

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»**  
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

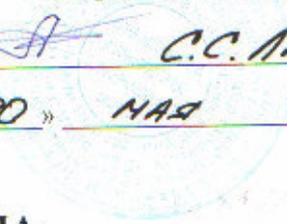
СОГЛАСОВАНО  
Директор института магистратуры

  
И.В. Ярмоленко  
« 20 » МАЯ 2021 г.



УТВЕРЖДАЮ  
Директор института

  
С.С. Лытчиков  
« 20 » МАЯ 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины (модуля)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ**

**Направление подготовки:**

15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств

**Направленность образовательной программы:**

Технология машиностроения

Квалификация:

Магистр

Форма обучения

Очно-заочная

Институт: Технологического оборудования и машиностроения

Кафедра: Технологии машиностроения

Белгород 2021

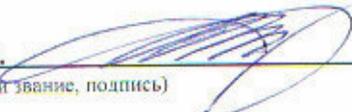
Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования Приказ №1046 от 17 августа 2020 г.
- учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В.Г. Шухова в 2021 году.

Составитель (составители): к.т.н., доц.  (С.Н. Санин)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

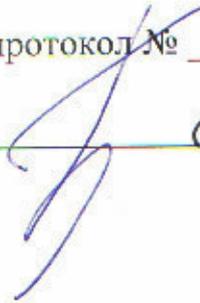
Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

« 14 » мая 2021 г., протокол № 11/1

Заведующий кафедрой: д.т.н., проф.  (Т.А. Дуюн)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института

« 20 » МАЯ 2021 г., протокол № 6/1

Председатель  (В.Б. Терасименко)  
(ученая степень и звание, подпись) (инициалы, фамилия)

## 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
Профессиональные компетенции	ПК-2 Способен разрабатывать технологические процессы изготовления деталей машиностроения средней сложности.	ПК-2.2 Разрабатывает технологические процессы и операции изготовления деталей машиностроения средней сложности	<b>Знать:</b> Основы разработки моделей оптимизации технологических процессов, операций и параметров. <b>Уметь:</b> Разрабатывать модели технологических процессов, операций и параметров с использованием компьютерных средств.  <b>Владеть:</b> Навыками исследования разработанных моделей и принятия решений по результатам их анализа для разработки оптимальных технологических процессов

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

### 1. Компетенция ПК-2

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами:

Стадия	Наименования дисциплины
1	Разработка технологических процессов
2	Инструментальные системы машиностроительного производства
3	Роботизация машиностроительного производства
4	Автоматизированные технологические системы машиностроительных производств
5	Разработка средств и систем технологического обеспечения машиностроительного производства
6	Моделирование и оптимизация технологических процессов
7	Организационно-экономическое обоснование проектов
8	Инновационный и проектный менеджмент
9	Производственно-технологическая (проектно-технологическая) практика

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зач. Единиц, 144 часа.

Форма промежуточной аттестации зачёт

(экзамен, дифференцированный зачет, зачет)

Вид учебной работы <sup>1</sup>	Всего часов	Семестр № 2	Семестр № 3
Общая трудоемкость дисциплины, час	144	36	108
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	53	18	35
лекции	17	17	0
лабораторные	0	0	0
практические	34	0	34
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации <sup>2</sup>	2	1	1
<b>Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:</b>	91	18	73
Курсовой проект	-	-	-
Курсовая работа	-	-	-
Расчетно-графическое задание	18	-	18
Индивидуальное домашнее задание	-	-	-
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	71	17	54
Самостоятельная работа на консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	2	1	1
Зачёт		Зачёт	Зачёт

<sup>1</sup> в соответствии с ЛНА предусматривать

- не менее 0,5 академического часа самостоятельной работы на 1 час лекций,
- не менее 1 академического часа самостоятельной работы на 1 час лабораторных и практических занятий,
- 36 академических часов самостоятельной работы на 1 экзамен
- 54 академических часов самостоятельной работы на 1 курсовой проект, включая подготовку проекта, индивидуальные консультации и защиту
- 36 академических часов самостоятельной работы на 1 курсовую работу, включая подготовку работы, индивидуальные консультации и защиту
- 18 академических часов самостоятельной работы на 1 расчетно-графическую работу, включая подготовку работы, индивидуальные консультации и защиту
- 9 академических часов самостоятельной работы на 1 индивидуальное домашнее задание, включая подготовку задания, индивидуальные консультации и защиту
- не менее 2 академических часов самостоятельной работы на консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации

