается от процесса его образования при непрерывном резании. Так, зуб фрезы до врезания в обрабатываемый материал некоторое время скользит по обработанной поверхности, подвергаясь износу. Одновременная работа нескольких зубьев, переменная толщина и ширина срезаемого слоя вызывают переменные значения сил, моментов и мощности. Это приводит к тому, что процесс пластической деформации срезаемого слоя здесь протекает в весьма сложных своеобразных условиях.

При определении шероховатости поверхности расчетным методом принимают следующие допущения: обрабатываемый материал считается абсолютно недеформируемым, а лезвие инструмента представляется как геометрическая линия. При этом не учитывается общий случай, когда наряду с прямолинейными участками режущих кромок при резании принимают участие и криволинейные, особенно при наличии радиуса закругления при вершине инструмента. Поэтому между расчетной и истинной высотами неровностей существует большая разница, в противном случае – можно было бы легко учитывать влияние основных технологических факторов на шероховатость поверхности.

При фрезеровании обработанная поверхность рассматривается как сопряжение элементарных следов режущих зубьев фрезы. Ввиду пересечения траектории режущих зубьев на обработанной поверхности образуются микронеровности, шаг которых равен величине подачи. При цилиндрическом фрезеровании продольная шероховатость в большинстве случаев бывает больше поперечной, что и применяется для общей оценки шероховатости. Когда она образуется целиком закругленным участком режущих кромок, для ее расчета, как и при точении, предлагается формула

$$R_Z = S_Z^2 / 8r, \quad (1)$$

где  $S_Z$  - подача фрезы на зуб;  $r$  - радиус закругления резца.

В случае, когда профиль поверхности рассматривается как след криволинейного участка режущей кромки с радиусом  $r$ , рекомендуется формула для расчета теоретического профиля:

$$R_Z = r - \sqrt{4r^2 - S^2} / 2. \quad (2)$$

В случае, когда шероховатость образуется вершиной резца, у которой отсутствует радиус закругления, то она определяется по формуле [2, 3]

$$R_Z = S \cdot \sin \varphi \cdot \sin \varphi_1 / \sin(\varphi + \varphi_1). \quad (3)$$

Но здесь, как и в общем, не учитывается фактор, когда наряду с прямолинейными участками режущих кромок принимают участие и криволинейные, особенно при наличии радиуса закругления при вершине, как и некоторые влияющие технологические факторы. Поэтому и существует значительное рассогласование между расчетной и экспериментальной величинами шероховатостей.

Исходя из вышесказанного, нами предлагается вместо формулы (3) воспользоваться следующими расчетными формулами:

1) при  $\varphi = \varphi_1; r \neq 0$ :

$$R_Z = \frac{S \cdot \sin \varphi \cdot \sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)} - r \left( \frac{1}{\sin(90^\circ - \varphi)} - 1 \right); \quad (4)$$

2) при  $\varphi \neq \varphi_1; r \neq 0$ , при котором изменения углов в плане приводят к изменению на величину  $\theta$  положения оси симметрии угла при вершине в плане ( $\varepsilon$ ), вычитаемое формулы (4) принять соответственно:

а) при  $\varphi < 45^\circ; \varepsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1)$ :

$$r \left( \frac{1}{\sin(90^\circ - \varphi - \theta)} - 1 \right), \text{ где } \theta = 90^\circ - \left( \varphi + \frac{\varepsilon}{2} \right); \quad (5)$$

б) при  $\varphi > 45^\circ$ :

$$r \left( \frac{1}{\sin(90^\circ - \varphi + \theta)} - 1 \right), \text{ где } \theta = \left( \varphi + \frac{\varepsilon}{2} \right) - 90^\circ; \quad (6)$$

3) при  $\varphi = 90^\circ$ :

а) при  $r = 0$  -  $R_Z = S \cdot \tan^2 \varphi_1;$  (7)

б) при  $r \neq 0$  -  $R_Z = S \cdot \tan^2 \varphi_1 - r \left( \frac{1}{\cos \varphi_1} - 1 \right).$  (8)

Из сказанного можно сделать заключение, что полная взаимосвязь между параметрами шероховатости обработанной поверхности и условиями их обработки может быть получена на основе экспериментальных исследований.

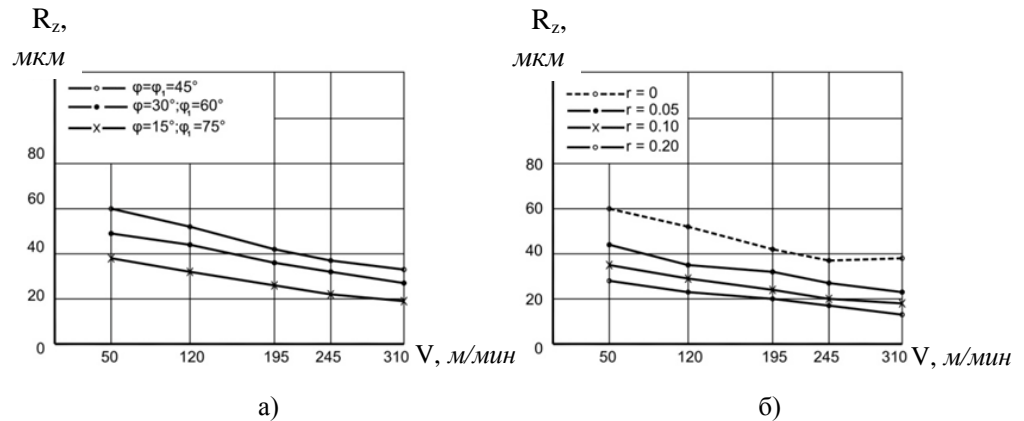


Рис. 1. Зависимость высоты неровностей от скорости резания при различных величинах углов в плане (а) и радиуса закругления при вершине ножа (б)

Зависимости высоты неровностей от скорости резания и подачи при различных величинах углов в плане и радиуса закругления при вершине ножа представлены соответственно на рис. 1 и 2. Как видно из зависимостей шероховатости от геометрических параметров инструмента, на образование шероховатости значительное влияние оказывают углы в плане и радиус закругления при вершине. Уменьшение главного угла в плане ( $\varphi$ ) и увеличение радиуса закругления при вершине ( $r$ ) приводят к значительному уменьшению высоты шероховатости.

Исходя из вышесказанного, нами была поставлена задача использовать многогранные неперегачиваемые пластинки, которые с изменением их установки на державках дают возможность обеспечить минимальный угол в плане ( $\varphi$ ) со сравнительно большим углом резания ( $\varepsilon$ ) [4]. С этой целью использована пластинка ромбической формы – ТУ560-62 ВНИИ (рис. 3б). Конструкция ножа представлена на рис. 3а. При этом резание производилось промежуточными режущими кромками пластины. При указанной установке величины углов составляли: главный угол в плане -  $\varphi = 29^\circ 45'$ , угол резания -  $\varepsilon = 120^\circ 30'$  вместо предназначенной для данной формы пластины с углами соответственно:  $\varphi = 75^\circ 7'$  и  $\varepsilon = 59^\circ 30'$ . При этом параметры углов изменялись почти в два раза. Согласно результатам исследования, предлагаемый метод обеспечивает высокую чистоту обработанной поверхности, одновременно вдвое повышая ресурс использования пластины. Его целесообразно применять при чистовых операциях обработки.

