

І.О. Кузєв, ст. викл.

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
м.Кременчук, Україна*

e-mail: Igor-kuzev@ukr.net

Гібридні конструкції балок на транспорті із застосуванням металу

Виконати аналіз можливого застосування гібридних та комбінованих конструкцій для перекриттів будівель та споруд цивільного та промислового призначення, у тому числі на транспорті, розширити номенклатуру балкових конструкцій, розробити інноваційне конструктивне рішення гібридної балки, що має низьку матеріаломісткість при підвищеній надійності.

Аналіз переваг відомих гібридних конструкцій, які застосовуються для їх проектування матеріалів, розрахунок металокомпозитної балки із застосуванням існуючих інженерних методик. Наводяться нові розробки балок із застосуванням сталобетону та композитних матеріалів для проектування та посилюваних конструкцій.

споруда, гібридна конструкція, балка перекриття, чисельний розрахунок, надійність, довговічність

Постановка проблеми. Гібридні та комбіновані конструкції зі сталобетону, стале-залізобетону все частіше застосовуються в каркасах будівель та транспортних спорудах [1], у тому числі з використанням біонічного підходу [2]. Застосування подібних конструкцій дозволяє знизити витрату сталі, масу несучої конструкції об'єкта, трудомісткість її виготовлення при підвищенні надійності та довговічності. Дуже перспективним напрямом щодо вдосконалення несучих елементів будівель та споруд є гібридні конструкції із застосуванням композитів, зокрема залізобетонні та металеві конструкції із системами зовнішнього армування з композитних сіток або ламінатів [3–5]. Номенклатура гібридних і комбінованих конструкцій в Україні та світовій практиці будівництва розвинена поки що недостатньо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сьогодишній традиції досі переважає використання металу та бетону. Ці матеріали мають високі показники міцності, довговічності, добре вивчена їх робота в різних середовищах, в тому числі при високим сейсмічним і вітровим навантаженням. У зв'язку з цим, протягом тривалого періоду вони були прийнятним вибором для переважної більшості будівель і споруд [2].

У роботі використані фундаментальні праці: Dragobetskii V., Shapoval A., Markov , Vorobyov V. [1,2,3,4,7] та ін., а також власний особистий досвід роботи на транспорті [6, 12-15].

Постановка завдання. Мета – визначити аналіз можливого застосування конструкцій для будівель і споруд громадянського та промислового призначення, в тому числі на транспорті, розширити номенклатуру балочних конструкцій, розробити інноваційне конструктивне рішення балки, що володіє низькою матеріалоемністю при підвищеній надійності і довговічності конструкції. Методи роботи – експертна оцінка спроби зміни моделі ринку вантажних залізничних перевезень; аналіз причин розбалансування економічного механізму перевізної діяльності у сфері вантажних залізничних перевезень; спроба структурувати цілі результативного ринку вантажних залізничних перевезень.

Виклад основного матеріалу. Застосування гібридних сталобетонних конструкцій ефективно переважно у стиснених елементах: колонах, опорах, стиснутих частинах балок та ферм, підкранових балок, рамних та арочних конструкцій. При цьому бетон іноді можна розташовувати в розтягнутих частинах конструкцій, але з урахуванням обтиснення бетону за рахунок його попередньої напруги [8]. Розроблено цілу низку комбінованих балкових конструкцій будівель та споруд із застосуванням сталобетону, які розроблені за участю автора [8–10]. В окремих випадках під важке транспортне навантаження можливе застосування сталефібробетону, що дозволяє суттєво підвищити тріщиностійкість бетону за відсутності стрижневої попередньо напруженої арматури [11].

Застосування металокомпозитних конструкцій для балок може бути ефективно в агресивних умовах експлуатації та великій витраті сталі. Крім того, застосування композитів може бути раціонально як посилення експлуатованих конструкцій, які неприпустимо послаблювати при ремонті зварюванням або отворами під болти. Виконано пошук конструктивних рішень гібридних балок. [12]. За участю автора запропоновано інноваційну металокомпозитну балку, що захищається патентним рішенням [13].