<sup>2</sup> включают предэкзаменационные консультации (при наличии), а также текущие консультации из расчета 10% от лекционных часов (приводятся к целому числу)

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Наименование тем, их содержание и объем

#### Курс 1 Семестр 2

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям <sup>3</sup>
<b>1. Общие вопросы моделирования</b>					
	Основные определения и понятия в области моделей и моделирования. Классификация математических моделей. Порядок создания различных моделей и существующие подходы. Основы разработки математических компьютерных моделей в среде Lazarus/ Delphi.	2	-	-	2
<b>2. Структурное моделирование и оптимизация технологических процессов</b>					
	Разработка и оптимизация структурных моделей технологических процессов. Теория графов в оптимизации структуры технологических процессов.	4	-	-	4
<b>3. Аналитическое моделирование и оптимизация технологических процессов</b>					
	Общие вопросы создания и исследования аналитических моделей. Прогнозирование параметров обработки поверхностей с использованием аналитических моделей. Применение аналитических моделей для исследования тепловых потоков в технологических системах.	3	-	-	3
<b>4. Имитационное моделирование и оптимизация технологических процессов</b>					
	Общие вопросы создания и исследования имитационных моделей технологических процессов. Оптимизация состава технологического оборудования. Моделирование вероятности получения брака методом Монте-Карло.	4	-	-	4
<b>5. Математическое программирование и оптимизация параметров технологических процессов.</b>					
	Общие вопросы применения математического программирования в технологии машиностроения. Методы решения задач математического программирования. Линейное программирование. Нелинейное программирование. Оптимизация параметров технологических процессов в	4	-	-	4

<sup>3</sup> Указать объем часов самостоятельной работы для подготовки к лекционным, практическим, лабораторным занятиям

	машиностроении.				
	ВСЕГО	17	0	0	17

### Курс 2 Семестр 3

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям <sup>4</sup>
1. Общие вопросы моделирования					
	Классификация математических моделей. Порядок создания различных моделей и существующие подходы. Основы разработки математических компьютерных моделей в среде Lazarus/ Delphi.	-	2	-	10
2. Структурное моделирование и оптимизация технологических процессов					
	Разработка и оптимизация структурных моделей технологических процессов. Теория графов в оптимизации структуры технологических процессов.	-	8		14
3. Аналитическое моделирование и оптимизация технологических процессов					
	Общие вопросы создания и исследования аналитических моделей. Прогнозирование параметров обработки поверхностей с использованием аналитических моделей. Применение аналитических моделей для исследования тепловых потоков в технологических системах.	-	8	-	10
4. Имитационное моделирование и оптимизация технологических процессов					
	Общие вопросы создания и исследования имитационных моделей технологических процессов. Оптимизация состава технологического оборудования. Моделирование вероятности получения брака методом Монте-Карло.	-	8	-	10
5. Математическое программирование и оптимизация параметров технологических процессов.					
	Общие вопросы применения математического программирования в технологии машиностроения. Методы решения задач математического программирования. Линейное программирование. Нелинейное программирование. Оптимизация параметров технологических процессов в машиностроении.	-	8	-	10
	ВСЕГО	0	34	0	54
ИТОГО					71

<sup>4</sup> Указать объем часов самостоятельной работы для подготовки к лекционным, практическим, лабораторным занятиям

## 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям
Семестр № 3				
1	Общие вопросы моделирования	1. Изучение основ разработки моделей в среде программирования Lazarus.	2	10
2	Структурное моделирование и оптимизация технологических процессов	1. Размерный анализ с использованием теории графов. 2. Оптимизация структуры технологического процесса с использованием алгоритма Дейкстры.	8	14
3	Аналитическое моделирование и оптимизация технологических процессов	1. Прогнозирование формирования шероховатости поверхности после токарной обработки. 2. Анализ теплового состояния при точении.	8	10
4	Имитационное моделирование и оптимизация технологических процессов	1. Моделирование вероятности получения брака в партии деталей методом Монте-Карло. 2. Оптимизация структуры оборудования ГПС методом ветвей и границ.	8	10
5	Математическое программирование и оптимизация параметров технологических процессов.	1. Оптимизация параметров режима резания при точении.	8	10
ИТОГО:			34	54
ВСЕГО:				88

## 4.3. Содержание лабораторных занятий

Не предусмотрено учебным планом.

