

**Найменування розробки Створення ресурсозберігаючих процесів та установки для ізотермічного в'язкопластичного формоутворення з титанових сплавів і порошкових матеріалів деталей з тонкостінними елементами в машинобудуванні**

**Creation of resource-saving processes and installations for isothermal viscoplastic molding of titanium alloys and powder materials of parts with thin-walled elements in mechanical engineering**

1. Номер державної реєстрації № 0122U001448
2. Науковий керівник Тітов Вячеслав Андрійович (д.т.н., проф.) Vjacheslav Titov (Doctor of Science, prof..)
3. Суть розробки, основні результати. (укр., англ.).

Створення ресурсозберігаючих технологій та обладнання для формоутворення деталей з тонкостінними елементами з титанових сплавів та порошкових матеріалів, наприклад, монолітних коліс та лопаток газотурбінних двигунів та інших, з високою точністю та заданими експлуатаційними властивостями. Така проблема відносно серійної технології для титанових сплавів вирішується вперше в світі.

На основі прийнятих робочих гіпотез роботи, сучасної проблематики досліджень сформовано новітні рішення, щодо ефективних схем, розроблено ресурсозберігаючі процеси на основі нових знань щодо в'язкопластичної течії титанових сплавів і порошкових матеріалів в ізотермічних умовах, розроблено рекомендацій щодо вибору температурно-швидкісного фактору, режимах деформування та створено методи по реалізації технологічного процесу виготовлення деталей з тонкостінними елементами для промислових підприємств авіаційної галузі.

На сьогодні основними процесами виготовлення моноколів є механічна обробка з монолітної заготовки, яка має високу трудомісткість для алюмінієвих моноколів до 200-250 годин, а для титанових 250-350 годин на станках з ЧПК Використання нових знань дає зменшення трудомісткості на виготовлення на 40-80%.

Creation of resource-saving technologies and equipment for forming parts with thin-walled elements from titanium alloys and powder materials, for example, monolithic wheels and blades of gas turbine engines and others, with high accuracy and specified operational properties. Such a problem regarding serial technology for titanium alloys is being solved for the first time in the world.

On the basis of the accepted working hypotheses of the work, modern research problems, the latest solutions were formed regarding effective schemes, resource-saving processes were developed on the basis of new knowledge about the viscoplastic flow of titanium alloys and powder materials in isothermal conditions, recommendations were developed regarding the selection of the temperature-velocity factor, deformation modes and created methods for the implementation of the technological process of manufacturing parts with thin-walled elements for industrial enterprises in the aviation industry.

Today, the main processes of manufacturing unicycles are mechanical processing from a monolithic workpiece, which is highly labor-intensive for aluminum unicycles up to 200-250 hours, and for titanium 250-350 hours on CNC machines. The use of new knowledge reduces the labor intensity of production by 40-80%.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності (заявка на патент, патент, свідоцтво на авторське право).

Патент на корисну модель

1. Патент №153132, опубл. 07.06.23. «Пристрій для виготовлення трубчастих виробів з профільованою внутрішньою поверхнею», заявка u202204164 від 03.11.2022,
2. Патент №153232, опубл. 07.06.23. «Спосіб виготовлення ствола стрілецької зброї з внутрішнім гвинтовим полігональним профілем», заявка u202204545 від 02.12.2022

### **Заявки на патенти (корисна модель):**

1. «Пристрій для ізотермічного штампування» заявка №u202304811, від 12.10.2023 р.
2. «Ультразвукове обладнання для ударної обробки внутрішніх поверхонь довгих отворів деталей» заявка № u202204642, від 08.12.2022.

### **Заявки на патенти (винахід):**

1. «Ультразвукове обладнання для ударної обробки внутрішніх поверхонь довгих отворів деталей» заявка №a202204641 , від 08.12.22.

