

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ  
КАФЕДРА ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

ЗАТВЕРДЖУЮ



Декан факультету металургії

В.Р. Румянцев

(підпис)

(ініціали та прізвище)

2019 р.

**Математичне моделювання процесів обробки металів тиском**  
(назва навчальної дисципліни)

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

підготовки магістр

(назва освітнього ступеня)

спеціальності 136 «Металургія»

(шифр, назва спеціальності)

спеціалізації Обробка металів тиском

(назва)

освітньо-професійна програма Металургія

(назва)

Укладач: Кругляк Д. О., канд. техн. наук, доцент кафедри обробки металів тиском  
(ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада)

Обговорено та ухвалено  
на засіданні кафедри обробки металів  
тиском

Протокол № 1 від “27” серпня 2019 р.  
Завідувач кафедри обробки металів тиском



(підпис)

О. В. Явтушенко

(ініціали, прізвище)

Ухвалено науково-методичною радою  
факультету металургії

Протокол № 1 від “04” вересня 2019 р.  
Голова науково-методичної ради  
факультету металургії



(підпис)

Ю. В. Мосейко

(ініціали, прізвище)

2019 рік

## 1. Опис навчальної дисципліни

| Найменування показників                                                                               | Галузь знань,<br>напрямок підготовки,<br>рівень вищої освіти | Характеристика навчальної дисципліни                       |                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|
|                                                                                                       |                                                              | денна форма навчання                                       | заочна форма навчання |
| Кількість кредитів – 6                                                                                | Галузь знань<br><u>13 «Механічна інженерія»</u>              | За вибором                                                 |                       |
|                                                                                                       |                                                              | Циклу професійної підготовки (вибору закладу вищої освіти) |                       |
| Модулів – 2                                                                                           | Спеціальність<br><u>136 «Металургія»</u>                     | <b>Рік підготовки:</b>                                     |                       |
| Загальна кількість годин – 180                                                                        |                                                              | 2-й                                                        | 2-й                   |
|                                                                                                       |                                                              | <b>Лекції</b>                                              |                       |
|                                                                                                       |                                                              | 26 год.                                                    | 10 год.               |
|                                                                                                       |                                                              | <b>Практичні</b>                                           |                       |
|                                                                                                       |                                                              | 26 год.                                                    | 8 год.                |
|                                                                                                       |                                                              | <b>Лабораторні</b>                                         |                       |
|                                                                                                       |                                                              | -                                                          | -                     |
|                                                                                                       |                                                              | <b>Самостійна робота</b>                                   |                       |
|                                                                                                       |                                                              | 124 год.                                                   | 162 год.              |
|                                                                                                       |                                                              | <b>Вид підсумкового контролю:</b><br><i>екзамен</i>        |                       |
| Тижневих годин для денної форми навчання: 13,5<br>аудиторних – 4<br>самостійної роботи студента – 9,5 | Освітньо-професійна програма<br><u>Металургія</u>            |                                                            |                       |
|                                                                                                       | Рівень вищої освіти: <b>магістр</b>                          |                                                            |                       |

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета** викладання дисципліни «Математичне моделювання процесів обробки металів тиском» вивчення основних напрямків розробок нових і вдосконалення діючих технологій і конструкцій обладнання та технологічного інструменту ОМТ за рахунок комп'ютерного моделювання, а також навчання методології математичного моделювання, що включає як математичний опис, так і встановлення взаємозв'язків усередині об'єкта, що моделюється і основам чисельних методів розв'язку завдань аналізу, розрахунків і керування процесами, що протікають при виробництві та обробці металів і сплавів.

Дисципліна синтезує зв'язки між загальними теоретичними знаннями та навичками, придбаними студентом при вивченні дисциплін, і спеціальною підготовкою в області обробки металів тиском. Дисципліна є частиною плану підготовки магістрів.

Вивчення даної дисципліни спрямоване на формування загально-професійної інженерної культури, що дозволяє застосовувати отримані знання й уміння у всіх видах професійної діяльності, у тому числі виробничо-технологічній, науково-дослідній та проектній.

