



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва
СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ



Назва курсу	ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕПЛОТЕХНІКИ Освітня програма: Галузеве машинобудування першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Викладач 	Микола Босий Старший викладач кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва
Контактний тел.	+38(099) 548-12-41
E-mail:	bosiymv@ukr.net
Обсяг та ознаки дисципліни	Вибіркова дисципліна, змістових модулів –2. Форма контролю: залік. Загальна кількість кредитів – 4, годин – 120, у т.ч. лекції – 28 годин, лабораторні заняття – 14 годин, самостійна робота – 78 годин. Формат: очний (offline / facetoface) / дистанційний (online). Мова викладання: українська. Рік викладання – 2025.
Консультації	Консультації проводяться відповідно до Графіку, розміщеному в інформаційному ресурсі moodle.kntu.kr.ua; у режимі відео конференцій Zoom, через електронну пошту, Viber (+380662646174) за домовленістю.
Пререквізити	Особливі вимоги відсутні / або після вивчення дисциплін: Вища математика; Фізика; Хімія.

1. Мета і завдання дисципліни

Метою навчальної дисципліни «Теоретичні основи теплотехніки» є забезпечення здобувачів вищої освіти комплексом знань, умінь та навичок, необхідних для застосування у професійній діяльності, зокрема, з основ термодинаміки і тепломасообміну процесів, що протікають в тепловому обладнанні, яке використовується в машинобудуванні. Вивчення способів отримання,

перетворення, передачі та використання теплоти, методів розрахунку та вибору теплотехнічного обладнання.

Завдання дисципліни:

- формування компетентностей, важливих для особистісного розвитку фахівців та їхньої конкурентно-спроможності на сучасному ринку праці;
- надання здобувачам теоретичних знань та практичних навичок з таких питань, як виконання теплових розрахунків теплотехнічного обладнання, термодинамічних систем, їх вузлів та елементів.

Формування компетентностей (ЗК – загальних, ФК – спеціальних (фахових, предметних)):

Загальні компетентності (ЗК):

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу.

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК4. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК5. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК6. Здатність проведення досліджень на певному рівні.

Формування фахових компетентностей (ФК):

ФК2. Здатність застосовувати фундаментальні наукові факти, концепції, теорії, принципи для розв'язання професійних задач і практичних проблем галузевого машинобудування.

ФК3. Здатність застосовувати відповідні кількісні математичні, наукові та технічні методи для вирішення інженерних завдань галузевого машинобудування.

ФК4. Здатність втілювати інженерні розробки у галузевому машинобудуванні з урахуванням технічних, організаційних, правових, економічних та екологічних аспектів за усім життєвим циклом машини: від проектування, конструювання, експлуатації, підтримання працездатності, діагностики та утилізації.

ФК7. Здатність приймати ефективні рішення щодо вибору матеріалів, обладнання, процесів та поєднувати теорію і практику для розв'язання інженерних завдань.

2. Результати навчання

В результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач повинен набути результати (програмні результати навчання (ПР)):

РН1. Знання і розуміння задач технологічних, фундаментальних та інженерних наук, що лежать в основі галузевого машинобудування.

РН2. Знання та розуміння механіки і машинобудування та перспективи їх розвитку.

У результаті вивчення дисципліни здобувач повинен:

знати:

- основні закони термодинаміки і теплообміну;
- методи термодинамічного аналізу машин та апаратів, в яких здійснюється перетворення теплоти в роботу, методи підвищення їх коефіцієнтів, корисної дії, закони переносу теплоти;
- використання теплоти в галузевому машинобудівному та виробництві;
- математичне описання процесів;
- методи теплового розрахунку теплотехнічного обладнання;

вміти:

- застосовувати теоретичні знання для вирішення конкретних задач при проектуванні та експлуатації теплотехнічного обладнання, яке використовується в машинобудуванні;
- грамотно і ефективно використовувати теплове обладнання;
- виявляти та використовувати вторинні енергоресурси та нетрадиційні джерела енергії;

набути соціальних навичок (soft-skills):

- здійснювати професійну комунікацію, ефективно пояснювати і презентувати матеріал, взаємодіяти в проектній діяльності;

3. Політика курсу та академічна доброчесність

Очікується, що здобувачі вищої освіти будуть дотримуватися принципів академічної доброчесності, усвідомлювати наслідки її порушення.

