

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Институт технологий и инженерной механики  
Кафедра обработки металлов давлением и сварки



УТВЕРЖДАЮ  
Директор института технологий  
и инженерной механики  
\_\_\_\_\_ Могильная Е.П.  
«25» 02 2025 года

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по учебной дисциплине**

**«Математическое моделирование процессов  
горячей объемной штамповки»**

15.04.01 Машиностроение

«Технологии и машины обработки давлением»

Разработчик:

доцент А.С. Стоянов А.А.

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры обработки металлов  
давлением и сварки от «25» 02 2025 г., протокол № 9

Заведующий кафедрой А.С. Стоянов А.А.  
(подпись)

Луганск 2025

**Комплект оценочных материалов по дисциплине  
«Математическое моделирование процессов  
горячей объемной штамповки»**

**Задания закрытого типа**

**Задания закрытого типа на выбор правильного ответа**

*Выберите один правильный ответ*

1. Для какого метода моделирования процессов горячей объемной штамповки принято применять в качестве модели, материалы, аналогичные по природе используемым в производственном процессе?

- А) физического
- Б) аналогового
- В) математического
- Г) геометрического

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

2. Какой из процессов при моделировании горячей штамповки не относится к процессам с распределенными параметрами?

- А) деформация заготовки
- Б) транспортирование заготовки между операциями
- В) нагрев металла
- Г) охлаждение металла

Правильный ответ: Б

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

3. Какой вид подобия требует обязательного соблюдения условий подобия деформационно-силовой схемы, температурно-скоростного режима, механического режима и контактных условий?

- А) геометрическое
- Б) физическое
- В) механическое
- Г) визуальное

Правильный ответ: В

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

4. Какой из видов описания процессов горячей объемной штамповки является описанием закона функционирования системы с полностью известными параметрами?

- А) типа «черный ящик»
- Б) типа «белый (прозрачный) ящик»

В) не параметризованный закон функционирования

Г) параметризованный закон функционирования

Правильный ответ: Б

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

5. Для какого метода моделирования процессов горячей объемной штамповки не важна природа материала?

А) физического

Б) аналогового

В) математического

Г) геометрического

Правильный ответ: В

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

6. Какой вид подобия между применяемой моделью процесса горячей объемной штамповки и натурным объектом в физическом моделировании наиболее является важным

А) деформационно-силовое

Б) температурно-скоростное

В) механическое

Г) контактное

Правильный ответ: А

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

*Выберите несколько правильных ответов*

7. Какие способы классификации процессов горячей объемной штамповки характеризуют их отношение к окружающей среде?

А) искусственные (орудия, механизмы, машины, автоматы, роботы и т.д.)

Б) открытые (есть обмен ресурсами с окружающей средой)

В) естественные (живые, неживые, экологические, социальные и т.д.)

Г) закрытые (нет обмена ресурсами с окружающей средой)

Правильный ответ: Б, Г

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

### **Задания закрытого типа на установление соответствия**

*Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца*

1. Установите соответствие описаний методов моделирования операций горячей объемной штамповки и их названий

Описание метода	Название
1) Численным методом является	А) инженерный метод
2) Дает решение в виде компактной формулы	Б) метод верней оценки
3) Может реализовываться исключительно посредством геометрических построений	В) метод граничных элементов
4) Приближенный энергетический метод, основанный на экстремальных принципах теории пластичности	Г) метод деформированного многогранника

Правильный ответ: 1-В, 2-А, 3-Г, 4-Б  
Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

*2. Установите соответствие типов моделирования формоизменения в процессах горячей объемной штамповки и их характеристик*

Тип	Характеристика
1) Конечно-элементное моделирование формоизменения, при изменении напряженно-деформированного состояния	А) не меняет геометрических параметров поля
2) Гранично-элементное моделирование формоизменения, при изменении напряженно-деформированного состояния	Б) не зависит от условий дискретизации
3) Моделирование формоизменения методом деформированного многогранника, при изменении контактного трения	В) слабо зависит от условий дискретизации
4) Конечно-элементное моделирование формоизменения, при изменении контактного трения	Г) требует изменения уровня дискретизации

Правильный ответ: 1-Г, 2-В, 3-А, 4-Б  
Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

*3. Установите соответствие особенностей моделирования процессов горячей объемной штамповки их описаниям*

Особенность моделирования	Описание
1) Особенностью моделирования процессов полугорячей объёмной штамповки является	А) контроль фактора стабильности температуры на всех переходах
2) Особенностью моделирования процессов горячей объёмной штамповки является	Б) контроль контактного трения инструмента с заготовкой
3) Особенностью моделирования	В) учёт существенного