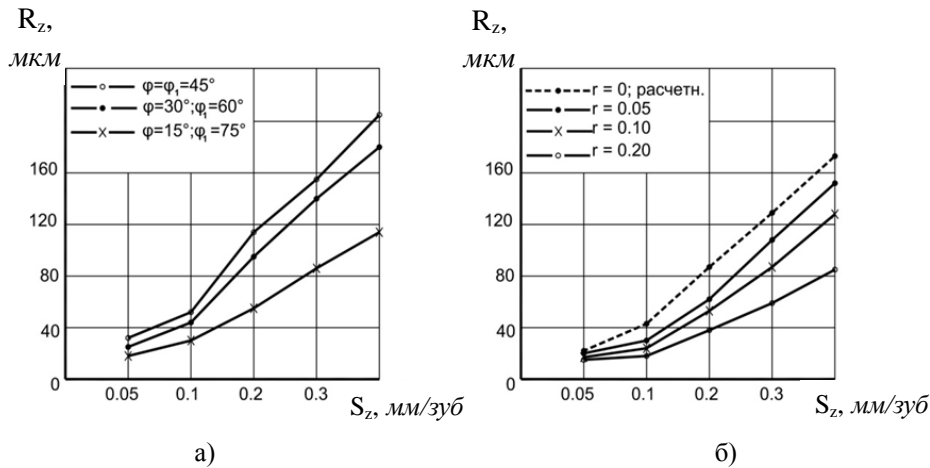


Рис. 2. Зависимость высоты неровностей от подачи при различных величинах углов в плане (а) и радиуса закругления при вершине ножа (б)

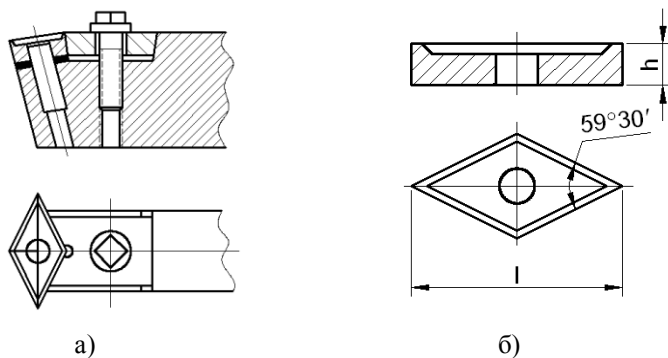


Рис. 3. Конструкция ножа (а) с ромбической неперетачиваемой пластиной (б)

**Заключение.** Результаты исследований показали, что помимо множества факторов, влияющих на шероховатость обработанной поверхности, значительное влияние оказывают геометрические параметры инструмента, в частности, главный и вспомогательные углы в плане и радиус закругления при вершине режущего зуба, что необходимо учесть при оптимизации процесса резания по геометрическим параметрам режущего инструмента.

### Литература

1. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
2. Лебедев Л.В. Технология машиностроения. – М.: Издательский центр “Академия”, 2006. – 528 с.

3. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 2008. – 512 с.
4. Новые виды режущих инструментов с боковой установкой режущих пластин: НТ межд. сб. “Прогрессивные технологии и системы машиностроения” / В.А. Настасенко и др. – Донецк, 2011. – Вып. 41. – 379 с.

*Поступила в редакцию 17.10.2014.  
Принята к опубликованию 16.12.2014.*

**ԿՏՐՈՂ ԳՈՐԾԻՔԻ ԵՐԿՐԱԶԱՓՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄՇԱԿՎԱԾ  
ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹԻ ԽՈՐՀՈՒԲՈՐԴՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ  
ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԸՆԴՀԱՏ ԿՏՐՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ**

**L.Հ. Մուֆաֆյան**

Հետազոտված է մշակված մակերևույթի խորդուբորդությունների վրա տարբեր գտործոնների ազդեցությունը: Ցույց է տրված, որ խորդուբորդությունների վրա էական ազդեցություն ունեն ֆրեզի ատամի երկրաչափական պարամետրերը, մասնավորապես, գլխավոր և օժանդակ անկյունները պլանում և կտրող ատամի գագաթի կլորացման շառավիղը, ինչը անհրաժեշտ է հաշվի առնել կտրման գործընթացի՝ ըստ կտրող գործիքի երկրաչափական պարամետրերի օպտիմալացման դեպքում: Առաջարկվում է օգտվել բազմասայր չվերասրվող շեղանկյուն թիթեղի (TY560-62) չօգտագործվող սայրերից՝  $\varphi = \varphi_1 = 29^\circ 45'$  նվազագույն անկյուններով պլանում, որոնք ապահովում են մշակված մակերևույթի բարձր մաքրություն, ընդ որում՝ կրկնակի բարձրանում է թիթեղի օգտագործման ռեսուրսը:

**Առանցքային բառեր.** խորդուբորդություն, մշակված մակերևույթ, գործիքի երկրաչափություն, գլխավոր անկյունը պլանում, կլորացման շառավիղ:

**IMPACT OF THE CUTTING TOOL GEOMETRY ON THE ROUGHNESS  
OF THE MACHINED SURFACE AT INTERMITTENT METAL CUTTING**

**L.H. Mutafyan**

The impact of the cutting tool geometry on the roughness of the machined surface at intermittent metal cutting is investigated. It is shown that the surface roughness is considerably influenced by, in particular, the main and auxiliary angles in plan and the corner radius of the milling tooth point which should be considered at optimizing the cutting process according to the geometrical parameters of the cutting tool. It is proposed to use the multifaceted throw-away insert of rhombic shape (TY560-62) with the minimal tool cutting edge angles ( $\varphi = \varphi_1 = 29^\circ 45'$ ) to provide high smoothness of the machined surface and increase in twice the resource utilization of the throw-away insert.

**Keywords:** roughness, machined surface, tool geometry, main angle in plan, corner radius.

## ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА В СПЕЦИАЛЬНЫХ ЭМУЛЬСИОННЫХ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЯХ

**М.Г. Акопян**

*Государственный инженерный университет Армении (Политехник)*

Рассматриваются вопросы повышения эффективности электроэрозионной обработки. Представлены результаты экспериментов по электроэрозионной обработке с использованием специальных водно-углеводородных эмульсионных рабочих жидкостей, полученных по технологии ультразвукового эмульгирования. Выявлены рецептуры эмульсий, позволяющие получить высокую производительность электроэрозионной обработки, одновременно обеспечивая одинаковое качество поверхности деталей. Исследованы вопросы методики проводимых исследований. Для определения дисперсности эмульсий разработан метод экспресс-анализа на основе метода лазерного излучения, позволяющего определить размер частиц эмульсий. Приведены зависимости производительности процесса от состава применяемой эмульсии и даны рекомендации по использованию специальных рабочих жидкостей.

**Ключевые слова:** электроэрозионная обработка, эмульсия, ультразвуковое эмульгирование, производительность.

**Введение.** Использование физико-технических методов обработки, в частности электроэрозионной обработки (ЭЭО), позволяет достаточно эффективно изготавливать изделия с необходимыми показателями по точности и качеству. Несмотря на высокую степень развития процессов ЭЭО и уровень научных изысканий, влияние диэлектрической рабочей жидкости (РЖ), физические и электрические характеристики которой действуют на технологические показатели процесса обработки и требуемые выходные параметры качества изделий, изучено недостаточно полно. Исследованиями отмечено, что по одним показателям РЖ влияют на технологический процесс положительно, а по другим - отрицательно. В экономических показателях ЭЭО существенное место занимают затраты на приобретение РЖ, и их высокая стоимость отрицательно отражается на себестоимости продукции. Применение эмульсионных РЖ, полученных ультразвуковым эмульгированием (УЗЭ), при ЭЭО обязательно отразится на технологических параметрах процесса и может повысить ее экономическую эффективность. Для улучшения технологических свойств РЖ, расширения их универсальности и области применения часто используют смеси различных жидкостей.

Особый интерес представляют две наиболее используемые среды: вода и керосин, которые по ряду параметров имеют диаметрально различные воздействия на процесс ЭЭО. Следовательно, на основе воды и керосина возможно получить среды с промежуточными характеристиками, при этом используя положительные и отрицательные свойства каждой из них. Исходя из вышесказанного, изучение и разработка диэлектрических эмульсионных РЖ с контролируемыми свойствами представляют собой актуальную и перспективную задачу с позиции усовершенствования технологических процессов ЭЭО.

**Постановка задачи.** Целью работы является повышение эффективности процессов ЭЭО металлов применением рабочих диэлектрических эмульсионных сред, полученных ультразвуковым эмульгированием.