При організації освітнього процесу в Центральнотернопільському національному технічному університеті студенти, викладачі та адміністрація діють відповідно до: Положення про організацію освітнього процесу; Положення про організацію вивчення навчальних дисциплін вільного вибору; Положення про рубіжний контроль успішності і сесійну атестацію студентів ЦНТУ; Кодексу академічної доброчесності ЦНТУ.

4. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Основні поняття і положення. Перший та другий закони термодинаміки. Термодинамічні властивості реальних газів, вологого повітря, водяної пари. Термодинамічні основи аналізу потоку газів і парів.

Тема 1. Предмет, завдання та зміст курсу. Газові суміші. Мета курсу. Структура курсу. Термодинаміка, теплообмін, теплотехнічні установки. Основні поняття і визначення. Термодинамічна система. Термодинамічний процес. Параметри стану робочого тіла. Ідеальний газ. Рівняння стану ідеального газу. Газова стала. Поняття газових сумішей. Закон Дальтона. Способи задання складу суміші газів. Співвідношення між масовими і об'ємними частками. Газова стала, середня молекулярна маса суміші газів. Парціальний тиск.

Тема 2. Перший закон термодинаміки. Другий закон термодинаміки. Внутрішня енергія, робота термодинамічного процесу, теплота процесу. Теплоємність, види теплоємностей, розрахунок теплоємностей. Рівняння Майєра. Математичний вираз першого закону термодинаміки. Ентальпія. Ентропія. Аналіз термодинамічних процесів: ізохорного, ізобарного, ізотермічного, адіабатного, політропного. Основні положення другого закону термодинаміки. Колові термодинамічні процеси або цикли. Прямий і зворотній цикл Карно. Термічний к.к.д. і холодильний коефіцієнт циклів. Аналітичний вираз другого закону термодинаміки.

Тема 3. Водяна пара і її характеристики. Вологе повітря насичене і ненасичене. p - v , T - S діаграми водяної пари. Аналіз основних термодинамічних процесів з водяною парою. H - S діаграма водяної пари. Абсолютна і відносна вологість повітря. Вологовміст. H - d діаграма вологого повітря.

Тема 4. Рівняння першого закону термодинаміки для потоку речовини. Витікання газів і парів. Рівняння Маха. Дроселювання газів і парів.

Змістовий модуль 2. Цикли компресорів та теплових двигунів. Фізичні основи передачі теплоти. Теплопередача. Теплотехнічні установки. Котельні установки та теплоагрегати. Використання теплоти на виробництві в машинобудуванні. Теплові насоси.

Тема 5. Термодинамічні основи роботи компресорів та їх цикли. Схеми та термодинамічні цикли компресорів. Одноступінчастий поршневий компресор. Ізотермічне, адіабатне, політропне стискування, об'ємний коефіцієнт корисної дії. Багатоступінчастий компресор.

Тема 6. Цикли двигунів внутрішнього згорання. Класифікація ДВЗ. Схеми та термодинамічні цикли ДВЗ. Аналіз циклів ДВЗ. Термічний к.к.д.

Тема 7. Фізичні основи передачі теплоти. Теплопередача. Види розповсюдження теплоти: теплопровідність, конвекція, теплове випромінювання. Температурне поле, температурний градієнт, тепловий потік, густина теплового потоку. Теплопровідність. Закон Фур'є. Коефіцієнт теплопровідності. Умови однозначності. Теплопровідність плоских та циліндричних стінок при стаціонарних режимах. Конвективний теплообмін. Закон Ньютона-Ріхмана. Коефіцієнт тепловіддачі. Основи теорії подібності, теплова подібність, критерії подібності. Критеріальне рівняння конвективного теплообміну Теплопередача через плоску циліндричну стінку. Коефіцієнт теплопередачі. Складний теплообмін.

Тема 8. Котельні установки та теплоагрегати. Принцип дії котельного агрегату з природною циркуляцією води. Тепловий баланс та К.К.Д. котельного агрегату. Визначення витрат палива котельним агрегатом. Електрообігрівачі та їх застосування.

Тема 9. Використання теплоти на виробництві в машинобудуванні. Тепловий режим і розрахункові параметри повітря в приміщенні. Теплообмін в приміщенні. Розрахунок обміну повітря в приміщенні. Кондиціювання повітря в приміщенні.