**Завданням** дисципліни є оволодіння студентами питань моделювання різних процесів ОМТ; вміння користуватися базовими знаннями вищої математики, механіки деформуючого тіла та ін. до складання своїх програм, а

так само забезпеченню правильного введення в стандартні програмні комплекси своїх досліджуваних даних.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

**знати:**

- основні особливості побудови математичних моделей при різних процесах ОМТ;
- методи експериментального планування; стандартні програми комп'ютерного моделювання.

**вміти:**

- користуватися стандартними програмами розрахунку напружено-деформованого стану як деформуючого виробу так і основних вузлів устаткування;
- обрати та обґрунтувати вид математичної моделі і визначити її адекватність;
- правильно оцінювати отримані дані і скорегувати при необхідності досліджуваний процес;
- визначати обсяг необхідних даних і умови проведення експерименту.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких **компетентностей**:

К 16. Здатність застосовувати системний підхід до вирішення проблем металургії;

К 17. Здатність вирішувати типові інженерні завдання відповідно до спеціалізації.

**Міждисциплінарні зв'язки.**

Навчальна дисципліна «Математичне моделювання процесів обробки металів тиском» продовжує професійну і практичну підготовку студента і базується на знаннях, отриманих при вивченні дисциплін «Теорія прокатки», «Методи дослідження процесів ОМТ», «Прокатка плоского прокату» та ін. Набуті знання студент використає при написанні дипломної роботи.

Вивчення дисципліни «Математичне моделювання процесів обробки металів тиском» розширює можливості студентів при виконанні кваліфікаційної роботи магістра.

### **3. Програма навчальної дисципліни**

#### ***Розділ 1. Чисельні методи розв'язання крайових задач ОМТ***

##### ***Тема 1. Краєві задачі теорії пластичності***

Взаємодія металу і інструменту. Варіаційні формування краєвих задач ОМТ. Поняття варіаційного принципу. Варіаційні рівняння.

*Тема 2. Варіаційні формування краєвих задач ОМТ*

Поняття варіаційного принципу. Варіаційні рівняння краєвих задач ОМТ.

***Розділ 2. Моделювання процесів кування та штампування***

*Тема 3. Напружений стан при обробці металів тиском*

Моделювання процесу осадки. Схема моделювання. Етапи моделювання. Моделювання процесу прошивки. Схема моделювання. Етапи моделювання.

*Тема 4 Моделювання об'ємної штамповки*

Схема моделювання. Етапи моделювання. Моделювання листової штамповки. Схема моделювання. Етапи моделювання

***Розділ 3. Моделювання процесів прокатки***

*Тема 5. Моделювання прокатки на гладких валках*

Схема моделювання прокатки на гладких валках. Етапи моделювання процесу прокатки.

*Тема 6. Моделювання прокатки у калібрах*

Схема моделювання прокатки у калібрах. Етапи моделювання прокатки у калібрах

***Розділ 4. Моделювання процесів пресування та волочіння***

*Тема 7. Моделювання процесу пресування*

Схема моделювання процесу пресування. Етапи моделювання процесу пресування.

*Тема 8. Моделювання процесу волочіння*

Схема моделювання процесу волочіння. Етапи моделювання процесу волочіння.

**4. Структура навчальної дисципліни**

| Назви тематичних<br>розділів і тем                        | Кількість годин |              |                  |              |              |              |                  |              |
|-----------------------------------------------------------|-----------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|
|                                                           | денна форма     |              |                  |              | заочна форма |              |                  |              |
|                                                           | усього          | у тому числі |                  |              | усього       | у тому числі |                  |              |
|                                                           |                 | лек          | практ<br>заняття | сам.<br>роб. |              | лек          | практ<br>заняття | сам.<br>роб. |
| Модуль 1                                                  |                 |              |                  |              |              |              |                  |              |
| Розділ 1 – Чисельні методи розв’язання крайових задач ОМТ |                 |              |                  |              |              |              |                  |              |
| Тема 1. Краєві задачі<br>теорії пластичності              | 19              | 2            | -                | 17           | 21           | 1            | -                | 20           |
| Тема 2. Варіаційні                                        | 20              | 3            | -                | 17           | 21           | 1            | -                | 20           |