## **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Напрацьований в світовій практиці досвід формоутворення деталей з титанових сплавів в умовах гарячого штампування, або на високошвидкісному високоенергетичному обладнанні забезпечує отримання конструктивно складних деталей без тонкостінних елементів. Виключення складають деталі з одиничним тонкостінним елементом (типу заготовок лопаток).

Прикладів формоутворення точних заготовок деталей з декількома тонкостінними елементами, наприклад, моноколеса, в науково-практичних виданнях не наводиться. Ці деталі (моноколеса з титанових сплавів) виготовляються механічною обробкою на станках з ЧПК.

В роботі на основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблена нова концепція формоутворення деталей з титанових сплавів в ізотермічних умовах з реалізацією в'язкопластичних деформацій, що забезпечує точність виготовлення та можливість отримання елементів деталей малої товщини, а також забезпечити високі показники механічних властивостей матеріалу деталей

Розроблений метод отримання в'язкопластичної моделі титанових сплавів, що покращує результати розрахунків при проектуванні технологічних процесів.

Створений проект лабораторних установок для відпрацювання технологічних процесів, на нові технологічні рішення подані заявки на патенти.

## **6. Економічна привабливість для просування на ринок (*вартість реалізації проекту, терміни впровадження та окупності, показники*).**

Впровадження вискоефективних технологій деформування деталей з титанових сплавів забезпечує оптимізацію експлуатаційних параметрів деталей та виробів (газотурбінних двигунів) за рахунок зниження маси та подовження ресурсу.

Вартість реалізації проекту: 3,0 млн. грн.

Терміни впровадження – до 2 років

Термін окупності – до 2 років

За підрахунками підприємств очікуваний економічний ефект на сьогодні може скласти більше 1,2 млн грн., що підтверджено актами впровадження АТ «Мотор Січ» та ЗМКБ «Прогрес».

## **7. Потенційні користувачі (*галузі, міністерства, відомства, підприємства, організації*).** промислові підприємства України (листи підтримки – АТ «Мотор Січ», ДП ЗМКБ «Прогрес»), в яких авіадвигунобудівні підприємства дають згоду бути базовими підприємствами на етапі розробки процесів відповідно до роботи. До зацікавлених підприємств можна віднести, ДП НВКГ «Зоря»-«Машпроект» (м. Миколаїв), Авіаремонтний завод (м. Луцьк), ДП «Антонов» (м. Київ) та інші.

## **8. Стан готовності розробки (*лабораторний або промисловий зразок, технічна документація, бізнес-план, готова до впровадження тощо із зазначенням технологічного рівня готовності (TRL)*).**

Дослідна установка для ізотермічного штампування. Технічна документація на дослідну установку для ізотермічного штампування та робочий механізм радіально-обтискої машин. Установка може бути виготовлення та впроваджено на АТ «Мотор Січ».

## **9. Існуючі результати впровадження.**

АТ «Мотор Січ», Лист від 14.12.2023 №УГТ-12/11-11023. Вид впровадження:

1. Розрахункові методи параметрів технологічних процесів лопаток компресора дисків моноколів ГТД Д-16 АІ 222-25;

2. Конструкція установки для ізотермічного пересування для титанових сплавів та порошкових матеріалів.

ДП ЗМКБ «Прогрес», Лист від 18.12.2023. Вид впровадження:

1. Рекомендації по реалізації технологічних процесів ізотермічного штампування деталей авіаційних двигунів з титанових сплавів ОТ4, ВТ6, ВТ8 та інше;

2. Рекомендації по стабільності температурних параметрів робочої зони установки;

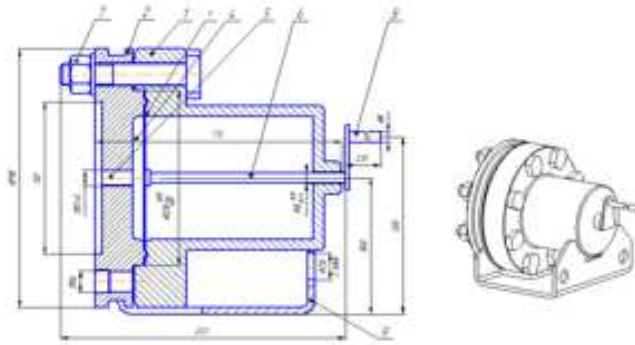
3. Рекомендації по керуванню структурою вихідних заготовок.