- процессов горячего  
выдвливания является
- 4) Особенностью моделирования процессов горячей вытяжки из листовой заготовки Г) деформационного упрочнения материала контроль фактора времени в условиях проявления высокой пластичности материала
- Правильный ответ: 1-В, 2-Г, 3-А, 4-Б
- Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

*4. Установите соответствие способов дискретизации при использовании различных численных методов моделирования объёмного пластического формоизменения в процессах горячей объемной штамповки и их описаний*

- | Способ дискретизации  | Описание  |
|---|---|
| 1) Дискретизация заготовки при моделировании методом граничных элементов, допускает | А) непрерывное разбиение всего объёма заготовки на объёмные элементы                      |
| 2) Дискретизация заготовки при моделировании методом конечных элементов, допускает  | Б) свободное разбиение поверхности заготовки с помощью сетки в заданной двумерной области |
| 3) Дискретизация заготовки при моделировании методом конечных разностей, допускает  | В) свободное разбиение поверхности заготовки на плоские элементы                          |
- Правильный ответ: 1-В, 2-А, 3-Б
- Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

### **Задания закрытого типа на установление правильной последовательности**

*Запишите правильную последовательность букв слева направо*

*1. Установите правильную последовательность этапов системного анализа при моделировании процессов горячей объемной штамповки*

- А) формулировка целей исследования  
Б) формулировка проблемы, постановка задачи  
В) испытание, верификация функционирования системы  
Г) выделение системы и подсистем, их связей  
Д) уточнение, корректировка результатов испытания системы
- Правильный ответ: Б, А, Г, В, Д
- Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

*2. Установите правильную последовательность этапов математического моделирования процессов горячей объемной штамповки*

- А) выбор метода решения

- Б) компьютерное исследование или вычислительный эксперимент
  - В) разработка и применение программного обеспечения
  - Г) построение математической модели
  - Д) обработка и анализ результатов вычислительного эксперимента
- Правильный ответ: Г, А, В, Б, Д  
Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

3. *Установите правильную последовательность этапов вычислительного эксперимента при моделировании процессов горячей объемной штамповки*

- А) создание метода расчета
- Б) проведение расчетов на компьютере
- В) построение математической модели
- Г) обработка результатов расчетов
- Д) уточнение математической модели (при необходимости)
- Е) разработка программы

Правильный ответ: В, А, Е, Б, Г, Д  
Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

4. *Установите правильную последовательность этапов численной реализации метода конечных элементов при моделировании процессов горячей объемной штамповки*

- А) определение аппроксимирующей функции для каждого, элемента (определение функций элемента)
- Б) объединение конечных элементов в ансамбль
- Г) выделение конечных элементов (разбиение заданной области на конечные элементы)
- Д) определение вектора узловых значений функции

Правильный ответ: Г, А, Б, Д  
Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

## **Задания открытого типа**

### **Задания открытого типа на дополнение**

*Напишите пропущенное слово (слова)*

1. Исследование, выполняемое на моделях иной физической природы в сравнении с натурным объектом, относится к моделированию этим методом – \_\_\_\_\_.

Правильный ответ: аналоговым  
Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

2. Основной целью реализации физического моделирования процессов горячей объемной штамповки является достижения соответствия ими условий \_\_\_\_\_.

Правильный ответ: рациональности, оптимальности.

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

3. Физическое моделирование процессов горячей объемной штамповки также сводится к изучению влияния пластической деформации на структуру и \_\_\_\_\_.

Правильный ответ: свойства металла

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

4. Физическое моделирование технологических процессов кузнечно-штамповочного производства чаще всего сводится к определению технологических \_\_\_\_\_.

Правильный ответ: усилий

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

5. Принципиальное различие процессов прессования (выдавливания) и волочения определяется в очаге деформации схемой \_\_\_\_\_.

Правильный ответ: напряженного состояния

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

### **Задания открытого типа с кратким свободным ответом**

*Напишите пропущенное словосочетание*

1. В этом численном методе дискретизация (аппроксимация) формы 3D- объекта, подвергаемого моделированию формоизменения, производится 3D-элементами, а метод называется \_\_\_\_\_.

Правильный ответ: методом конечных элементов

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

2. При решении обратных задач формоизменения именно этот алгоритм считается универсальным для любых методов моделирования, но при этом организационно считается наиболее громоздким и называется алгоритмом обращения \_\_\_\_\_.

Правильный ответ: движения деформирования.

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

3. Преимущественно этот метод в моделировании процессов горячей объемной штамповки применяется для расчёта задач распределения температуры по объёму расчётных объектов и называется \_\_\_\_\_.

Правильный ответ: конечно-разностным, методом конечных разностей

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

4. В этом численном методе дискретизация (аппроксимация) формы 3D- объекта, подвергаемого моделированию формоизменения, производится 2D-элементами, а метод называется \_\_\_\_\_.

Правильный ответ: методом граничных элементов.