|                                                                |            |           |           |            |            |           |          |            |
|----------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|----------|------------|
| формування краєвих задач ОМТ                                   |            |           |           |            |            |           |          |            |
| <b>Розділ 2 – Моделювання процесів кування та штампування</b>  |            |           |           |            |            |           |          |            |
| Тема 3. Напружений стан при обробці металів тиском.            | 26         | 4         | 6         | 16         | 24         | 2         | 2        | 20         |
| Тема 4. Моделювання об'ємної штамповки                         | 24         | 4         | 4         | 16         | 23         | 1         | 2        | 20         |
| <b>Разом модуль 1</b>                                          | <b>85</b>  | <b>13</b> | <b>10</b> | <b>62</b>  | <b>89</b>  | <b>5</b>  | <b>4</b> | <b>80</b>  |
| <b>Модуль 2</b>                                                |            |           |           |            |            |           |          |            |
| <b>Розділ 3 – Моделювання процесів прокатки</b>                |            |           |           |            |            |           |          |            |
| Тема 5. Моделювання прокатки на гладких валках                 | 23         | 3         | 4         | 16         | 24         | 1         | 2        | 21         |
| Тема 6. Моделювання прокатки у калібрах                        | 24         | 4         | 4         | 16         | 22         | 1         | -        | 21         |
| <b>Розділ 4 – Моделювання процесів пресування та волочіння</b> |            |           |           |            |            |           |          |            |
| Тема 7. Моделювання процесу пресування                         | 22         | 3         | 4         | 15         | 24         | 2         | 2        | 20         |
| Тема 8. Моделювання процесу волочіння                          | 22         | 3         | 4         | 15         | 21         | 1         | -        | 20         |
| <b>Разом модуль 2</b>                                          | <b>91</b>  | <b>13</b> | <b>16</b> | <b>62</b>  | <b>91</b>  | <b>5</b>  | <b>4</b> | <b>82</b>  |
| <b>Усього годин</b>                                            | <b>180</b> | <b>26</b> | <b>26</b> | <b>124</b> | <b>180</b> | <b>10</b> | <b>8</b> | <b>162</b> |

## 5. Теми лекційних занять

| № теми з/прогр. | Назва теми                                  | Кількість годин |           |
|-----------------|---------------------------------------------|-----------------|-----------|
|                 |                                             | д.ф.            | з.ф.      |
| 1               | Краєві задачі теорії пластичності           | 2               | 1         |
| 2               | Варіаційні формування краєвих задач ОМТ     | 3               | 1         |
| 3               | Напружений стан при обробці металів тиском. | 4               | 2         |
| 4               | Моделювання об'ємної штамповки              | 4               | 1         |
| 5               | Моделювання прокатки на гладких валках      | 3               | 1         |
| 6               | Моделювання прокатки у калібрах             | 4               | 1         |
| 7               | Моделювання процесу пресування              | 3               | 2         |
| 8               | Моделювання процесу волочіння               | 3               | 1         |
| Разом           |                                             | <b>26</b>       | <b>10</b> |

## 6. Теми практичних робіт

| № теми з/прогр. | Назва теми                                                                                       | Кількість годин |      |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------|
|                 |                                                                                                  | д.ф.            | з.ф. |
| 3               | Практичне заняття 1. Комп'ютерне моделювання осадки поковки плоскими бойками.                    | 6               | 2    |
| 4               | Практичне заняття 2. Моделювання процесів прямого і зворотного видавлювання деталей типу стакан. | 4               |      |

|       |                                                                                                                                                                          |    |   |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---|
| 5     | <i>Практичне заняття 3.</i> Оптимізація форми донної частини зливка при прокатці на блюмінгу.                                                                            | 2  | 2 |
| 5     | <i>Практичне заняття 4.</i> Моделювання процесу поперечно-гвинтової прокатки на основі Ейлерева опису руху суцільного середовища.                                        | 2  | 2 |
| 6     | <i>Практичне заняття 5.</i> Розробка елементів технологічних процесів прокатки простих профілів на основі комп'ютерного аналізу тривимірного плин металу.                | 2  | 2 |
| 6     | <i>Практичне заняття 6.</i> Теоретичний і експериментальний аналіз закономірностей формозміни матеріалів з неоднорідним розподілом властивостей при прокатці в калібрах. | 2  | - |
| 7     | <i>Практичне заняття 7.</i> Математичне моделювання впливу параметрів робочих поясів на плин металу при пресуванні                                                       | 2  | 2 |
| 7     | <i>Практичне заняття 8.</i> Особливості застосування методу кінцевих елементів для рішення тривимірних задач моделювання пресування складних профілів.                   | 2  | - |
| 8     | <i>Практичне заняття 9.</i> Розробка моделі теплових процесів, що відбуваються при пресуванні профілів                                                                   | 2  | - |
| 8     | <i>Практичне заняття 10.</i> Комп'ютерне моделювання безоправочного волочіння тонкостінних труб.                                                                         | 2  | - |
| Разом |                                                                                                                                                                          | 26 | 8 |