10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.

НН ММІ, каф. ТВЛА, 0672900045, vat.kpi@gmail.com

11. Фото (обов'язково) або кілька слайдів презентації з фото розробки в електронному вигляді (рекламного характеру). Якщо фото надається окремим файлом, бажано використовувати JPEG формат.

**Дослідна установка для проведення експериментів  
формування мембрани з титанових сплавів**



Установка для досліджень деформування титанових сплавів  
загальний вигляд установки та етапи проведення  
експерименту формування мембрани



Установка

Проведення експерименту

Титановий сплав ВТ.8

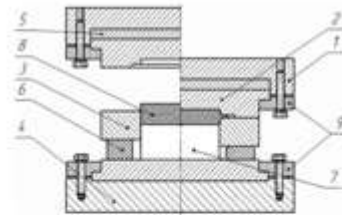
Порошковий титановий композит



Рисунок 5.1 - Загальний вигляд робочого місця



Рисунок 5.2 - Різ'євний малюнок штампа



Штамп для гарячого штампування

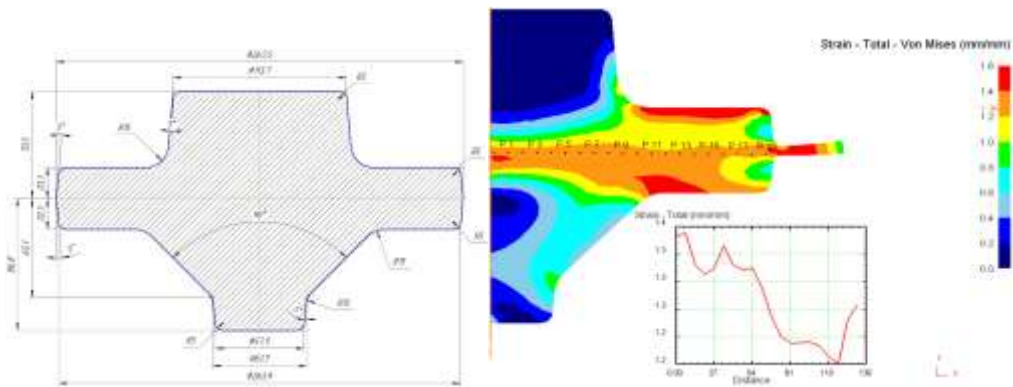


а - 850°C      б - 800°C      в - 750°C

Рисунок 5.6 - Заготовки котлодок в ідпроеванні при різних температурах

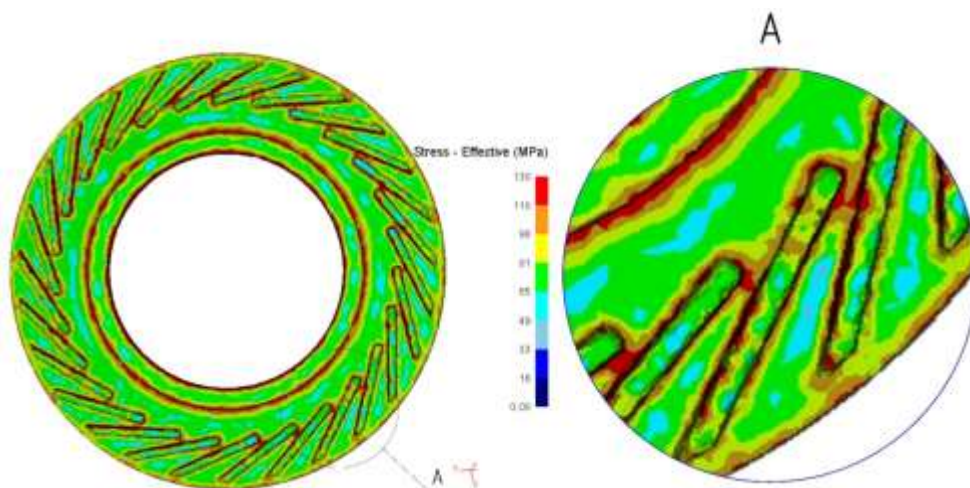


Вихідні заготовки та зразки після штампування



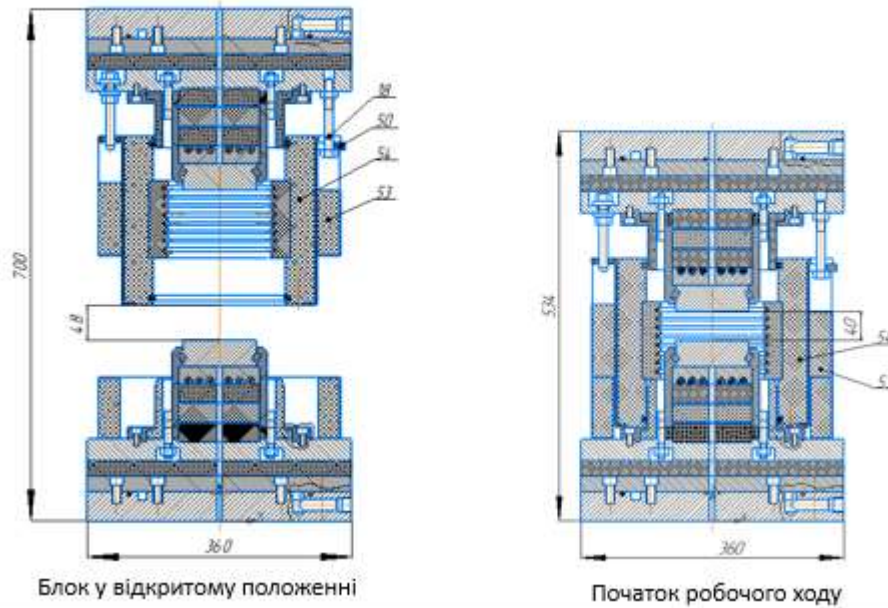
Креслення вихову диска турбіни компресора

Розподіл ефективних деформацій за схемою I (радіальний напрямок)



Розподіл інтенсивності напружень при ізотермічному штампуванні моноколеса із кільцевої заготовки

## Установка для ізотермічного штампування



12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання (*вагомі: монографії, підручники, посібники, наукові статті, дисертації, інші публікації*).

### Статті Scopus та WOS:

1. Effect of process parameters on AA6061/Q345 bimetal composite for hot stamping / Shao, Y., Peng, W., Cao, F., Oleksandr, M., **Titov, V.** // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, 2022, 236(6), pp. 2515–2525 <https://doi.org/10.1177/09544089221096204>