Исходя из поставленной цели, произведен анализ свойств рабочих сред, предназначенных для ЭЭО, и установлены зависимости влияния их электрических и физических свойств на производительность и качество обработки. Разработаны методики изготовления эмульсии для проведения исследований и методики экспериментальных исследований процесса ЭЭО. Проведены экспериментальные исследования по оценке производительности и качества поверхности детали, полученной ЭЭО, с применением эмульсий в качестве РЖ. Дан анализ результатов исследования и выявлены рецептуры эмульсий, обеспечивающие оптимальное сочетание производительности и качества обработки. Разработаны рекомендации по изготовлению новых рабочих сред для ЭЭО и представлены предложения по их внедрению.

Применение смеси воды и углеводородных сред - эмульсии позволяет объединить положительные эффекты влияния на процесс ЭЭО каждой из сред. В исследованиях был изучен процесс эмульгирования взаимно нерастворимых жидкостей (воды и углеводородов) в дисперсное состояние под воздействием УЗК, действием которых обусловлено возникновение кавитации, способствующей процессу эмульгирования и образованию эмульсий.

**Методика исследования.** Для эмульгирования использовали УЗ экспериментальную установку на базе ультразвукового генератора УЗГ-10У и разработанный реактор совмещения УЗК и колебаний низких частот, позволяющий повысить эффективность УЗ эмульгирования до 25% по сравнению с цилиндрическими реакторами [1, 2].

В экспериментах по УЗ эмульгированию были использованы: вода (проточная и дистиллированная), углеводород (керосин) и эмульгатор-касторовое масло, диэлектрическая проницаемость которого  $\epsilon = 4,6$ . Диэлектрическая проницаемость воды составляет  $\epsilon = 81$ , углеводородов - 2...3. Электрическая прочность касторового масла равна 12...16 МВ/м, а электрическая прочность



керосина зависит от фракционного состояния и для очищенного керосина равна  $3 \text{ МВ/м}$ , следовательно, электрические свойства среды будут зависеть от концентраций компонентов и их электрических свойств [3].

В экспериментах было обнаружено, что температура эмульгируемых сред влияет на интенсивность эмульгирования и стабильность эмульсий. Разработан новый способ УЗ эмульгирования высококонцентрированных эмульсий методом сближения их условных вязкостей, применение которого позволило повысить эффективность эмульгирования в 2,1 раза [4, 5].

Апробация полученных эмульсий выполнялась на разработанной установке для ЭЭО, схема и фотографии которой представлены на рис. 1. Там же приведена фотография заготовки из стали 40Х размерами  $6 \times 10 \times 30 \text{ мм}$ . Прошивка стали 40Х в разных рабочих средах единичными разрядами ЭЭО производилась при напряжении  $58 \text{ В}$  с электродом-инструментом из латуни.

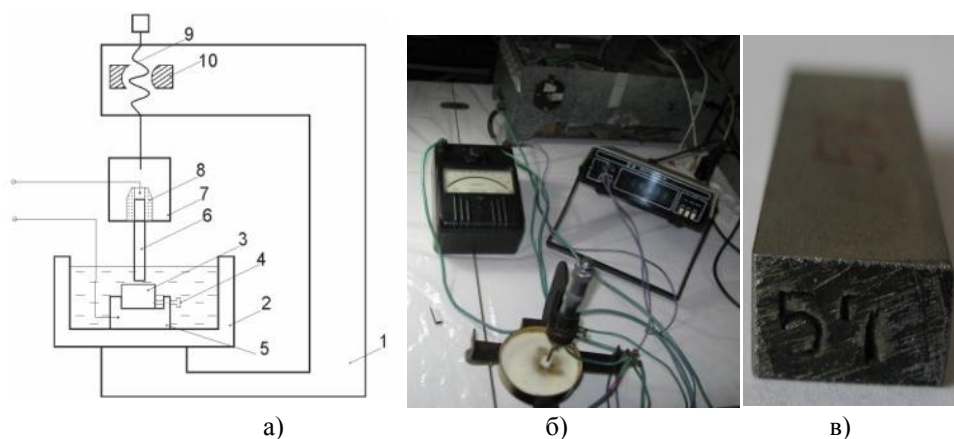


Рис. 1. Схема (а), фотографии электроэрозионной установки (б) и заготовки (в), на которой проведены эксперименты

Для определения трехфакторных математических моделей экстремальных технологических процессов по результатам экспериментальных исследований и заданным величинам нижнего и верхнего уровней переменных факторов разработаны методика и программа для моделирования трехфакторных экстремальных процессов в среде LabVIEW [6], позволяющие при разработке виртуального прибора автоматически создавать ее лицевую панель с отображением на ней входных значений и графиков зависимостей выходных значений. Выявлены режимы УЗ эмульгирования, обеспечивающие высокую интенсивность эмульгирования и стойкость эмульсий [7].

Электрические свойства полученных эмульсий имеют существенное влияние на производственные показатели ЭЭО. Были проведены эксперименты по определению проводимости эмульсий. Измерения удельного электрического сопротивления непосредственно в процессе УЗ эмульгирования воды, углеводорода и касторового масла выявили, что значение удельного сопротивления системы, все компоненты которой являлись диэлектриками, снизилось. График удельного сопротивления в целом убывает до определенного значения, после чего наблюдаются скачкообразные колебания удельного сопротивления среды [8]. Можно полагать, что понижение удельного сопротивления обусловлено влиянием УЗК на симметрию двойного электрического слоя дисперсных частиц, в результате чего меняется электронейтральное состояние среды. Электроакустические явления приводят к разности потенциалов, в результате чего можно считать, что меняется не столько значение удельного сопротивления среды, сколько ее зафиксированное значение.

При достижении точки скачкообразных колебаний удельного сопротивления УЗ эмульгирование можно прекратить, так как при этом происходят необратимые изменения в механизме распределения энергии УЗК в среде, и энергия УЗК необратимо трансформируется во внутреннюю энергию системы, т.е. на ее нагревание. Дальнейшее продолжение УЗ эмульгирования будет излишней тратой времени и энергии. Следовательно, отслеживая процесс УЗ эмульгирования в реальном времени, можно с высокой точностью определить точку формирования готовой эмульсии [3].

Отмечено, что после прекращения воздействия УЗК на среду значение удельного сопротивления эмульсии возрастает [3]. Следовательно, энергетические процессы внутри системы продолжают и после отключения УЗК. Подтверждением этому служит и тот факт, что после прекращения подвода УЗ энергии в эмульсии наблюдались явления “кипения”, т.е. формирование и разрушения пузырьков.

Таким образом, можно утверждать о существовании определенной функциональной связи между электрическими свойствами эмульсии и интенсивностью ее образования при эмульгировании, или же между электрическим сопротивлением эмульсии и интенсивностью расслоения [9].

Для определения дисперсности эмульсий был разработан метод экспресс-анализа на основе метода лазерного излучения, позволяющего определить размер частиц эмульсий [10, 11].

**Результаты исследования.** Измерения электрической прочности (пробивного напряжения) эмульсий показали, что в случае, когда дисперсная среда эмульсий – проточная проводящая вода, значение пробивного напряжения составляет 2,0...2,5 кВ на 2,5 мм. Измерения дисперсности полученных

эмульсий экспресс-методом показали, что дисперсность в зависимости от состава эмульсии меняется в пределах 63,5...134 нм.

Для повышения достоверности на каждой детали пробивались три точки (рис. 2). Графическое отображение результатов приведено на рис. 3. Из графиков следует, что высокая производительность наблюдается в воде и в эмульсиях, содержание воды в которых превышает содержание керосина.