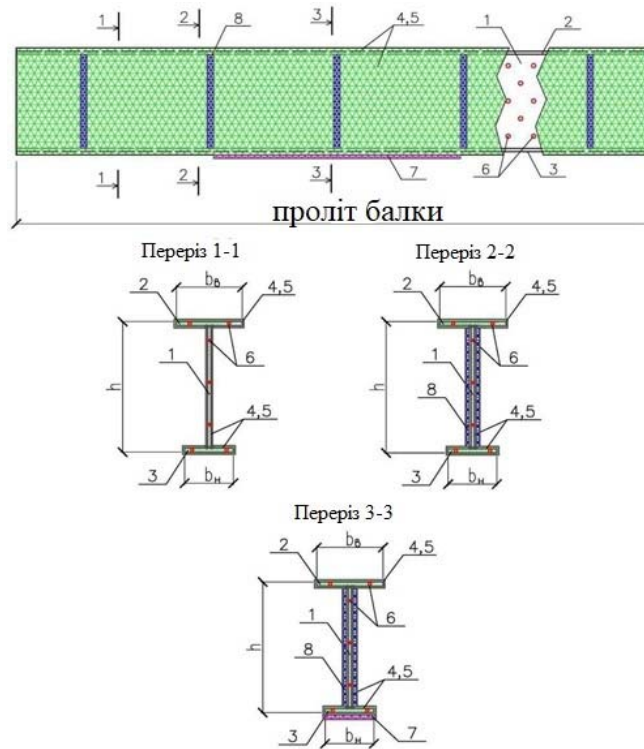
Пропонована балка складається зі стінки, верхнього та нижнього поясів, які складені у двотавровий поперечний переріз і виконані з листової тонкостінної сталі, балка може мати несиметричний поперечний переріз з більш розвинутим верхнім поясом для підвищення стійкості балки та компенсації низької міцності. Сти композиту на стиск, до поверхні стінки та поясів по всьому периметру елементів приклеєна композитна тканина за допомогою епоксидного клею, при цьому стінка та пояси мають перфорацію по всій площі елементів (рис. 1). Композитна тканина, приклеєна до поверхні поясів, може мати збільшену товщину у вигляді накладки в середній частині по довжині балки, де виникають максимальні нормальні напруження від прикладених навантажень. Композитна тканина, приклеєна до поверхні стінки, може мати збільшену товщину у вигляді поперечних ребер (наприклад, композитних куточків), розташованих з рівномірним кроком по довжині балки, що забезпечує місцеву стійкість тонкої стінки.

Як композитний матеріал пропонується використовувати полімерну основу, посилену вуглецевими волокнами (вуглепластик) або борними волокнами (боропластик). Борні волокна мають високу чутливість до концентраторів напруг, ніж пояснюються.

Волокна бору випускаються у вигляді моноволокон, комплексних ниток та стрічок. Наявність композитної тканини з епоксидним клеєм на поверхні стінки та поясів підвищує місцеву стійкість елементів, що несе здатність балки в цілому, знижує витрату сталі і, як наслідок, знижує матеріаломісткість балки.

Наявність композитної тканини з епоксидним клеєм на поверхні стінки та поясів також захищає елементи балки від корозійного зносу, зменшує експлуатаційні витрати на відновлення захисного покриття балки та підвищує її експлуатаційну надійність.

Несуча здатність металокомпозитної балки забезпечується підбором марки сталі, складу композиту, розмірів поперечного перерізу балки та її елементів. Розрахунки запропонованої металокомпозитної балки були виконані із застосуванням методики для подібних конструкцій з СТО та чисельним моделюванням у обчислювальному комплексі SCAD (рис. 2). Усі елементи балки моделювалися пластинчастими кінцевими елементами з розмірами осередків до 0,1–0,2 м.