2. The effect of the pre-rolling high-rolling curve of the ring rolling on the forming quality of large ring / Zhu, S., Peng, W., Chen, Z., Oleksandr, M., **Titov, V.** // International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2022, 121(1-2), pp. 1081–1089 <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09334-6>
3. Computer Simulation of Safety Processes of Composite Structures Rheological Properties / Savchenko, I., Shapoval, O., Chupilko, T., ...**Titov, V.**, Shchepetov, V. // Proceedings of the 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System, MEES 2022, 2022 <https://doi.org/10.1109/mees58014.2022.10005747>
4. Cross wedge roll bonding process for laminated shafts forming: Interface microstructure, bonding mechanism, and parameter influence Lin, L., Peng, W., Zhu, S., ...Oleksandr, M., **Titov, V.** Journal of Materials Processing Technology, 2023, 317, 117971 <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2023.117971>
5. Interface phenomena and bonding mechanism in the new method of cross wedge rolling bimetallic shaft / Lin, L., Peng, W., **Titov, V.**, ...Wu, X., Li, H. // Journal of Materials Research and Technology, 2023, 24, pp. 1132–1149 <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.03.049>
6. Hrudkina N., Markov O., Shapoval A., **Titov V.**, Aliiev I., Abhari P., Mali 7. K. Mathematical and Computer Simulation for the Appearance of Dimple Defect by Cold Combined Extrusion. FME Transactions. 2022. 50. 1, pp. 90-98. <https://doi.org/10.5937/fme2201090H>
7. **Viacheslav Titov**, Olexandr Mozghovyi, Ruslan Borys, Mykola Bogomolov, Yedilkhan Amirgaliyev, Zhalau Aitkulov Theoretical and experimental substantiation of the extraction process with thinning bimetallic tubular elements of dissimilar metals and alloys // Informatyka, automatyka, pomiary w gospodarce i ochronie środowiska, Poland, 2023. Vol. 13, no. 2. ISSN 2083-0157 <https://doi.org/10.35784/iapgos.3497>