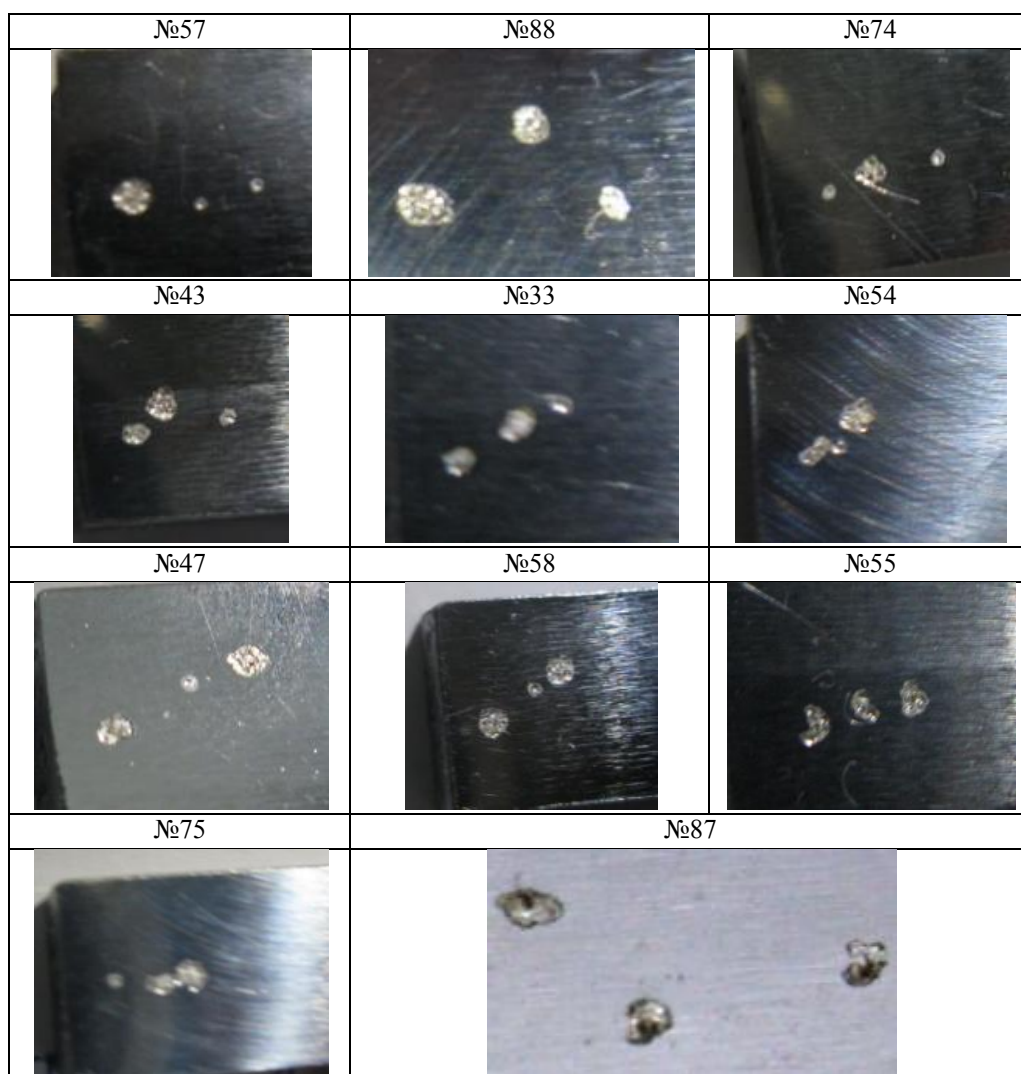


Рис. 2. Фотографии деталей, обработанных единичными разрядами ЭЭО

Для деталей № 75, № 58 высокая производительность сочетается с правильностью геометрии и лучшим качеством лунок, которые соответствовали качеству обработки в керосине. Результаты проведенных исследований показали, что в эмульсиях, в которых доля содержания воды превышает долю керосина, качество поверхностного слоя лунки превосходит качество обработки в воде, глубина лунки намного глубже, а рельеф напоминает полусферу. Для некоторых рецептур производительность в эмульсии явно ниже производительности обработки, осуществленной в отдельных ее компонентах. Следует отметить, что эти эмульсии получились грубодисперсными, чем, возможно, и обусловлены полученные результаты. Качества поверхностей деталей № 75 и № 88 схожи, однако производительность выше на 50% (в среднем в 1,2...1,4 раза).

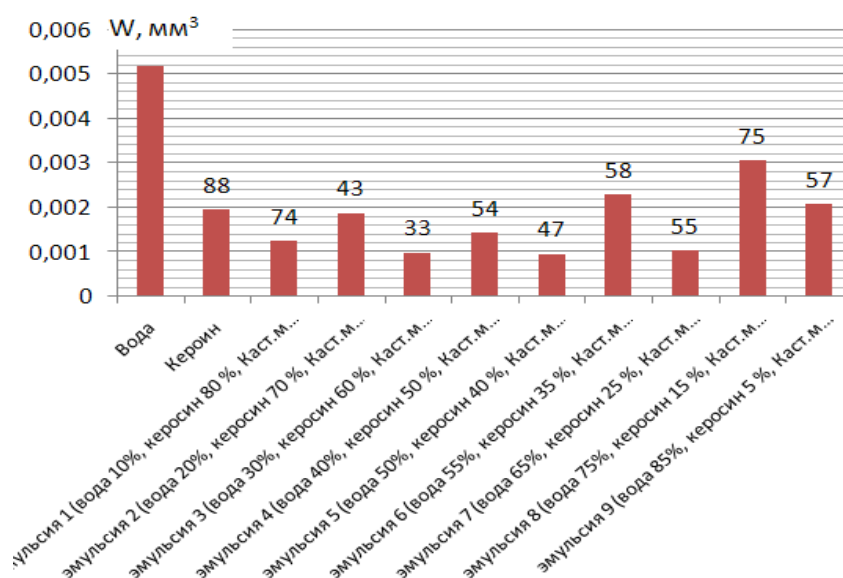


Рис. 3. Производительность единичного электроэрозионного разряда в воде, керосине и эмульсиях разных концентраций (номер графика соответствует номеру детали)

**Заключение.** УЗ эмульгирование позволяет получить высококонцентрированные эмульсии, пригодные для ЭЭО. Экспериментальными исследованиями выявлены рецептуры эмульсий, позволяющие получить высокую (в среднем в 1,2...1,4 раза выше по сравнению с обработкой в керосине) производительность ЭЭО, в то же время обеспечивая одинаковое качество поверхности деталей.

## Լիտերատուրա

1. ՀՀ թիվ 2166 А2 արտոնագիր. Անդրաձայնային ռեակտոր / **Բ.Ս. Բալասանյան, Ա.Շ. Խրիստաֆորյան, Մ.Գ. Հակոբյան և ուր.** - 2008. - 6 էջ:
2. Հեղուկ միջավայրերում գերձայնային ու ցածր հաճախության տատանումների համադրման ռեակտոր / **Բ.Ս. Բալասանյան, Ա.Բ. Բալասանյան, Մ.Գ. Հակոբյան և ուր.** // Լրաբեր - 75 ՀՊՃՀ. Գիտ. և մեթ. հոդվածների ժողովածու - Երևան, 2008. - № 1. - էջ 219-221:
3. **Акопян М.Г., Акопян Г.Г.** О возможности получения технологической среды для электроэрозионной обработки с заданными электрическими характеристиками // Сб. тр. МНТК “Технология и техника автоматизации”. – Ереван, 2008. – С. 109-113.
4. ՀՀ թիվ 2150 А2 արտոնագիր. Էմուլսիայի ստացման անդրաձայնային եղանակ / **Բ.Ս. Բալասանյան, Ա.Շ. Խրիստաֆորյան, Մ.Գ. Հակոբյան և ուր.** - 2008.-7 էջ:
5. Գերձայնային էմուլսացման գործընթացի ինտենսիվության բարձրացման մասին / **Բ.Ս. Բալասանյան, Ա.Բ. Բալասանյան, Մ.Գ. Հակոբյան և ուր.** // Լրաբեր -75 ՀՊՃՀ. Գիտ. և մեթ. հոդվածների ժողովածու. - Երևան, 2008.- № 1.- էջ 221-223:
6. **Акопян М.Г., Баласанян Б.С., Баласанян А.Б.** Методика разработки виртуального прибора в среде LabVIEW для моделирования трехфакторных экстремальных технологических процессов // Сб. тр. МНТК “Технология и техника автоматизации”. – Ереван, 2008. – С. 183-195.
7. **Баласанян Б.С., Акопян М.Г., Баласанян А.Б.** Выявление математических моделей экстремальных технологических процессов в среде LabVIEW // Вестник – 76 ГИУА (Политехник): Сб. научных и методических статей. – Ереван, 2009. – Т. 1, № 3. – С. 149-155.
8. **Акопян М.Г., Мурадян А.Г., Манукян Ш.Ш.** Особенности электрических параметров дисперсных частиц как характеристика стабильности водно-углеводородных эмульсий // Сб. трудов Межд. науч.-техн. конф. “Технологии и техника автоматизации-2009”. – Ереван, 2010. – С. 58-60.
9. **Акопян М.Г., Мурадян А.Г.** О возможности управления дисперсностью эмульсий, полученных при помощи ультразвуковых колебаний // Вестник ГИУА (Политехник): Сб. научных и методических статей. – Ереван, 2010. – Т.2, № 1. – С. 105-107.
10. **Акопян М.Г.** Способ определения степени дисперсности эмульсионных рабочих жидкостей оптическим методом // Мат. 10-го Межд. науч. сем. 11-й МНТК “Наука-образованию, производству, экономике”. – Минск: Изд-во БНТУ, 2013. – Ч. 2. – С. 85-89.
11. **Акопян М.Г.** О методе экспресс-анализа степени дисперсности эмульсионных рабочих жидкостей оптическим методом // Вестник ГИУА (Политехник). Серия “Механика, Машиноведение, Машиностроение”. – Ереван, 2013. – Вып. 16, №1. – С. 98-102.