Тема 10. Теплові насоси. Теплові насоси для промисловості. Альтернативні джерела енергії. Теплові насоси: переваги, недоліки та перспективи застосування. Використання сучасних енергозберігаючих технологій, що забезпечують економічну ефективність. Застосування теплових насосів для видобутку теплової енергії нестандартним способом. Використання відновлювальних екологічно чистих низькотемпературних джерел енергії (повітря, ґрунту, води) в різних видах теплових насосів для застосування їх на виробництві в галузевому машинобудуванні для теплопостачання. Ефективність використання теплових насосів.

5. Система оцінювання та вимоги

Види контролю: поточний, підсумковий.

Методи контролю: спостереження за навчальною діяльністю студентів, усне опитування, письмовий контроль, тестовий контроль.

Форма підсумкового контролю: залік.

Рейтинг здобувача із засвоєння дисципліни визначається за 100 бальною шкалою, у тому числі: перший модуль – 50 балів, другий модуль – 50 балів.

Семестровий залік полягає в оцінці рівня засвоєння здобувачем вищої освіти навчального матеріалу на лекційних, практичних, семінарських або лабораторних

заняттях і виконання індивідуальних завдань за стобальною та дворівневою («зараховано», «не зараховано») та шкалою ЄКТС результатів навчання.

6. Рекомендована література

1. Константинов С.М. Теоретичні основи теплотехніки. К.: Золоті ворота, 2012. 592 с.
2. Теплотехніка: підручник. Вид. 2-е , перероб. і доп. / Драганов Б.Х. та ін.; за ред. Драганова Б.Х. Київ: Фірма “ІНКОО”, 2005. 400 с.
3. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка. К.: Техніка, 2006. 320 с.
4. Чепурний М.М., Ткаченко С.Й. Основи технічної термодинаміки: підручник. Вінниця: Поділля, 2004. 352 с.
5. Обертюх Р.Р. Теоретичні основи теплотехніки: навч. посіб. Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2009. 165 с.
6. Пеньков В.І. Технічна термодинаміка: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2010. 209 с.
7. Теплотехніка: основи термодинаміки, теорія теплообміну, використання тепла в сільському господарстві / Миронов О.С., Бража М.Р., Бойко В.Б., Золотовська О.В. Дніпропетровськ: ЕНЕМ, 2011. 424 с.
8. Шестаков В.Л. Термодинаміка: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2009. 150 с.
9. Герасимов Г.Г. Теоретичні основи теплотехніки: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2011. 382 с.
10. Приходько М.А., Герасимов Г.Г. Термодинаміка та теплопередача: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2008. 250 с.
11. Константинов М.М. Теплообмін: підручник. Київ: ВПІ ВМК «Політехніка»: Інрес, 2005. 304 с.
12. Константинов С.М. Збірник задач з технічної термодинаміки та теплообміну. Луцьк: Освіта України, 2009. 544 с.
13. М.В. Босий, О.В. Кузик. Теплові насоси для опалення та гарячого водопостачання. Findings of modern engineering research and developments: Scientific monograph. Riga, Latvia: «Baltija Publishing», 2022. P. 24-40.
<http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/book/217>
<http://baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/view/217/5889/12305-1>
14. Босий М.В. Термодинамічна енергоефективність геотермального теплового насоса на ґрунтових водах. Moderní aspekty vědy: XX. Díl mezinárodní kolektivní monografie. Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.Česká republika: Publishing Group „Vědecká perspektiva“, 2022. P. 556-567.
<http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/monography-20.pdf>
[file:///C:/Users/user/Downloads/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE_XX%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE_XX%20(2).pdf)
15. Босий М.В. Теплові насоси – енергоефективне відновлювальне екологічне чисте джерело теплоти. Moderní aspekty vědy: XXI Díl mezinárodní kolektivní monografie Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.Česká republika: Publishing Group „Vědecká perspektiva“, 2022. P. 357-380.
<http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/monography-21.pdf>
16. Босий М.В. Ефективність циклу теплового насоса для тепlopостачання. Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2020. Вип. 3(34). С. 136-142.
<http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10447>