- 8 **Bagliuk, G.**, Maximova, G., Goncharuk, D. et al. The Structurization and Phase Formation of Fe–Ti–Ni–B<sub>4</sub>C Alloys in Thermal Synthesis. Powder Metall Met Ceram (2022). <https://doi.org/10.1007/s11106-022-00304-x>
- 9 **Bagliuk G.**, Marich M., Mamonova A. Structure and Properties of TiCrFeNiC High Entropy Alloy Produced by Powder Metallurgy. JOJ Material Sci. 2022; 6(5): 555697. <https://doi.org/10.19080/JOJMS.2022.06.555697>
- 10 Pressing of Semi-Finished Al–Mg–Sc Alloy Products in Isothermal Conditions A. V. Titov, K. B. Balushok, O. P. Ostash, **V. A. Titov**, V. O. Koreva, S. L. Polyvoda & R. V. Chepil Materials Science volume 58, pages636–642 (2023) [https://link.springer.com/article/10.1007/s11003-023-00710-5#auth-A\\_V\\_-Titov-Aff1](https://link.springer.com/article/10.1007/s11003-023-00710-5#auth-A_V_-Titov-Aff1)
- 11 **Shmeleva L. V.**, Suprun A. D. Effect of finite absorption index on surface plasmon resonance in the sensor layer of optical sensors // *Applied Nanoscience (Switzerland)*. – 2023. – Vol. 13, № 10. – P. 6881-6886. <https://doi.org/10.1007/s13204-023-02795-5> **Q2**
- 12 Suprun A. D., **Shmeleva L. V.** Express algorithm for calculating the sensory effect of a three-layer optical circuit in comparison with the transfer matrix method // *Molecular Crystals and Liquid Crystals Quartile*. –2023. . <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-022-02798-1> **Q4**
- 13 V. P. Torchynskiy, T. V. Nizalov, **L. V. Shmelyova**, A. D. Suprun. Physical and mathematical modeling of the distribution of load forces on the femoral component of an endoprosthesis of the hip joint under real conditions. Vol. 29 No. 3 (2023): Reports of Morphology (Scopus) <https://morphology-journal.com/index.php/journal/article/view/572>