*Поступила в редакцию 27.10.2014.  
Принята к опубликованию 16.12.2014.*

**ԷԼԵԿՏՐԱԵՐՈՋԻՈՆ ՄՇԱԿՈՒՄԸ ՀԱՏՈՒԿ ԷՄՈՒԼՍԻՈՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ  
ՀԵՂՈՒԿՆԵՐՈՒՄ**

**Մ. Գ. Հակոբյան**

Դիտարկված են էլեկտրաէրոզիոն մշակման արդյունավետության բարձրացման հարցերը: Ներկայացված են գերձայնային էնուլսացմամբ ստացված հատուկ ջրա-ածխաջրածնային էնուլսային աշխատանքային հեղուկներում էլեկտրաէրոզիոն մշակման արդյունքները: Բացահայտված են էլեկտրաէրոզիոն մշակման բարձր արտադրողականություն ապահովող էնուլսիաների բաղադրությունները, որոնք միաժամանակ ապահովում են նաև մասերի մակերևույթների նույն որակը: Ներկայացված են հետազոտության մեթոդներին առնչվող հարցեր: Էնուլսիաների դիսպերսականությունը որոշելու համար մշակվել է էքսպրես վերլուծության մեթոդ՝ հիմնված լազերային ճառագայթման մեթոդի վրա, որը թույլ է տալիս որոշել էնուլսիաների մասնիկների չափերը: Ցույց է տրված մշակման գործընթացի արտադրողականության կախվածությունը կիրառվող էնուլսիայի բաղադրությունից:

**Առանցքային բաներ.** էլեկտրաէրոզիոն մշակում, էնուլսիա, գերձայնային էնուլսացում, արտադրողականություն:

**ELECTRIC DISCHARGE MACHINING IN SPECIAL EMULSION WORKING  
FLUIDS**

**M.G. Hakobyan**

Issues on increasing the efficiency of electric discharge machining are considered. The experimental results of electric discharge machining by using special water-hydrocarbon emulsion working fluids obtained by ultrasonic emulsification technology are introduced. The composition of emulsions allowing to achieve high efficiency electric discharge machining, at the same time ensuring the same quality of the workpiece surface is revealed. The issues on the method of the performed investigations are considered. To determine the dispersion of the emulsion, a method was developed for an express analysis based on the method of laser radiation allowing to determine the particle size of the emulsions. The dependences of the process productivity on the composition of the applied emulsion, and recommendations on the usage of special working fluids are introduced.

**Keywords:** electric discharge machining, emulsion, ultrasound emulsification, productivity.

### ՀԵՂԻՆԱԿՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿ

1. Ազգայան Լիլիթ Արամի – մագիստրոս, «Մեքենագիտություն» ամբիոն, ՀՊՃՀ
2. Առուստամյան Ալլա Միքայելի – տ.գ.թ., ասիստենտ, «Կիրառական մեխանիկա» ամբիոն, ՀՊՃՀ
3. Արշակյան Արմեն Լյուդվիկի – տ.գ.թ., դոցենտ, Մեքենաշինական ֆակուլտետի դեկան, ՀՊՃՀ
4. Բալասանյան Բորիս Սերգեյի – տ.գ.դ., պրոֆեսոր, «Մեքենաշինության ավտոմատացում և համալիր մեքենայացում» ամբիոնի վարիչ, ՀՊՃՀ
5. Բելուբեկյան Մելս Վաղարշակի – ֆ-մ.գ.թ., պրոֆեսոր, գլխավոր գիտաշխատող, ՀՀ ԳԱԱ Մեխանիկայի ինստիտուտ
6. Գալունսկա Միխայիլ Կոնստանտինի – տ.գ.թ., բաժնի պետ, «Սարքաշինության կոնստրուկտորական բյուրո» ԲԲԸ մասնաճյուղ՝ «Սպորտային-որսորդական զենքի կենտրոնական կոնստրուկտորահետազոտական բյուրո», Տուվա, Ռուսաստան
7. Գևորգյան Վահան Ռուբենի – կրտսեր գիտաշխատող, Իլմենաուի տեխնիկական համալսարան, Գերմանիա
8. Զաքարյան Նարեկ Բենիկի – ասպիրանտ, «Մեքենագիտություն» ամբիոն, ՀՊՃՀ
9. Խրիստաֆորյան Ստեփան Շմավոնի – տ.գ.դ., պրոֆեսոր, «Մեքենաշինական տեխնոլոգիաներ» բազային լաբ. վարիչ, ՀՊՃՀ
10. Կարապետյան Անի Ղազարի – լաբորանտ, «Կիրառական մեխանիկա» ամբիոն, ՀՊՃՀ
11. Հակոբյան Մարիամ Գևորգի – տ.գ.թ., ասիստենտ, «Տրանսպորտային և տեխնոլոգիական համակարգեր» ամբիոն, ՀՊՃՀ Գյումրու մասնաճյուղ
12. Հայրապետյան Վարդան Ժորեսի – տ.գ.դ., պրոֆեսոր, «Մեքենաշինական արտադրության տեխնոլոգիաներ և սարքավորումներ» ամբիոն, ՀՊՃՀ
13. Հովհաննիսյան Վարդան Միսակի – տ.գ.թ., դոցենտ, «Մեքենաշինական արտադրության տեխնոլոգիաներ և սարքավորումներ» ամբիոն, ՀՊՃՀ
14. Մակարով Վլադիմիր Ֆյոդորի – տ.գ.դ., պրոֆեսոր, «Մեքենաշինության իննովացիոն տեխնոլոգիաներ» ամբիոն, Պերմի ազգային հետազոտական պոլիտեխնիկական համալսարան, ՌԴ
15. Մովսիսյան Արամ Վանիկի – տ.գ.թ., դոցենտ, «Մեքենաշինական արտադրության տեխնոլոգիաներ և սարքավորումներ» ամբիոն, ՀՊՃՀ
16. Մուխամբյան Լարիսա Համբարձումի – ասպիրանտ, «Մեքենաշինական արտադրության տեխնոլոգիաներ և սարքավորումներ» ամբիոն, ՀՊՃՀ
17. Նիկիտին Սերգեյ Պյոտրի – տ.գ.թ., դոցենտ, «Մետաղահատ հաստոցներ և գործիքներ» ամբիոն, Պերմի ազգային հետազոտական պոլիտեխնիկական համալսարան, ՌԴ
18. Պետրոսյան Գևորգ Լյուդվիկի – տ.գ.դ., պրոֆեսոր, «Մեքենագիտություն» ամբիոն, ՀՊՃՀ
19. Պրեյս Վլադիմիր Վիկտորի – տ.գ.դ., պրոֆեսոր, «Տեխնոլոգիական համակարգեր սննդի և վերամշակման ոլորտներում» ամբիոնի վարիչ, Տուվայի պետական համալսարան, Ռուսաստան
20. Սակյան Ալբերտ Խալիլի – ասպիրանտ, Պերմի ազգային հետազոտական պոլիտեխնիկական համալսարան, ՌԴ
21. Սանոյան Յուրի Գևորգի – ֆ-մ.գ.թ., ավագ գիտաշխատող, ՀՀ ԳԱԱ Մեխանիկայի ինստիտուտ
22. Շեկյան Համլետ Գուրգենի – տ.գ.դ., պրոֆեսոր, առաջատար գիտաշխատող, ՀՀ ԳԱԱ Մեխանիկայի ինստիտուտ
23. Փարսյան Էդուարդ Արթակի – տ.գ.թ., դոցենտ, «Մեքենաշինական արտադրության տեխնոլոգիաներ և սարքավորումներ» ամբիոն, ՀՊՃՀ
24. Քրիստափորյան Էռնեստ Ստեփանի – տ.գ.թ., ավագ գիտաշխատող, «Մեքենաշինական տեխնոլոգիաներ» բազային լաբորատորիա, ՀՊՃՀ