- 1 - сталеві стінка, 2 - сталевий верхній пояс, 3 - сталевий нижній пояс,
 4 - композитна тканина, 5 - шар епоксидного клею, 6 - перфорація, 7 - накладка,
 8 - поперечне ребро

Рисунок 1 – Конструкція металокомпозитної балки

Джерело: розроблено автором

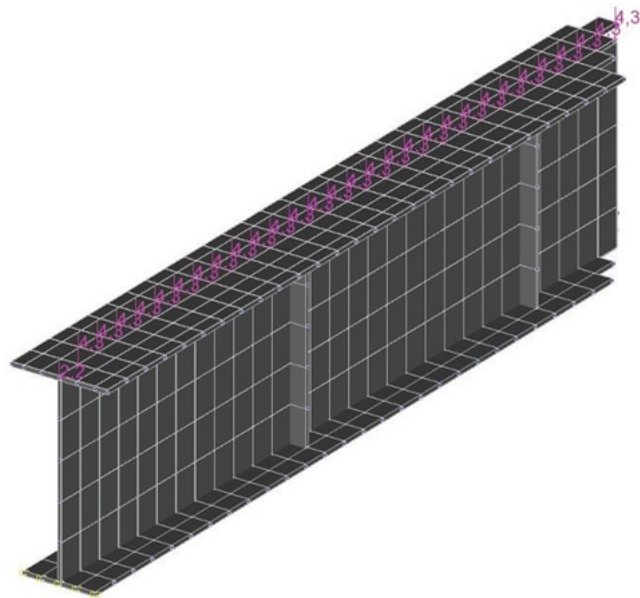


Рисунок 2 – Фрагмент розрахункової моделі балки у SCAD

Джерело: розроблено автором

Основні параметри метало-композитної балки, що розраховується: проліт – 11 м, висота перерізу – 675 мм, переріз сталеві стінки – 663 × 6 мм, переріз сталевих поясів – 260 × 11 мм, сталь марки С235, товщина композиту на основній площі – 1,5 мм, товщина композиту на поясах у найбільш навантажених зонах – 3 мм, переріз

композитних поперечних ребер – куточки 65×5 мм з кроком по довжині балки – 1,2 м, матеріал композиту – боро- пластик (щільність $\rho = 2000$ кг/м³, модуль пружності $E = 250$ ГПа, межа міцності при стисканні/розтягуванні/вигину $R = 60/1300/1750$ МПа [15]).

На рис. 3–5 наведено результати розрахунку металокомпозитної балки (деформації балки та поля основних напруг). За результатами розрахунків балки, посиленої композитом, вдалося зменшити товщини сталеві стінки та поясів при деякому збільшенні дотичних напруг у стінці, що не є критичним, враховуючи суттєвий запас напруг у стінці та забезпечену місцеву стійкість за рахунок ребер жорсткості.



Рисунок 3 – Деформована схема балки, мм

Джерело: розроблено автором

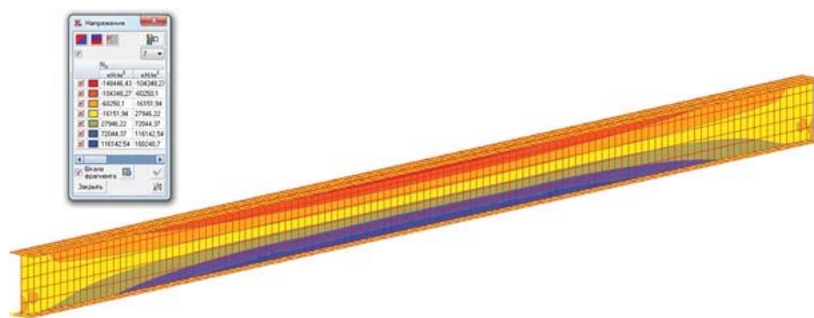


Рисунок 4 – Поля напруги в сталевій частині балки, КПа

Джерело: розроблено автором

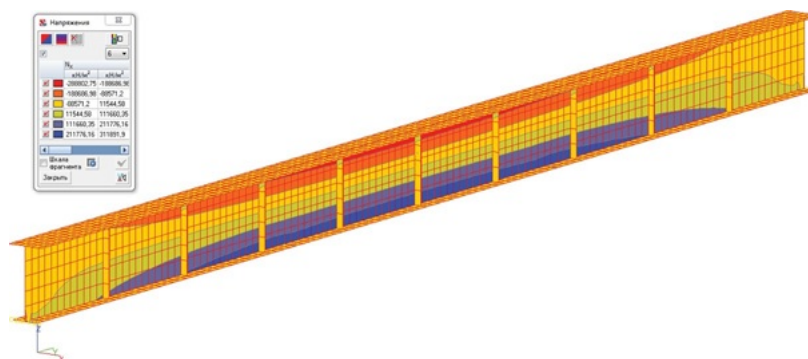


Рисунок 4 – Поля напруги в композитній частині балки

Джерело: розроблено автором

Встановлено, що металокомпозитна балка порівняно з металевою має нижчу вагу, різниця становить 31 % за економії сталі на 23 % та зниження експлуатаційних витрат.