#### **Матеріали доповідей МНТК (Scopus та WOS):**

- 1 **Titov V.A.** Influence of temperature fields on the process of plastic flow of eutectically strengthened fine-grained titanium alloys / V.A. Titov, E.V. Kondratuk, L.V. Shmeleva, A.V. Titov, A.D. Suprun // The International research and practice conference “Nanotechnology and nanomaterials” (NANO-2022). Abstract Book of participants of the International research and practice conference, 25–27 August 2022, Lviv. Edited by Dr. Olena Fesenko. – Kyiv: LLC APF POLYGRAPH SERVICE, 2022. – P. 118 [https://archer.chnu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/5196/38Lviv\\_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://archer.chnu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/5196/38Lviv_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- 2 Suprun A. D., **Shmeleva L. V.** Analysis of temperature changes of the metal nanolayer caused by laser influence // The International research and practice conference “Nanotechnology and Nanomaterials” (NANO-2023). Abstract Book., 16–19 August 2023. – Bukovel, Ukraine. – P. 465. <https://nano-conference.iop.kiev.ua/assets/files/nano2023.pdf>
3. Suprun A. D., **Shmeleva L. V.** Vinitial temperature influence on the indications of optical sensors based on surface plasmon resonance // The International research and practice conference “Nanotechnology and Nanomaterials” (NANO-2023). Abstract Book., 16–19 August 2023. – Bukovel, Ukraine. – P. 513. <https://nano-conference.iop.kiev.ua/assets/files/nano2023.pdf>

#### **Фахові статті**

- 1 **Корева В.О.** Холодне прокатування алюмінієвого сплаву системи Al-Mg // Обробка матеріалів тиском: – Краматорск: ДДМА, – 2022. – № 1 (51). – С. 147-153. (фахове видання, кат. Б) [http://www.dgma.donetsk.ua/science\\_public/omd/omd\\_1\(51\)\\_2022/article/20.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/omd/omd_1(51)_2022/article/20.pdf)
2. **Тітов В. А., Назарук Т.О.** Розробка методу розрахунку кривих деформування волокнистих композиційних матеріалів з металевою матрицею Обробка матеріалів тиском: Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА, 2022. – № 1 (51). – с. 55-61 [http://www.dgma.donetsk.ua/science\\_public/omd/omd\\_1\(51\)\\_2022/article/9.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/omd/omd_1(51)_2022/article/9.pdf)
3. **Холявік, О.,** Ноговіцин, О., Кравчук, О., Самойленко, О., Борис, Р. Реологічні характеристики сталі при безперервній валковій розливці-прокатуванні. Mechanics and Advanced Technologies, 5(3). 2022. С. 114-125 <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2021.5.3.250182>
- 4 Берник, І. Назаренко, і **О. Луговський**, «Дослідження та визначення акустичних параметрів руху кавітаційної бульбашки в рідинному середовищі за дискретною та