17. Босий М.В., Клименко В.В., Магопєць С.О., Гарасьова Н.Ю., Овчаренко А.О. Підвищення ефективності автомобільної газонаповнювальної компресорної станції шляхом застосування газогідратного акумулятора. *Refrigeration Engineering and Technology*. 2021. Вип. 57(1). С. 45-54. <https://doi.org/10.15673/ret.v57i1.1978>
18. Клименко В.В., Босий М.В., Аулін В.В., Філімоніхіна І.І., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Енергоефективність заправки автомобільного транспорту стиснутим природним газом при використанні газогідратного акумулятора. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2021. Вип. 4 (35). С. 198-207. <http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/35.html>
19. Босий М.В., Кропівний В.М., Кузик О.В., Кропівна А.В., Молокост Л.А. Термодинамічна енергоефективність парокомпресійного теплового насоса на ґрунтових водах. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36), ч. І. С. 47-54. http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/36_I.html
20. Босий М.В. Аналіз енерговитрат стискування природного газу в автомобільній газонаповнювальній компресорній станції з газогідратним акумулятором. *Науковий журнал Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2022. №1. С. 3-9. <https://www.snaubulletin.com.ua/index.php/mapp/issue/view/47>
21. Босий М.В., Кропівний В.М., Кузик О.В. Термодинамічне дослідження циклу теплового насоса «ґрунт-вода» для системи опалення приміщення. *Науковий журнал Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського*. 2022. №1(132). С. 165-172. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2022.1.22> <http://visnikkrnu.kdu.edu.ua/pravila.php>
22. Босий М.В. Енергетична ефективність повітряного теплового насоса на екологічно чистому робочому тілі пропані. *Науковий журнал «Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського». Серія: Технічні науки*. 2022. Том 33 (72), № 4. С. 144-148. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/22> <https://tech.vernadskyjournals.in.ua/33-72-4>
23. Босий М.В., Клименко В.В., Личук В.М. Спосіб забезпечення газотурбінної установки паливним газом на період пуску: пат. 104322 Україна: (51) МПК F02C 3/00, F25J 1/02. № u201506672; заявл. 06.12.2015, опубл. 25.01.2016 р., Бюл. №2. <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=search>
24. Босий М.В., Клименко В.В., Парафійник В.П., Прилипко С.О. Дотискувач паливного газу для забезпечення пуску газотурбінної установки: пат. 105840 Україна: (51) МПК F02C 7/00, F02C 9/00, F25J 1/00. №u201508638; заявл. 07.10.2015, опубл. 11.04.2016 р., Бюл. №7. <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=search>
25. Босий М.В., Клименко В.В. Спосіб заправки автомобільного транспорту природним газом: пат. 134025 Україна: (51) МПК (2006) F04B 1/00, F25J 1/00 №.u201812187, заявл. 10.12.2018 опубл. 25.04.2019 р., Бюл. №8. <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=search>
26. Клименко В.В., Босий М.В., Якименко М.С., Мартиненко В.В. Компресорна установка для автомобільних газозаправних станцій: пат. 134041 Україна: (51) МПК (2006) F04B 41/00, №. u201812267, заявл. 7.12.2018, опубл. 25.04.2019 р., Бюл. № 8.

<https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=258029>

27. Клименко В.В., Босий М.В., Телюта Р.В. Компресорна установка заправки стиснутим газом автомобільного транспорту: пат. 151033 Україна: (51) МПК (2006) F04B 41/00, F25J 1/00, №.u202107813, заявл. 30.12.2021 опубл. 25.05.2022 р., Бюл. № 21.

<https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=281633>

28. Босий М.В., Клименко В.В., Телюта Р.В. Спосіб заправки стиснутим природним газом автомобільного транспорту: пат. 151334 Україна: (51) МПК (2006) F04B 41/00, F25J 1/00, №.u202107814, заявл. 30.12.2021 опубл. 07.07.2022 р., Бюл. №27.

<https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=search>

29. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Теоретичні основи теплотехніки” для студ. ден. та заочн. форми навч. освітніх програм 131 - Прикладна механіка і 133 – Галузеве машинобудування / [уклад. М. В. Босий] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 77 с.

<http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10314>

30. Босий М., Клименко В. Застосування газогідратної технології для підвищення ефективності АГНКС. “Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві”: міжнар. наук.-практ. он-line конф., 11-12 листопада 2020 року. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С. 108-110. ISBN 978-617-7079-98-8. <http://kntu.kr.ua/doc/science/zahody/vikl/2020/3-tez-1.pdf>

31. Босий М.В., Лисенко А.Я., Мануйлович В.В., Панішко О.В. Ефективність циклу геотермального теплового насосу. *Topical issues of modern science, society and education: The 5th International scientific and practical conference*, (November 28-30, 2021). Kharkiv: SPC «Sci-conf.com.ua» 2021. с. 418-422.