Висновки:

1. Розроблено ряд несучих гібридних сталобетонних та металокомпозитних балкових конструкцій для перекриттів будівель та споруд, у тому числі на транспорті .

2. Запропоновано інноваційне конструктивне рішення металокомпозитної балки, запатентоване за участю автора. Виконано розрахунок балки за діючими методиками з використанням чисельних методів розрахунку.

3. Розглянутий варіант металокомпозитної балки дозволив зменшити товщину сталевих елементів балки, тим самим досягти зниження витрати сталі, як наслідок, її ваги. За попередньою економічною оцінкою вартість металокомпозитної балки буде дещо вищою за суттєвого збільшення її надійності та довговічності, а також зниження експлуатаційних витрат на відновлення захисного антикорозійного покриття.

4. Визначено ефективне конструктивне рішення балки, яке може бути раціонально до застосування в агресивних умовах експлуатації, а також при реконструкції та капітальному ремонті об'єкта за неможливості тимчасового ослаблення несучої конструкції.

Список літератури

1. Dragobetskii V., Shapoval A. Excavator bucket teeth strengthening using a plastic explosive deformation. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. P. 363-368
2. Markov O., Gerasimenko O., Aliieva L., Shapoval A.. Development of the metal rheology model of high-temperature deformation for modeling by finite element method. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019. P.52-60
3. Dragobetskii V., Zagirnyak M., Naumova O., Shlyk S., Shapoval A. Method of determination of technological durability of plastically deformed sheet parts of vehicles. *International Journal of Engineering and Technology*. 2018. P.92-99.
4. Vorobyov V., Pomazan M., Vorobyova L. Simulation of dynamic fracture of the borehole bottom taking into consideration stress concentrator. *Eastern European journal of advanced technologies*. 2017. P.53-62.
5. Драгобецький В.Г., Кузев І.О., Молоштан Д.В. Морфологічний аналіз технологій ремонту кузовних і облицювальних деталей наземного вантажного транспорту. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2022. Вип. 1 (132) . С. 157-164.
6. Kuziev I., Maloshtan D. Method for calculation and selection of optimal modes of the explosion cladding of flat compositions. *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2021. No 57/2021. P. 27-33.
7. Островерх Б.М. та ін. Чисельні дослідження напруженого стану та незворотних деформацій ґрунтових структур. *Будівельні конструкції. Механіка ґрунтів, геотехніка, фундаментобудування*. 2011. № 75, т. 2. С. 453-461.
8. Foti S. Geophysical Methods for Geotechnical Site Characterization. Surface Wave methods. Geo-Congress. Geo-Characterization and Modelling for Sustainability Short Course – 23rd of February 2014.
9. Demirdzic and S. Muzaferija. Numerical method for coupled fluid flow, heat transfer and stress analysis using unstructured moving meshes with cells of arbitrary topology. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 1995. 125 (1-4). P. 235-255.
10. Cardiff Ph. Introduction to Solid Mechanics with OpenFOAM: Basic Training 2016. 111 p. URL: <https://www.researchgate.net/publication/305618769>.
11. Borecka A., Herzig J., Durjasz-Rybacka M.. Ground penetrating radar investigations of landslides. A case study in a landslide in radziszow. *Studia Geotechnica et Mechanica*. 2015. Vol. 37, No. 3. DOI: 10.1515/sgem-2015-0028.
12. Драгобецький В. В., Щетинін В. Т., Кузев І. О., Молоштан Д. М. Евристичні прийоми пошуку технічних рішень відновлення деталей з наноструктурних матеріалів. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2020. Вип. 2(121). С. 116–121. DOI: 10.30929/1995-0519.2020.2.116-121.