## СПИСОК АВТОРОВ

1. Азарян Лилит Арамовна – магистр, кафедра “Машиноведение”, ГИУА
2. Айрапетян Вардан Жоресович – д.т.н., профессор, кафедра “Технологии и оборудование машиностроительного производства”, ГИУА
3. Акопян Мариам Геворковна – к.т.н., ассистент, кафедра “Транспортные и технологические системы”, Гюмрийский филиал ГИУА
4. Арустамян Алла Михайловна – к.т.н., ассистент, кафедра “Прикладная механика”, ГИУА
5. Аршакян Армен Людвигович – к.т.н., доцент, декан Машиностроительного факультета, ГИУА
6. Баласанян Борис Сергеевич – д.т.н., профессор, зав. кафедрой “Автоматизация и комплексная механизация машиностроения”, ГИУА
7. Белубекян Меле Вагаршакович – к. физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник Института механики, НАН РА
8. Галонска Михаил Константинович – к.т.н., начальник отдела, филиал ОАО “Конструкторское бюро приборостроения” – “Центральное конструкторское исследовательское бюро спортивно-охотничьего оружия”, Тула, Россия
9. Геворкян Ваган Рубенович – младший научный сотрудник, Технический университет Илменау, Германия
10. Закарян Нарек Беникович – аспирант, кафедра “Машиноведение”, ГИУА
11. Карапетян Ани Казаровна – лаборантка, кафедра “Прикладная механика”, ГИУА
12. Макаров Владимир Федорович – д.т.н., профессор, кафедра “Инновационные технологии машиностроения”, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия
13. Мовсисян Арам Ваникович – к.т.н., доцент, кафедра “Технологии и оборудование машиностроительного производства”, ГИУА
14. Мутафян Лариса Амбарцумовна – аспирант, кафедра “Технологии и оборудование машиностроительного производства” ГИУА
15. Никитин Сергей Петрович – к.т.н., доцент, кафедра “Металлорежущие станки и инструменты”, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия
16. Оганесян Вардан Мисакович – к.т.н., доцент, кафедра “Технологии и оборудование машиностроительного производства”, ГИУА
17. Парсян Эдуард Арбакович – к.т.н., доцент, кафедра “Технологии и оборудование машиностроительного производства”, ГИУА
18. Петросян Геворг Людвигович – д.т.н., профессор, кафедра “Машиноведение”, ГИУА
19. Преис Владимир Викторович – д.т.н., профессор, зав. кафедрой “Технологические системы пищевых и перерабатывающих производств”, Тульский государственный университет, Россия
20. Сакаев Альберт Халилович – аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия
21. Саноян Юрий Геворкович – к. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Института механики, НАН РА
22. Христафорян Степан Шмавонович – д.т.н., профессор, зав. базовой лабораторией “Машиностроительные технологии”, ГИУА
23. Христафорян Эрнест Степанович – к.т.н., старший научный сотрудник, базовая лаб. “Машиностроительные технологии”, ГИУА
24. Шемян Гамлет Гургенович – д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник, Институт механики, НАН РА



## LIST OF THE AUTHORS

- 1 Arshakyan Armen Lyudvik – Cand. of tech. sci., Associate Professor, Dean of Machine-Building Faculty, SEUA
- 2 Arustamyan Alla Mikael – Cand. of tech. sci., Lecturer Assistant of the Chair “Applied Mechanics”, SEUA
- 3 Azaryan Lilit Aram – Graduate Student of the Chair “Machine Science”, SEUA
- 4 Balasanyan Boris Sergey – Doctor of tech.sci., Professor, Head of the Chair “Automation and Complex Mechanization of Machine Building”, SEUA
- 5 Belubekyan Mels Vagharshak – Cand. of phys.-math. sci., Chief researcher, Institute of Mechanics, RA NAS
- 6 Galonska Michael Konstantin – Cand. of tech. sci., Chief of the department, brunch of the Open Joint Stock Company “Design bureau of instrument making” – “Central designer exploratory bureau of the sports-hunting weapon”, Tula, Russia
- 7 Gevorkyan Vahan Ruben – Junior Researcher, Technical University of Ilmenau, Germany
- 8 Hakobyan Mariam Gevork – Cand. of tech. sci., Lecturer Assistant of the Chair “Transportation and Technological Systems”, SEUA (Gyumri)
- 9 Hayrapetyan Vardan Zhores – Doctor of tech.sci., Professor of the Chair “Technologies and Equipment of Machine-building Industry”, SEUA
- 10 Hovhannisyan Vardan Misak – Cand. of tech. sci., Associate Professor of the Chair “Technologies and Equipment of Machine-building Industry”, SEUA
- 11 Karapetyan Ani Ghazar – Laboratory Assistant of the Chair “Applied Mechanics”, SEUA
- 12 Khristaforyan Stepan Shmavon – Doctor of tech.sci., Professor, Head of the basic laboratory "Machine-building Technologies", SEUA
- 13 Makarov Vladimir Fyodor – Doctor of tech.sci., Professor of the Chair “Innovation Technologies of Machine Building”, Perm National Research Polytechnic University, Russia
- 14 Movsisyan Aram Vanik – Cand. of tech. sci., Associate Professor of the Chair “Technologies and Equipment of Machine-building Industry”, SEUA
- 15 Mutafyan Larisa Hambarzum – Post-graduate student of the Chair “Technologies and Equipment of Machine-building Industry”, SEUA
- 16 Nikitin Sergey Petr – Cand. of tech. sci., Associate Professor of the Chair “Metal-Cutting Machines and Instruments”, Perm National Research Polytechnic University, Russia
- 17 Parsyan Eduard Arbak – Cand. of tech. sci., Associate Professor of the Chair “Technologies and Equipment of Machine-building Industry”, SEUA
- 18 Petrosyan Gevorg Ludvik – Doctor of tech.sci., Professor of the Chair “Machine Science”, SEUA
- 19 Prejs Vladimir Viktor – Doctor of tech.sci., Professor, Chief of the Chair “Technological Systems of the Food and Processing Industries”, Tula State University, Russia
- 20 Qristaphoryan Ernest Stepan – Cand. of tech. sci., Senior Scientific Worker, basic lab. "Machine Building Technologies", SEUA
- 21 Sakaev Albert Khalil – Post-graduate student , Perm National Research Polytechnic University, Russia
- 22 Sanoyan Yuri Gevorg – Cand. of phys.-math. sci., Senior researcher, Institute of Mechanics, RA NAS
- 23 Shekyan Hamlet Gurgen – Doctor of tech.sci., Professor, Leading researcher, Institute of Mechanics, RA NAS
- 24 Zakaryan Narek Benik – Post-graduate student of the Chair “Machine Science”, SEUA

## ՀՈՂՎԱԾՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ԿԱՆՈՆՆԵՐԸ

Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի (Պոլիտեխնիկ) «Բանբեր» ամսագիրը գրախոսվող հանդես է, որը հրատարակվում է ճյուղային գիտատեխնիկական, նաև ակնարկային-վերլուծական բնույթի հոդվածներ, հաղորդումներ, ինչպես և տվյալ բնագավառի անվանի գիտնականների հոբելյաններին, նոր գրքերին, համալսարանի մասնակցությամբ կայացած գիտաժողովներին նվիրված նյութեր, խմբագրությանն ուղղված նամակներ:

Նյութը խմբագրություն ներկայացվում է համաձայն հետևյալ պահանջների.