<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/TOPICAL-ISSUES-OF-MODERN-SCIENCE-SOCIETY-AND-EDUCATION-28-30.11.21.pdf>

32. Босий М.В., Лисенко А.Я., Мануйлович В.В., Баркар М.М. Термодинамічна енергоефективність геотермального теплового насоса «вода-вода». *Modern science: innovations and prospects: The 3rd International scientific and practical conference*, (December 5-7, 2021). Stockholm: SSPG Publish, 2021. 1036 p. ISBN 978-91-87224-02-7

<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2021/12/MODERN-SCIENCE-INNOVATIONS-AND-PROSPECTS-5-7.12.21.pdf>

33. Босий М.В., Лисенко А. Я., Мануйлович А. В., Панішко О. В., Баркар М.М. Геотермальний тепловий насос «грунт-вода». *Modern research in world science: The 2nd International scientific and practical conference*, (May 15-17, 2022). Lviv: SPC – “Sci-conf.com.ua”, 2022. P.406-413. ISBN 978-966-8219-86-3

<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/05/MODERN-RESEARCH-IN-WORLD-SCIENCE-15-17.05.22.pdf>

34. Босий М.В., Кропівний В.М., Кузик О.В., Кропівна А.В., Молокост Л.А. Математична інтерпретація теплофізичних і гідродинамічних процесів нагрівання залізобуглецевих сплавів в печах. *Неметалеві вкrapлення і гази у ливарних сплавах: зб. тез XVI Міжнародної науково-технічної конференції, 07–08 жовтня 2021р. Запоріжжя : НУ«Запорізька політехніка», 2021. 93 с.*

<http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/8111/1/Tezu.pd>

35. Клименко В.В., Босий М.В., Якименко С.М. Удосконалена АГНКС з газогідратним акумулятором. *Сучасні проблеми холодильної техніки та технології* : XIII Всеукр. наук.-техн. конф. 23-25 вересня 2021 року. Одеса: ОНТУ, 2021. С. 39-41.
<https://www.onaft.edu.ua/download/konfi/2021/Programm-Modern-problems-of-refrigeration-equipment-and-technology-21-ua.pdf>
36. Клименко В.В., Босий М.В., Якименко М.С., Гуцул В.І. Компресорно-газогідратна технологія стискування природного газу в АГНКС. *Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК*: V Міжнар. наук.-практ. конф. 19 грудня 2019 р. Київ: Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2019. С. 178-180.
https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u94/zbirnik_preap_2019.pdf
37. Босий М.В., Клименко В.В. Енерговитрати в АГНКС з газогідратним акумулятором. *Газогідрати та інші альтернативні джерела газу*: III Міжнар. наук.-практ. конф. 12-14 грудня 2018 р. Івано-Франківськ, 2018. 140 с.
<https://www.nas.gov.ua/UA/Event/Pages/Default.aspx?EventID=0000618>
або <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/168215>
38. Клименко В.В., Якименко М.С., Босий М.В., Колтун П. Моделювання процесів тепло-та масообміну при утворенні газових гідратів в умовах снарядної течії *Газогідрати та інші альтернативні джерела газу*: III Міжнар. наук.-практ. конф. 12-14 грудня 2018 р. Івано-Франківськ, 2018. 140 с.
<https://www.nas.gov.ua/UA/Event/Pages/Default.aspx?EventID=0000618>
або <http://dspace.nbuiv.gov.ua/handle/123456789/168215>
39. Клименко В.В., Мартиненко В.В., Босий М.В., Сіора А.С. Ідентифікація термодинамічних параметрів газогідратної установки фракціонування біогазу з ректифікаційною колоною. *Автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості та сільському господарстві (АКІТ-2018)*: матеріали міжн. наук.-практ. Інтернет-конф. 15-16 листопада 2018 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. 180 с. ISBN 978-617-7079-68-1.
http://nauka.kntu.kr.ua/files/conference_15-16_materials.pdf
40. Босий М.В., Клименко В.В. Транспортування природного газу в газогідратному стані. *Розвиток транспорту*. 2022. Вип. 1(12). С. 129-142.
<https://journals.onmu.in.ua/index.php/journal/issue/view/12>
41. Aulin V., Bosiy M., Kropivnyi V., Kuzyk O., Kropivna A. Mathematical modeling of heat exchange processes when heating metal in a furnace. *Scientific Journal of TNTU*. 2021. Vol. 104., No 4. P. 123-130.
DOI: [10.33108/visnyk_tntu2021.04](https://visnyk.tntu.edu.ua/?art=649)
<https://visnyk.tntu.edu.ua/?art=649>

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва, Протокол № 1 від «26» серпня 2025 р.