13. Спосіб гнуття листових деталей : пат. 148165 Україна : МПК B21D 5/02 (2006.01) B21D 11/02 (2006.01). № у 2021 00439; заявл. 05.02.2021; опубл. 15.07.2021, Бюл. № 28.
14. Захисний шаруватий елемент : пат. 151090 Україна : МПК F41H5/04 (2006.01) F41H5/08 (2006.01). № у 2021 07716; заявл. 28.12.2021; опубл. 02.06.2022, Бюл. № 22.
15. Спосіб гнуття профільних заготовок : пат.151963 Україна : МПК B21D11/02 (2006.01). № у 2022 01537; заявл. 11.05.2022; опубл.06.10.2022, Бюл. № 40.

References

1. Dragobetskii, V. & Shapova, A. (2015). Excavator bucket teeth strengthening using a plastic explosive deformation. *Metallurgical and Mining Industry*. P. 363-368 [in English].
2. Markov, O., Gerasimenko, O., Aliieva, L. & Shapova, A. (2019). Development of the metal rheology model of high-temperature deformation for modeling by finite element method. *EUREKA: Physics and Engineering*. P.52-60 [in English].
3. Dragobetskii, V., Zagirnyak, M., Naumova, O., Shlyk, S. & Shapoval, A. (2018). Method of determination of technological durability of plastically deformed sheet parts of vehicles. *International Journal of Engineering and Technology*. P.92-99 [in English].
4. Vorobyov, V., Pomazan, M. & Vorobyova, L. (2017). Simulation of dynamic fracture of the borehole bottom taking into consideration stress concentrator. *Eastern European journal of advanced technologies*. P.53-62 [in English].
5. Dragobetsky, V.G., Kuzev, I.O. & Moloshtan, D.V. (2022). Morphological analysis of technologies for the repair of bodywork and facing parts of ground freight transport [Morphological analysis of technologies for the repair of bodywork and facing parts of ground freight transport]. *Bulletin of Mykhailo Ostrogradsky National University of Kremenchug – Bulletin of Mykhailo Ostrogradsky National University of Kremenchug, Issue 1(132)*, 157-164 [in Ukrainian].
6. Kuziev, I. & Maloshtan, D. (2021). Method for calculation and selection of optimal modes of the explosion cladding of flat compositions. *Norwegian Journal of development of the International Science No 57*, P.27-33 [in English].
7. Ostroverkh B.M. et al. (2011). Chyselni doslidzhennia napruzhenoho stanu ta nezvorotnykh deformatsii gruntovykh struktur [Numerical studies of stress and irreversible deformations of soil structures]. *Stroitel'nye konstrukcii, 75, part 2*, 453-461 [in Ukrainian].
8. Foti, S. (2014). Geophysical Methods for Geotechnical Site Characterization. Surface Wave methods. Geo-Congress. Geo-Characterization and Modelling for Sustainability Short Course – 23rd of February 2014 [in English].
9. Demirdzic and S. Muzaferija. (1995). Numerical method for coupled fluid flow, heat transfer and stress analysis using unstructured moving meshes with cells of arbitrary topology. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 125 (1-4)*, p. 235-255 [in English].
10. Cardiff, Ph. (2016). Introduction to Solid Mechanics with OpenFOAM: Basic Training. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/305618769> [in English].
11. Borecka, A., Herzig, J. & Durjasz-Rybacka, M. (2015). Ground penetrating radar investigations of landslides. *A case study in a landslide in radziszow. Studia Geotechnica et Mechanica, Vol. 37, No. 3*, DOI: 10.1515/sgem-2015-0028 [in English].
12. Dragobetskyi, V.V., Shchetynin, V.T., Kuzev, I.O. & Moloshtan, D.M. (2020). Evrystychni pryjomy poshuku tekhnichnykh rishen' vidnovlennia detalej z nanostukrurnykh materialiv [Heuristic techniques for finding technical solutions for the restoration of parts from nanostructured materials]. *Visnyk Kremenchuts'koho natsional'noho universytetu imeni Mykhajla Ostrohrads'koho – Bulletin of Mykhailo Ostrogradsky National University of Kremenchug. Vol. 2/ (121)*, 116–121. DOI: 10.30929/1995-0519.2020.2.116-121 [in Ukrainian].
13. Pat. 148165 Ukraine: IPC B21D 5/02 (2006.01) B21D 11/02 (2006.01). Sposib hnuttia lystovykh detalej [The method of bending sheet parts]. No. u 2021 00439; statement February 05, 2021; published July 15, 2021, Bul. No. 28 [in Ukrainian].
14. Pat. 151090 Ukraine: IPC F41H5/04 (2006.01) F41H5/08 (2006.01). Zakhysnyj sharuvatyj element [Protective layered element]. No. u 2021 07716; statement December 28, 2021; published June 02, 2022, Bul. No. 22. [in Ukrainian].
15. Pat. 151963 Ukraine: IPC B21D11/02 (2006.01). Sposib hnuttia profil'nykh zahotovok [Method of bending profile blanks]. No. u 2022 01537; statement 11.05.2022; publ. 06.10.2022, Bull. No. 40 [in Ukrainian].