## 7. Самостійна робота

| № теми з/прогр. | Назва теми                                                                               | Кількість годин |      |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------|
|                 |                                                                                          | д.ф.            | з.ф. |
| 1               | Основні положення механіки суцільних середовищ. Вектори і тензори другого рангу.         | 17              | 20   |
| 2               | Деформований стан. Напружений стан.                                                      | 17              | 20   |
| 3               | Умови взаємодії заготовки і інструменту. Постанова краєвих задач.                        | 16              | 20   |
| 4               | Моделювання процесу закову горловини.                                                    | 16              | 20   |
| 5               | Комбінований підхід до моделювання процесів прокатки методом кінцевих елементів.         | 16              | 21   |
| 6               | Основні рівняння моделі теплових процесів при пресуванні.                                | 16              | 21   |
| 7               | Експериментальна перевірка розрахунку напруг процесу протяжки.                           | 15              | 20   |
| 8               | Аналіз існуючих підходів до моделювання тривимірного формозміни металу при прокатуванні. | 15              | 20   |
| Разом           |                                                                                          | 124             | 162  |

## 8. Види контролю і система накопичення балів

Поточний контроль здійснюється за тестовою методикою з отриманням бальних оцінок, які характеризують рівень засвоєння студентами теоретичного матеріалу, та бальною оцінкою якості виконання лабораторних робіт. Передбачено, що для модулів 1-2 значення максимальної рейтингової оцінки складає 60 балів. Підсумкова атестація – 40 балів. Навчальним планом

підготовки з дисципліни «Математичне моделювання процесів обробки металів тиском» передбачена така форма проведення підсумкового контролю як залік. Сумарний рейтинговий бал за період вивчення дисципліни «Математичне моделювання процесів обробки металів тиском» у 2-му (2-му для заоч. ф.) семестрі складає 100 балів.

### Розподіл балів, які отримують студенти

| Назва теми                                                                                                                                                                                          | Кількість балів |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <i>Практична робота 1.</i> Комп'ютерне моделювання осадки поковки плоскими бойками (індивідуальне опитування).                                                                                      | 5               |
| <i>Практична робота 2.</i> Моделювання процесів прямого і зворотного видавлювання деталей типу стакан (індивідуальне опитування).                                                                   | 5               |
| <i>Практична робота 3.</i> Оптимізація форми донної частини зливка при прокатці на блюмінгу (індивідуальне опитування).                                                                             | 5               |
| <i>Практична робота 4.</i> Моделювання процесу поперечно-гвинтової прокатки на основі Ейлерова опису руху суцільного середовища (індивідуальне опитування).                                         | 5               |
| <i>Практична робота 5.</i> Розробка елементів технологічних процесів прокатки простих профілів на основі комп'ютерного аналізу тривимірного плин у металу (індивідуальне опитування).               | 5               |
| Поточне тестування                                                                                                                                                                                  | 5               |
| <b>Загальна кількість балів за розділом 1</b>                                                                                                                                                       | <b>30</b>       |
| <i>Практична робота 6.</i> Теоретичний і експериментальний аналіз закономірно-стей формозміни матеріалів з неоднорідним розподілом властивостей при прокатці в калібрах (індивідуальне опитування). | 5               |
| <i>Практична робота 7.</i> Математичне моделювання впливу параметрів робочих поясів на плин металу при пресуванні (індивідуальне опитування).                                                       | 5               |
| <i>Практична робота 8.</i> Особливості застосування методу кінцевих елементів для рішення тривимірних задач моделювання пресування складних профілів (індивідуальне опитування).                    | 5               |
| <i>Практична робота 9.</i> Розробка моделі теплових процесів, що відбуваються при пресуванні профілів (індивідуальне опитування).                                                                   | 5               |
| <i>Практична робота 10.</i> Комп'ютерне моделювання безоправочного волочіння тонкостінних труб (індивідуальне опитування).                                                                          | 5               |
| Поточне тестування                                                                                                                                                                                  | 5               |
| <b>Загальна кількість балів за розділом 2</b>                                                                                                                                                       | <b>30</b>       |
| <b>Всього за поточний контроль</b>                                                                                                                                                                  | <b>60</b>       |
| <b>Підсумковий контроль (екзамен)</b>                                                                                                                                                               | <b>40</b>       |
| <b>Разом</b>                                                                                                                                                                                        | <b>100</b>      |