1. Երկու օրինակ, նաև էլեկտրոնային տարբերակով ([banber\\_mm@seua.am](mailto:banber_mm@seua.am)), համակարգչային շարվածքը՝ Microsoft Office Word: Հոդվածի ծավալը կարող է լինել մինչև 10 էջ, հաղորդումներինը՝ մինչև 4 էջ: Տեքստը շարադրվում է A4 չափսի թղթի վրա, աշխատանքային դաշտը՝ Top-5սմ, Bottom-5,1սմ, Left-5,75սմ, Right-1,75սմ, Fottter-4,6սմ, միջտողային տարածությունը (Line spacing)՝ 1,1, պարբերությունը (First line)՝ 0,75 սմ: Հայերեն լինելու դեպքում նյութը շարադրվում է GHEA Grapalat տառատեսակով, տառաչափը՝ 10, իսկ ռուսերենի կամ անգլերենի դեպքում՝ Times New Roman տառատեսակով, տառաչափը՝ 11:

2. Թղթի վերևի ձախ անկյունում գրվում է համապիտանի տասնորդական դարականիչը՝ տեքստին համապատասխան լեզվով (ՀՏԴ, ՄԴԿ, UDC), հաջորդ տողի կենտրոնում վերնագիրը՝ գլխատառերով, հաջորդ տողում հեղինակ(ներ)ի անվան-հայրանվան սկզբնատառերը և ազգանուն(ներ)ը՝ bold, 10 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 11 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, մեկ տող ներքև՝ հեղինակ(ներ)ի աշխատավայրը՝ italic, 9 տառաչափով՝ հայերեն և 10 տառաչափով՝ ռուսերեն և անգլերեն:

3. Նյութը սկսվում է ամփոփումով (անտառագիտ) այն լեզվով, որով ներկայացված է: Ամփոփումն ավարտվում է առանցքային բառերով՝ տառաչափը՝ 9 հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, և միայն «Առանցքային բառեր» արտահայտությունը՝ bold, italic: Ամփոփումը պետք է լինի 70-100 բառ, առանցքային բառերը կամ բառակապակցությունները՝ 4-8 բառ:

4. Երաշխավորվում է նյութի շարադրման հետևյալ կարգը. «Ներածություն», որը պետք է համառոտ ներառի հարցի վիճակը, թեմայի արդիականությունը և հետազոտության նպատակը, «Ինդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը», «Հետազոտության արդյունքները», «Եզրակացություն», անհրաժեշտության դեպքում՝ նաև այլ բաժիններ՝ համապատասխան ենթավերնագրերով:

5. Տեքստում հղումները գրականությանը նշվում են ուղղանկյուն փակագծերով: Բանաձևերը ներկայացվում են նոր տողից, Equation Editor ծրագրով, italic, տառաչափը՝ 11, անհրաժեշտության դեպքում համարակալվում են տողի վերջում՝ սովորական (կոր) փակագծում:

6. Նկարներն ու աղյուսակները հաջորդում են տեքստում համապատասխան հղումներին: «Նկ.» և «Աղյուսակ» բառերը, նկարների մակագրությունը և աղյուսակների անվանումները գրվում են Italic 9 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում:

7. Տեքստին հաջորդում է գրականության ցանկը՝ 9 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, միայն հեղինակի ազգանունն ու անվան-հայրանվան սկզբնատառերը՝ bold, «Գրականություն» բառը արտահայտությունը՝ տողի կենտրոնում, փոքրատառերով: Ցանկում գրականության յուրաքանչյուր աղբյուր համարակալվում է ըստ տեքստում իր հղման հերթականության: Գրականության աղբյուրները պարբերական հրատարակությունների դեպքում ներկայացվում են հետևյալ կարգով. **հեղինակի ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը**, վերնագիրը, հանդեսի անվանումը կամ ընդունված հապավումը, հրատարակման տարեթիվը, հատորի ու թողարկման համարները, հերթական համարը, նյութի զետեղման էջերը, գրքերի դեպքում՝ **հեղինակի ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը**, վերնագիրը, հրատարակման վայրը, հրատարակչությունը, թվականը, էջերի քանակը:

8. Գրականության ցանկին հաջորդում են ամփոփումները մյուս երկու լեզուներով (եթե տեքստը հայերեն է, ամփոփումները նախ՝ ռուսերեն, ապա՝ անգլերեն, եթե ռուսերեն է, նախ՝ հայերեն, ապա՝ անգլերեն, եթե անգլերեն է, նախ՝ հայերեն, ապա՝ ռուսերեն): Ամփոփումները բոլոր երեք լեզուներով իրենց բովանդակությամբ և առանցքային բառերով պետք է լինեն նույնական:

9. Տեքստը ստորագրվում է հեղինակ(ներ)ի կողմից, նշվում է նյութը խմբագրություն հանձնելու ամսաթիվը: Տեքստի խմբագրված և սրբագրված տարբերակը համաձայնեցվում է հեղինակ(ներ)ի հետ:

10. Հեղինակ(ներ)ն առանձին էջով ներկայացնում է (են) ազգանուն, անուն, հայրանունը (լրիվ), աշխատավայրի, սովորելու վայրի լրիվ անվանումը, զբաղեցրած պաշտոնը, գիտական աստիճանը, հեռախոսահամարները (աշխատանքային, տան և բջջային):

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Вестник Государственного инженерного университета Армении (ПОЛИТЕХНИК) – рецензируемый журнал, в котором публикуются статьи научно-технического характера, сообщения, заказные обзорно-аналитические статьи, а также материалы, посвященные юбилеям известных в данной области ученых, новым книгам, научным конференциям при участии университета, и письма в адрес редакции.

Материал представляется в редакцию в соответствии со следующими правилами:

1. Статья в двух экземплярах и файл статьи ([banber\\_mm@seua.am](mailto:banber_mm@seua.am)) в формате Microsoft Office Word. Объем статьи не должен превышать 10 страниц, объем сообщений – до 4-х страниц. Формат страницы – А4. Рабочее поле: Top – 5cm, Bottom – 5,1cm, Left – 5,75cm, Right – 1,75cm, Footer – 4,6cm, межстрочный интервал (Line spacing) – 1,1, красная строка (First line) – 0,75cm. Для статьи, написанной на армянском языке, применяется шрифт GHEA Grapalat (размер шрифта – 10), а на русском и английском – Times New Roman (размер шрифта – 11).

2. В левом верхнем углу первого листа указывается универсальный десятичный классификатор (ՀՏՂ, УДК, UDC); строкой ниже по центру указывается название статьи – заглавными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм.яз., 11 – на рус. и англ. яз., строкой ниже – инициалы (И.О.) и фамилия – строчными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм.яз., 11 – на рус. и англ. яз., выравнивание по центру; строкой ниже – место работы – шрифт italic, размер 9.

3. Материал текста начинается с аннотации и представляется на том языке, на котором написана статья. Текст аннотации должен включать 70-100 слов. После аннотации пишутся ключевые слова – от 4-х до 8-и слов или словосочетаний. Размер текста аннотации и ключевых слов 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз., словосочетание «**Ключевые слова**» – Bold, italic.