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

### **Задания открытого типа с развернутым ответом**

1. *Прочитайте текст задания. Продумайте логику и полноту ответа. Запишите ответ, используя четкие компактные формулировки.*

Перечислите требования, предъявляемые к математическим моделям при моделировании процессов горячей объемной штамповки, дайте им оценку.

Время выполнения – 10 мин.

Ожидаемый результат: При моделировании процессов горячей объемной штамповки к математическим моделям предъявляются различные, требования, основными из которых являются адекватность, универсальность и экономичность.

**Адекватность.** Модель считается адекватной, если отражает свойства объекта моделирования с приемлемой точностью. Точность модели должна быть достаточной для решения поставленных исследователем задач. Точность определяется как степень совпадения выходных параметров объекта и модели.

**Универсальность.** Универсальность модели определяется числом и составом внутренних факторов и выходных параметров, отражающих учитываемые в модели свойства. Увеличение числа учитываемых внутренних факторов расширяет область применимости модели, но существенно усложняет ее. Выбор совокупности выходных параметров модели неоднозначен, однако для большинства объектов моделирования число и перечень учитываемых свойств и выходных параметров сравнительно невелики и достаточно стабильны.

**Экономичность.** Экономичность модели характеризуется затратами вычислительных ресурсов для ее реализации, а именно затратами машинного времени и вычислительных ресурсов. Требования широких областей адекватности, высокой степени универсальности, с одной стороны, и высокой экономичности, с другой, являются противоречивыми. Наилучшее компромиссное удовлетворение этих требований оказывается неодинаковым в различных областях применения. Это обстоятельство обуславливает использование на практике различных моделей одного и того же объекта.

**Критерий оценивания:** наличие в ответе перечисления требований, предъявляемых к математическим моделям при моделировании процессов горячей объемной штамповки, их краткая оценка.

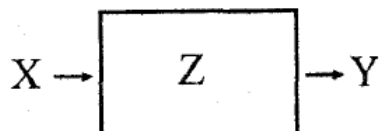
Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

2. Прочитайте текст задания. Продумайте логику и полноту ответа. Запишите ответ, используя компактные формулировки.

Охарактеризуйте обобщенную математическую модель процессов горячей объемной штамповки.

Время выполнения – 10 мин.

Ожидаемый результат: Обобщенная модель процессов горячей объемной штамповки может быть представлена в виде некоторого абстрактного блока, реагирующего на изменение вектора входных параметров  $\{X\} = \{X_1, \dots, X_n\}$  соответствующим изменением выходных параметров  $\{Y\} = \{Y_1, \dots, Y_n\}$ :



Входные параметры  $\{X_1, \dots, X_n\}$  принято делить на наблюдаемые (доступные измерению) и ненаблюдаемые, а наблюдаемые на управляемые и неуправляемые. Такое деление параметров в значительной степени условно и зависит от технического уровня контрольно-измерительной аппаратуры. Выбор управляемых параметров определяется в основном видом решаемых при моделировании задач. Применительно к процессам обработки металлов давлением можно выделить следующие входные параметры:

- параметры материала заготовки: химический состав, структура, физико-механические свойства;
- геометрические параметры заготовки: форма, размеры;
- метрологические параметры заготовки: отклонение формы, точность размеров, шероховатость поверхности;
- геометрия и размеры инструмента;
- температурно-скоростной режим деформирования;
- контактные условия.

Выходные параметры модели процессов горячей объемной штамповки представляют собой обычно геометрические, размерные, физико-механические характеристики и структуру металла изделий, а также комплексные показатели процесса (производительность, стоимость продукции и т.д.).

Критерий оценивания: логичность представленного описания обобщенной модели процессов горячей объемной штамповки, наличие в ответе перечисления входных параметров.

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

3. Прочитайте текст задания. Продумайте логику и полноту ответа. Запишите ответ, используя четкие компактные формулировки.

Охарактеризуйте общие положения метода граничных элементов при моделировании процессов горячей объемной штамповки.

Время выполнения – 10 мин.

Ожидаемый результат: Метод граничных элементов при моделировании процессов горячей объемной штамповки предполагает постановку краевой задачи в виде интегральных граничных уравнений. Поэтому первый шаг на пути к решению задач обработки металлов давлением состоит, в переходе от дифференциальных уравнений в частных производных к эквивалентным интегральным уравнениям. Во многих случаях, когда такой переход является успешным, решение исходной задачи может быть получено с минимальными вычислительными затратами и высокой степенью точности. Кроме того, размерность исходной задачи понижается на единицу, двумерные задачи преобразуются в одномерные.