### 8.1 Критерії оцінювання студентів на практичних роботах

Критерії комплексного оцінювання доводяться до студентів на початку викладання навчальної дисципліни.

За темою дисципліни бали отримуються за виконання практичних робіт і за підсумками індивідуального опитування. За індивідуальне опитування бали нараховуються за такою схемою:

**5 балів** – відповідь відзначається повнотою без допомоги викладача. Студент володіє узагальненими знаннями з предмета, аргументовано використовує їх, вміє застосовувати вивчений матеріал для внесення власних аргументованих суджень у практичній діяльності. Студент має системні, дієві здібності у навчальній діяльності, користується широким арсеналом засобів доказу своєї думки, вирішує складні проблемні завдання, вміє ставити і розв'язувати проблеми.

**4 бали** – відповідь повна, без допомоги викладача, але з деякими огріхами. Студент вільно володіє вивченим матеріалом, зокрема, застосовує його на практиці, вміє аналізувати і систематизувати наукову й методичну інформацію. Використовує загальновідомі докази у власній аргументації, здатний до самостійного опрацювання навчального матеріалу, виконує дослідницькі завдання.

**3 бали** – відповідь неповна з допомогою викладача. Студент володіє вивченим матеріалом, зокрема, застосовує його на практиці, вміє аналізувати і систематизувати наукову й методичну інформацію. Використовує загальновідомі докази у власній аргументації, здатний до самостійного опрацювання навчального матеріалу, виконує дослідницькі завдання, але потребує консультації викладача.

**2 бали** – відповідь відзначається фрагментарністю виконання, за консультацією викладача або під його керівництвом. Студент володіє навчальним матеріалом, виявляє здатність елементарно викласти думку. Студент володіє матеріалом на рівні окремих фрагментів, з допомогою викладача виконує елементарні завдання, здатний усно відтворити окремі частини теми, але відсутні сформовані уміння і навички.

**1 бал** – теоретичний зміст курсу засвоєно частково; необхідні практичні уміння роботи сформовані частково.

**0 балів** – теоретичний зміст курсу не засвоєно; необхідні практичні уміння роботи не сформовані.

## ***8.2 Критерії оцінювання студентів на поточному тестуванні***

Поточний контроль знань студентів відбувається у вигляді тестування. Всього передбачено 2 тести. Максимальна оцінка, яку студент може отримати по результатах виконання кожного тестування складає 15 балів.

Кожний тест завдання складається з 10 тестових запитань та 1 задачі. Тестове питання містить 4 відповіді, одна з яких є правильною. За правильну відповідь на одне запитання студент отримує 1 бал. Таким чином, відповівши правильно на всі тестові запитання, студент може отримати 10 балів. Результат вирішення студентом задачі оцінюється так:

**5 бали** – студент правильно розв'язав задачу;

**3-4 бали** – студент розв'язав задачу з помилками, але зрозуміло, що він знає алгоритм вирішення задачі;

**1-2 бали** – студент правильно вписав формулу, за якою вирішується задача, та зробив спробу її вирішення, наприклад, виконав допоміжні розрахунки;

**0 балів** – студент не розв’язав задачу.

### 8.3 Критерії оцінювання підсумкового контролю

Максимальна оцінка, яку студент може отримати за підсумковий контроль, складає 40 балів. Підсумкова атестація відбувається у вигляді тестування за кожним розділом дисципліни. Всього передбачено 4 теста. Максимальна оцінка, яку студент може отримати по результатах виконання кожного тестування складає 10 балів.