Kuziev Ihor, Senior Lecturer

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

The Hybrid Structures of Beams on Transport Using Metal

To analyze the future use of hybrid and combined structures for floors of buildings and structures for civil and industrial purposes, including in transport, to expand the range of beam structures, to develop an innovative design solution for a hybrid beam with low material consumption with increased reliability and durability of the structure.

Analysis of the advantages of hybrid structures, materials used for their design, calculation of a metal-composite beam using existing engineering methods according to STO "Strengthening steel structures with composite materials. Design and production technology of works" and numerical methods of calculation with the involvement of calculation programs.

The advantages of hybrid and combined structures were revealed, a decrease in the material consumption of a metal-composite beam reinforced with boroplastic was revealed in comparison with a steel one. The proposed constructive solution of the beam can be used in floors and roofs of buildings and structures, transport facilities, especially in aggressive environments, as well as in the overhaul and reconstruction of industrial and civil facilities.

New developments of beams using steel concrete and composite materials for designed and reinforced structures are presented. An innovative design of a metal-composite beam was developed - a steel beam reinforced with an external reinforcement system made of a composite material, protected by a utility model patent, its static and structural calculation was performed using the SCAD computer complex, the stress-strain state was analyzed, an analysis was made of reducing the consumption of steel of a metal-composite beam and others. its advantages over traditional steel and reinforced concrete beam solutions.

construction, hybrid construction, floor beam, numerical calculation, reliability, durability

Одержано (Received) 08.05.2023

Прорецензовано (Reviewed) 17.05.2023

Прийнято до друку (Approved) 29.05.2023

УДК 656.1

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.243-249](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.243-249)

П.В. Попович, проф., д-р техн. наук

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

М.М. Маяк, проф., д-р техн. наук

Луцький національний технічний університет, Тернопіль, Україна

Р.І. Розум, доц., канд. техн. наук, **М.В. Буряк**, доц., канд. техн. наук, **К.М. Березька**, доц., канд. техн. наук, **Ю.Б. Коваль**, асп., **С.А. Мишко**, асп.

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

Дослідження стану транспортної інфраструктури міста Тернополя

Стаття присвячена проблемі дослідження стану транспортної інфраструктури міста Тернополя з метою подальшої розробки плану сталої міської мобільності для Тернопільської МТГ.

Аналіз виділення фінансування та освоєння коштів показав, що протягом тривалого часу відбувається недофінансування робіт пов'язаних з транспортною інфраструктурою м. Тернополя. Фактичні показники освоєння фінансових ресурсів виділених з бюджету громади на покращення стану ВДМ за 2020 рік не досягли планових показників на 36,4%. Згідно з даними з бюджету громади на реалізацію заходів Програми розвитку велосипедної інфраструктури міста на 2020 рік передбачалося виділення 2000,0 тис. грн, проте, фактично заходи не профінансовано.

транспортна інфраструктура, транспортна мережа, стала міська мобільність, вулично-дорожня мережа

© П.В. Попович, М.М. Маяк, Р.І. Розум, М.В. Буряк, К.М. Березька, Ю.Б. Коваль, С.А. Мишко, 2023