## 4.4. Содержание курсового проекта/работы

Не предусмотрено учебным планом.

#### 4.5. Содержание расчетно-графического задания, индивидуальных домашних заданий<sup>5</sup>

Расчётно-графическое задание служит для закрепления знаний, умения и навыков, полученных в процессе аудиторного изучения дисциплины путем самостоятельной разработки модели студентом. РГЗ выполняется на одну из тем:

- Структурная модель технологического маршрута с использованием теории графов;
- Модель формирования шероховатости поверхности при механической обработке;
- Размерный технологический анализ с использованием теории графов;
- Оптимизация параметров режима резания при механической обработке;
- Прогнозирование формирования брака в партии деталей с использованием метода Монте-Карло.

РГЗ состоит из расчётно-пояснительной записки и сопровождается электронным вариантом действующей компьютерной модели, разработанной с использованием одной из изученных в рамках курса программных сред. Объём пояснительной записки не регламентируется ввиду индивидуальных особенностей каждого варианта разрабатываемой модели, однако она не должна содержать лишней информации. Структура пояснительной записки должна быть примерно следующей:

Содержание.

Введение.

1. Постановка задачи.

2. Разработка модели.

Заключение и выводы.

Список литературы.

Приложение.

В процессе выполнения расчетно-графического задания осуществляется контактная работа обучающегося с преподавателем. Консультации проводятся в аудитории и/или посредством электронной информационно-образовательной среды университета.

---

<sup>5</sup> Если выполнение расчетно-графического задания/индивидуального домашнего задания нет в учебном плане, то в данном разделе необходимо указать «Не предусмотрено учебным планом»

## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 5.1. Реализация компетенций

**Компетенция ПК-2 Способен разрабатывать технологические процессы изготовления деталей машиностроения средней сложности.**

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ПК-2.2 Разрабатывает технологические процессы и операции изготовления деталей машиностроения средней сложности	Зачёт, выполнение РГЗ

### 5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

#### 5.2.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий)

для зачета

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Общие вопросы моделирования	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Понятия математической модели и моделирования.</li> <li>2. Приведите классификацию математических моделей по уровню абстрагирования.</li> <li>3. Приведите классификацию математических моделей по форме представления.</li> <li>4. Опишите подходы, используемые при построении теоретических моделей.</li> <li>5. В чем состоит суть статистических моделей?</li> <li>6. Особенности разработки компьютерных моделей в среде Lazarus/ Delphi.</li> </ol>
2	Структурное моделирование и оптимизация технологических процессов	<ol style="list-style-type: none"> <li>7. Как представляется модель объекта с точки зрения теории множеств: деталь, сборочная единица?</li> <li>8. Математическая модель технологического процесса механической обработки или сборки с точки зрения теории множеств.</li> <li>9. Понятие графа и его математическое описание.</li> <li>10. Приведите пример описания технологического процесса механической обработки валика с использованием теории множеств.</li> <li>11. Особенности формирования множества технологических переходов.</li> <li>12. Особенности формирования множества планов обработки.</li> <li>13. Особенности формирования множества рабочих планов обработки поверхностей.</li> <li>14. Особенности установления последовательности выполнения переходов.</li> <li>15. Особенности формирования комплектов технологических баз и их связей с обрабатываемыми поверхностями.</li> <li>16. Оптимизация последовательности обработки поверхностей.</li> </ol>