Кожний тест завдання складається з 7 тестових запитань та 1 задачі. Тестове питання містить 4 відповіді, одна з яких є правильною. За правильну відповідь на одне запитання студент отримує 1 бал. Таким чином, відповівши правильно на всі тестові запитання, студент може отримати 7 балів. Результат вирішення студентом задачі оцінюється так:

**3 бали** – студент правильно розв’язав задачу;

**2 бали** – студент розв’язав задачу з помилками, але зрозуміло, що він знає алгоритм вирішення задачі;

**1 бал** – студент правильно вписав формулу, за якою вирішується задача, та зробив спробу її вирішення, наприклад, виконав допоміжні розрахунки;

**0 балів** – студент не розв’язав задачу.

### Шкала оцінювання: національна та ECTS

| За шкалою ECTS | За шкалою університету                                        | За національною шкалою |               |
|----------------|---------------------------------------------------------------|------------------------|---------------|
|                |                                                               | Екзамен                | Залік         |
| A              | 90 – 100<br>(відмінно)                                        | 5 (відмінно)           | Зараховано    |
| B              | 85 – 89<br>(дуже добре)                                       | 4 (добре)              |               |
| C              | 75 – 84<br>(добре)                                            |                        |               |
| D              | 70 – 74<br>(задовільно)                                       | 3 (задовільно)         |               |
| E              | 60 – 69<br>(достатньо)                                        |                        |               |
| FX             | 35 – 59<br>(незадовільно – з можливістю повторного складання) | 2 (незадовільно)       | Не зараховано |
| F              | 1 – 34<br>(незадовільно – з обов’язковим повторним курсом)    |                        |               |

## 9. Рекомендована література

### Основна:

1. Кругляк Д. О. Моделювання процесів обробки металів тиском : навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності ОМТ денної та заочної форм навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 124 с.
2. Середа, Б. П., Кругляк І. В., Коваль Є. І. Моделювання процесів обробки металів тиском : навч.-метод. посібник для студ. ЗДІА Запоріжжя : ЗДІА, 2007. 150 с.
3. Середа, Б. П., Кругляк І. В., Белоконь Ю. О. Моделювання процесів обробки металів тиском : метод. вказівки до виконання практичних занять та самостійної роботи. Запоріжжя : ЗДІА. 2006. 75с.
4. Середа, Б. П., Кругляк І. В., Белоконь Ю. О. Моделювання процесів обробки металів тиском: метод. вказівки до лабораторних робіт. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 80 с.
5. Зыков Ю. С. Моделирование и оптимальные технологические системы : метод. указания по выполнению контрольных работ. Запорожье : ЗГИА, 1998. 16 с.
6. Зыков Ю. С. Моделирование и оптимальные технологические системы : метод. указания по выполнению курсовой работы. Запорожье : ЗГИА, 1998. 14 с.
7. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением: монография : Данченко В. Н. и др. Днепропетровск: Системные технологии, 2005. 443 с. ISBN 966-8421-04-3.
8. Потемкин А. В. Трехмерное твердотельное моделирование: ученик для вузов Москва: КомпьютерПресс, 2002. 295 с. ISBN 5-89959-090-4.
9. Беленький, А. А. Математическое моделирование и оптимизация литья и прокатки цветных металлов: учебник для вузов. Москва : Металлургия, 1983. 160 с.
10. Гуляев, Ю. Г., Чукмасов С. А., Губинский А. В. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением: учебник для вузов. Киев : Наук. думка, 1986. 238 с.

### Допоміжна

1. Бузун, И. М., Городецкий А. С., Варвак П. М. Метод конечных элементов : учеб. пособие для вузов. Киев : Вища школа, 1981. 176 с.
2. Пригоровский, Н. И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений: справочник. Москва : Машиностроение, 1983. 248 с.

**Інформаційні ресурси:**

Бібліотека Придніпровського наукового Семінару «Обробка металів тиском» при Національній металургійній академії України – підручники, навчальні посібники, наукові статті. URL: <http://metal-forming.org/index.php/elibrary-omd>. (дата звернення: 27.08. 2019).

Погоджено

з навчальним відділом

*М. М. Мисикова О. В.*  
« 11 » листопада 2019 р