4. Рекомендуется следующий порядок изложения материала статьи: введение, в котором должны быть кратко представлены состояние вопроса, актуальность темы и цель исследования; постановка задачи и обоснование методики; результаты исследования; заключение (эти, а при необходимости, и другие разделы должны иметь соответствующие заголовки).

5. Ссылки на литературу в тексте даются в квадратных скобках. Формулы и математические выражения набираются редактором Microsoft Equation, italic, размер – 11. Формулы набираются с новой строки, выравнивание по центру. При необходимости, их нумеруют. Номер формулы располагается в конце строки, в круглых скобках.

6. Рисунки и таблицы располагаются в тексте по ходу ссылки на них. Слова «Рис.», «Таблица», а также названия рисунков и таблиц пишутся italic, размер 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз.

7. В конце статьи дается список литературы: размер 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз. Слово «**Литература**» располагается в центре строки строчными буквами, Bold. Цитированная литература нумеруется в порядке ссылки на нее в тексте. Каждый источник представляется в следующем порядке: в случае ссылки на статью из журнала: **фамилия, инициалы И.О.** – Bold, название статьи, название журнала, место издания, год издания, том и номер издания, с какой по какую страницы занимает статья в этом журнале; в случае ссылки на книгу: **фамилия, инициалы И.О.**, название книги, место издания, название издательства, год издания, общее количество страниц.

8. После литературы представляются аннотации вместе с ключевыми словами на двух других языках. Если статья написана на армянском языке, то сначала дается аннотация на русском языке, затем на английском; если написана на русском языке – соответственно на армянском и английском, а если на английском – соответственно на армянском и русском языках. Содержание аннотаций и ключевые слова должны быть на трех языках одинаковыми.

9. Статья подписывается автором (авторами). В конце статьи ставится дата (число, месяц, год) представления статьи. Отредактированный и откорректированный вариант рукописи согласовывается с автором (авторами).

10. На отдельной странице необходимо представить следующие авторские данные: фамилия, имя, отчество; полное наименование места работы, места учебы; занимаемая должность, ученая степень и звание; номера телефонов (служебный, домашний, мобильный).

## RULES FOR PREPARATING THE MANUSCRIPTS

Proceedings of State Engineering University of Armenia (Polytechnic) is a peer-reviewed journal which publishes scientific-technical and also analytic-review papers, short communications, as well as materials about the jubilees of prominent scientists, new books, scientific conferences coorganized by the University, letters addressed to the editorial board.

The material should be presented to the editorial staff in accordance with the requirements given below.

1. The authors are requested to submit two hard copies, and also the electronic version ([banber\\_mm@seua.am](mailto:banber_mm@seua.am)) of the manuscript by Microsoft Office Word. The volume of scientific paper is limited to 10 pages, and to 4 pages for short communications. The text should be printed on A4 sized paper. The text margins should be: Top – 5cm, Bottom – 5.1 cm, Left – 5.75 cm, Right – 1.75 cm, Footer – 4.6 cm, Line-spacing – 1.1 cm, the first line – 0.75 cm. Texts in Armenian should be printed by the GHEA Grapalat, font size 10, and the texts in Russian or English – by Times New Roman, in font size 11.

2. On the top left corner of the first page, the Universal Decimal Classifier is placed (ՀՏՌ, ՄԴԿ, UDC). The title of the article in capital letters, bold, font size 10 for texts in Armenian, and 11 – for Russian and English should be placed in the centre of the next line. The initials and the surname(s) in small letters and bold, in font size 10, for texts in Armenian, and in font size 11 for the ones in English and Russian should be lined up in the centre of the next line. In the following line, the workplace of the author(s) should be mentioned, italic, font size 9.

3. The text begins with an abstract in the language it is presented. The abstract should include 70-100 words. It ends with keywords in font size 9 for texts in Armenian, and in font size 10 for the ones in English and Russian. Only the word “Keywords” should be bold, italic. The summary should not exceed 5 lines, the number, of keywords or word combinations - 4-8. The papers should include an introduction briefly introducing the state of the problem area, the importance of the subject and the aim of investigation, as well as sections describing the statement of the problem and selection of the methodology, the results of investigation, conclusion (other sections if necessary) with subtitles, and it should end with the list of references.

4. The references in the text should be given in square brackets. The formulae should be introduced by the Microsoft Equation Editor. They are printed from a new line in italic, font size 11 in the center of the line, and if necessary numbered at the end of the line in round brackets..

5. Figures and tables should follow their references given in the text. The words “Fig”, “Table”, the figure inscriptions and the table names should be printed in italic, in font size 9, for texts in Armenian, and in font size 10 for texts in English and Russian.

6. The text is followed by the references in font size 9 for texts in Armenian and in font size 10 for texts in English and Russian. Only the author’s initials and surname should be bold. The word “References” should be placed in the center of the line in small letters. In the list of references, each source should be enumerated according to its reference number in the text. For the periodicals the references should be introduced in the following style: **the author’s surname, initials**, title, year, numbers of the volume and the issue, page numbers, and for books – **the authors’ names**, full title, publication place, publisher, year, the total number of pages.

7. The references are followed by the abstracts in the other two languages. If the text is in Armenian, the abstracts should be first in Russian and then in English. The text in Russian should be followed first by Armenian and then by English abstracts, while the texts in English should be followed first by Armenian, then by Russian abstracts. The abstracts in all the three languages should be identical in content and keywords.

8. The manuscript should be signed by the author(s) with the indication of the submission date. The edited and proofread version of the manuscript should be agreed upon by the author(s).

10. On a separate page, the author(s) should introduce his/her/their full surname(s), name(s), patronymic(s); the full name(s) of the employment place, the educational institution; the position occupied, the scientific degree, the telephone numbers (office, home, mobile).

**ԲԱՆԲԵՐ**  
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՃԱՐՏԱՐԱԳԻՏԱԿԱՆ  
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ (ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ)

**Սերիա** ՄԵԽԱՆԻԿԱ, ՄԵՔԵՆԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ,  
ՄԵՔԵՆԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ

**ВЕСТНИК**  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ИНЖЕНЕРНОГО УНИВЕРСИТЕТА  
АРМЕНИИ (ПОЛИТЕХНИК)

**Серия** МЕХАНИКА, МАШИНОВЕДЕНИЕ,  
МАШИНОСТРОЕНИЕ

**PROCEEDINGS**  
OF STATE ENGINEERING UNIVERSITY  
OF ARMENIA (POLYTECHNIC)

**Series** MECHANICS, MACHINE SCIENCE,  
MACHINE-BUILDING

**2014**

**2**

**Թողարկում**  
**Выпуск**  
**Issue**

**17**

Հրատ. խմբագիր՝ ԺԱՆՆԱ Ս. ՍԵՅՐԱՆՅԱՆ  
Խմբագիրներ՝ ՀԱՍՄԻԿ Յ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ  
ՀԱՍՄԻԿ Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ  
Շապիկի ձևավորումը՝ ԷԴՈՒԱՐԴ ԿՈՒՐԴԻՆՅԱՆԻ

Ստորագրված է տպագրության՝ 10.06.2014թ.:  
Թուղթը՝ «օֆսեթ»Տպագրությունը՝ ուղղ, ֆորմատ՝ (70x100) 1/16:  
Շարվածը՝ համակարգչային:  
Տառատեսակը՝ Times New Roman, GHEA Grapalat: 8 տպ. մամ.:  
Պատվեր՝ 276 Տպաքանակ՝ 120

Հայաստանի Պետական  
Ճարտարագիտական  
Համալսարանի տպարան  
Երևան, Տերյան 105,  
Հեռ.՝ 520 356

Типография Государственного  
Инженерного Университета  
Армении  
Ереван, ул. Тeryан 105,  
Тел.: 520 356

Printing house of State  
Engineering University  
of Armenia  
105 Teryan str. Yerevan,  
Tel. 520 356