- континуальною моделями», Mech. Adv. Technol., т. 6, вип. 2, с. 195–202, 2022. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2022.6.2.269921> <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/55276>
5. **Тітов В.А. Максимів І.М.** Герасимов В.О. Аналіз процесу обтиску товстостінної циліндричної заготовки. Обробка матеріалів тиском. №1(52) (Лис 2023), DOI: [https://doi.org/10.37142/2076-2151/2023-1\(52\)42](https://doi.org/10.37142/2076-2151/2023-1(52)42)
  6. **Тітов, А.В.,** Балущок, К.Б., Остащ, О. П., **Тітов, В. А., Корєва, В.О.,** Поливода, С. Л., Чепіль, Р. В. (2022). Пресування напівфабрикатів зі сплавів системи Al-Mg-Sc в ізотермічних умовах. Фізико-хімічна механіка матеріалів, 58(5), 120–127. <http://pcmm.ipm.lviv.ua/pcmm-2022-5u.pdf>
  - 7 **Баглюк Г. А.,** Марич М. В., Кирилюк С. Ф., Мисливченко О. М., Голубенко О. А., Макаренко О. С. Порівняльна аналіза структури, фазового складу та властивостей високоентропійних керметів системи Ti–Cr–Fe–Ni–C, одержаних методами порошкової металургії та дугового перетоплення // Металофізика та новітні технології. - 2023. - Vol. 45, No. 4. - С. 537–553 <https://mfint.imp.kiev.ua/f/issues/Metallofiz.%20Noveishie%20Tekhnol.%202023,%20vol.%2045,%20No.%207.pdf>
  8. **Тітов В. А.** Моделювання та виготовлення трубчастих виробів з внутрішнім профілем гвинтової геометрії пластичним деформуванням // **Тітов В. А., Селіверстов І А.,** Гудзенко С. І., Русанов С. А., Дмитрієв Д. О. // ВІСНИК Херсонського національного технічного університету No 2(85), 2023 р. С.90-98. [https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk\\_kntu](https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk_kntu)
  9. Макаренко В. Експериментальні дослідження шляхів підвищення корозійної стійкості сталевих трубопроводів / Макаренко В, Мешков Ю, **Селіверстов І,** Лазорик В // Вісник Хмельницького національного університету, №3, 2023 (321). С 367-375 <http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?p=18052>
  10. С. О. Сокольський і **А. В. Мовчанюк,** «Електроакустичний тракт детектора для виявлення малих безпілотних літальних апаратів», Вісник ВПІ, вип. 2, с. 135–144, Трав. 2023. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-167-2-135-144>
  11. А. П. Середін і **А. В. Мовчанюк,** «ВПЛИВ КІЛЬКОСТІ ВИТКІВ ОДНОШАРОВОЇ ОБМОТКИ ІНДУКТИВНОГО ЕЛЕМЕНТА НА ОПІР ВТРАТ», Вісник ВПІ, вип. 4, с. 25–32, Серп. 2023. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-169-4-25-32>
  12. Н. В. Єзерський і **А. В. Мовчанюк,** «Імітатор спрацювань детекторів заряджених частинок та модуль цифрової обробки сигналу малогабаритного спектрометра елементарних частинок», Вісник ВПІ, вип. 4, с. 92–97, Серп. 2023. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-169-4-92-97>

### Монографії

1. Обобщенный вариационный метод решения статических и динамических аналитических краевых задач макро, микро, наносистем: монография Богуслаев В.А., Борисевич В.В., Борисевич В.К., Балущок К.Б., Долматов А.И., **Тітов В.А.** Сабакарь А.И. Третьяк В.В. Национальным аэрокосмическим университетом им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» 2022 -243с. ISBN 978-966-2906-98-1
2. Луговський О.Ф. Ультразвукові технологічні процеси. Розпилення та екстрагування. Монографія. / О.Ф. Луговський, А.В. Шульга, І.М. Берник, І.А. Гришко, А.В. Мовчанюк., А.І. Зілінський - К: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Видавець ФОП Кушнір Ю.В., 2022. – 285 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47459>
3. Луговський О.Ф. Ультразвукові кавітаційні технології очищення. Монографія. / О.Ф. Луговський, І.А. Гришко, А.І. Зілінський, А.В. Мовчанюк., І.М. Берник - К: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Видавець ФОП Кушнір Ю.В., 2022. – 213 с. [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/47461/1/Ultrazvukovi\\_kavitatsiini\\_tekhnolohii\\_znezara\\_zhennia\\_filtruvannia.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/47461/1/Ultrazvukovi_kavitatsiini_tekhnolohii_znezara_zhennia_filtruvannia.pdf)

4. Shmeleva L. V., Suprun A. D., Naumenko S. M. Theoretical analysis of the heating process of the material surface by a laser pulse with allow for the accompanying factors // Nanomaterials and Nanocomposites, Nanostructure Surfaces, and Their Applications, Springer Proceedings in Physics, Book series 2023.– Vol. 279. – P. 481–492. (Scopus) [https://doi.org/10.1007/978-3-031-18096-5\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-031-18096-5_27) (розділ закордонної монографії)

#### **Навчальні посібники**

Теорія пластичної деформації-1. фізико-механічні основи пластичної деформації: конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітня програма «Прикладна механіка пластичності матеріалів» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В.А. Тітов, Н.К. Злочевська. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,95 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/54301>

13. Надати ключові слова до розробки **в'язкопластичного формоутворення, титанові сплави та порошкові матеріали, деталі з тонкостінними елементами**