Все разновидности метода граничных элементов используют принцип суперпозиции, поэтому область их применения ограничивается классом полностью линейных или линейных на рассматриваемом этапе задач. Это снижает эффективность применения метода при решении задач обработки металлов давлением, являющихся нелинейными. В то же время существует класс технических задач, встречающихся в процессе моделирования технологических процессов обработки давлением, для которых применение метода граничных элементов эффективно. Это задачи линейной упругости, например, определение напряженно-деформированного состояния инструмента и задачи стационарной теплопроводности.

Различают прямые и непрямые методы граничных элементов. В прямых искомыми переменными краевой задачи являются величины, имеющие реальный физический смысл, например, в задачах теории упругости – усилия и перемещения. В непрямых – решение искомой задачи выражается через функции плотности, которые сами по себе не имеют реального физического смысла. После того как функции плотности найдены, значения реальных физических параметров задачи могут быть получены из них путем простого интегрирования.

При этом результатом перехода от дифференциальных уравнений в частных производных к интегральным уравнениям является система уравнений, включающая значения переменных только на границе заданной области. Поэтому в отличие от методов конечных элементов и конечных разностей, последующая дискретизация задачи осуществляется только на границе исследуемой области. Последнее обуславливает, во-первых, более высокую по сравнению с другими методами точность решения, во-вторых, существенно меньший объем входных данных при реализации методов на ЭВМ.

Критерий оценивания: наличие в ответе характеристики общих положений метода граничных элементов при моделировании процессов горячей объемной штамповки, логичность представленного описания общих положений метода граничных элементов.

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

*4. Прочитайте текст задания. Продумайте логику и полноту ответа. Запишите ответ, используя четкие компактные формулировки.*

Охарактеризуйте виды дискретизации расчетной области при решении задач упругопластичности и теплопроводности в моделях процессов горячей объемной штамповки.

Время выполнения – 10 мин.

Ожидаемый результат: Реализация численного решения задач упругопластичности и теплопроводности в моделях процессов горячей объемной штамповки предполагает дискретизацию расчетной области.

Дискретизация – это замена непрерывной расчетной области дискретным аналогом. Различают три вида дискретизации: сеточная, конечно-элементная, гранично-элементная.

При сеточной дискретизации расчетная область заменяется сеткой, задаваемой конечным множеством узлов (рис. 1). Достоинством сеточной дискретизации является простота ее задания. Недостатком сеточной дискретизации является сложность точного описания областей со сложной криволинейной границей.

При конечно-элементной дискретизации расчетная область заменяется множеством непересекающихся подобластей относительно простой формы, называемых конечными элементами (рис. 2). Конечно-элементная дискретизация позволяет достаточно точно описывать расчетные области сложной формы. Объем информации, требуемой для задания конечно-элементной модели, больше, чем для сеточной.

Гранично-элементная дискретизация имеет некоторую аналогию с конечно-элементной, однако все преобразования в этом случае производятся не с самой расчетной областью, а с ее границей (рис.3). Элементы, на которые разбиваются граница, получили название граничные. Размерность граничных элементов всегда на единицу меньше размерности расчетной области. Так, для дискретизации границы трехмерной расчетной области используются двумерные элементы, а двумерной области – одномерные..

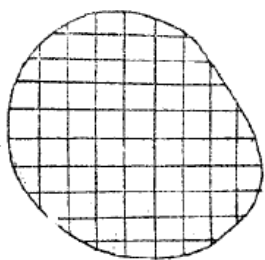


Рис. 1

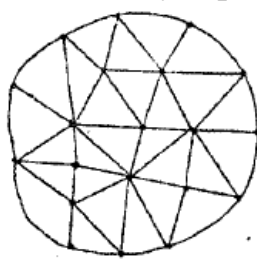


Рис. 2

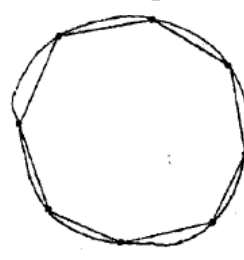


Рис. 3

Критерий оценивания: наличие в ответе перечисления видов дискретизации расчетной области при решении задач упругопластичности и теплопроводности в моделях процессов горячей объемной штамповки, их описания и схематического изображения.

Компетенции (индикаторы): ПК-6 (ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3)

## Экспертное заключение

Представленный фонд оценочных средств (далее – ФОС) по дисциплине «Математическое моделирование процессов горячей объемной штамповки» соответствует требованиям ФГОС ВО.

Предлагаемые формы и средства текущего и промежуточного контроля адекватны целям и задачам реализации основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 15.04.01 «Машиностроение».

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины представлены в полном объеме.

Виды оценочных средств, включенные в представленный фонд, отвечают основным принципам формирования ФОС.

Разработанный и представленный для экспертизы фонд оценочных средств рекомендуется к использованию в процессе подготовки обучающихся, по указанному направлению.

Председатель учебно-методической  
комиссии института технологий  
и инженерной механики



С.Н. Ясуник

### Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)