		17. Применение алгоритма Дейкстры для оптимизации технологического маршрута по критерию производительности.
3	Аналитическое моделирование и оптимизация технологических процессов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Особенности разработки аналитических моделей.</li> <li>2. Область применения аналитических моделей.</li> <li>3. Последовательность формирования аналитических моделей.</li> <li>4. Достоинства и недостатки аналитических моделей.</li> <li>5. Особенности создания аналитических моделей прогнозирования шероховатости.</li> <li>6. Анализ тепловых потоков в технологических системах с использованием компьютерных моделей.</li> </ol>
4	Имитационное моделирование и оптимизация технологических процессов	<ol style="list-style-type: none"> <li>7. Особенности разработки и применения имитационных моделей.</li> <li>8. Область применения имитационных моделей.</li> <li>9. Последовательность и этапы формирования имитационных моделей.</li> <li>10. Особенности применения имитационных моделей для анализа точности технологических процессов.</li> </ol>
5	Математическое программирование и оптимизация параметров технологических процессов.	<ol style="list-style-type: none"> <li>11. В чём состоит суть математического программирования и каковы его задачи?</li> <li>12. В чем состоит суть графо-аналитического метода решения задачи математического программирования?</li> <li>13. Перечислите задачи линейного программирования?</li> <li>14. Опишите графо-аналитический метод решения задач линейного программирования.</li> <li>15. Перечислите задачи и методы решения задач нелинейного программирования.</li> <li>16. Опишите классический метод минимизации или максимизации функции одной переменной.</li> <li>17. Опишите метод равномерного перебора.</li> <li>18. Опишите метод золотого сечения.</li> <li>19. Опишите метод линеаризации его применение к оптимизации параметров режима резания.</li> <li>20. Опишите метод покоординатного спуска.</li> <li>21. Опишите Парето - эффективный метод решения многокритериальной задачи оптимизации.</li> <li>22. Решение многокритериальных задач оптимизации с использованием обобщенных критериев.</li> </ol>

### **5.2.2. Перечень контрольных материалов для защиты курсового проекта/ курсовой работы**

Не предусмотрено учебным планом.

### **5.3. Типовые контрольные задания (материалы) для текущего контроля в семестре**

В случае синхронной самостоятельной работы и полного выполнения учебного плана (наличии конспекта лекций, выполненных и защищённых лабораторных работах, выполненного и защищённого РГЗ) студенту выставляется зачет.

При наличии сомнений в качестве знаний студента или в самостоятельности выполнения им практических и лабораторных заданий студенту задаются один или два вопроса из перечня, представленного в табл. 5.2.1.

## 5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме зачета используется следующая шкала оценивания: зачтено, не зачтено.

Критериями оценивания достижений показателей являются:

Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине	Критерий оценивания
Знания	Основ разработки моделей оптимизации технологических процессов, операций и параметров.
Умения	Разрабатывать модели технологических процессов, операций и параметров с использованием компьютерных средств.
Навыки	Исследования разработанных моделей и принятия решений по результатам их анализа для разработки оптимальных технологических процессов.

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания.

Оценка сформированности компетенций по показателю Знания.

Критерий	Уровень освоения и оценка	
	Не зачтено	Зачтено
Знание основ разработки моделей оптимизации технологических процессов, операций и параметров.	Не знает основ разработки моделей оптимизации технологических процессов, операций и параметров.	Знает основы разработки моделей оптимизации технологических процессов, операций и параметров.

Оценка сформированности компетенций по показателю Умения.

Критерий	Уровень освоения и оценка	
	Не зачтено	Зачтено
Умение разрабатывать модели технологических процессов, операций и параметров с использованием компьютерных средств.	Не умеет самостоятельно разрабатывать модели технологических процессов, операций и параметров с использованием компьютерных средств.	Умеет самостоятельно разрабатывать модели технологических процессов, операций и параметров с использованием компьютерных средств.

Оценка сформированности компетенций по показателю Навыки.

Критерий	Уровень освоения и оценка	
	Не зачтено	Зачтено
Владение навыками исследования разработанных моделей и принятия решений по результатам их анализа для разработки оптимальных технологических процессов.	Не владеет навыками исследования разработанных моделей и принятия решений по результатам их анализа для разработки оптимальных технологических	Владеет навыками исследования разработанных моделей и принятия решений по результатам их анализа для разработки оптимальных технологических

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Лекционная аудитория на 20-30 посадочных мест	Персональный компьютер под управлением ОС MS Windows 7, проектор, экран
2	Компьютерный класс на 20-30 рабочих мест для проведения практических занятий и самостоятельной работы.	Оснащение каждого рабочего места должно предполагать наличие: - персонального компьютера под управлением ОС MS Windows 7. - MS Word; - SMath Studio или MathCAD; - Lazarus или Delphi

### 6.2. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

Приводится перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства.

№	Перечень лицензионного программного обеспечения.	Реквизиты подтверждающего документа
1	Microsoft Office	<p><a href="https://license_po.bstu.ru/microsoft">https://license_po.bstu.ru/microsoft</a></p> <p>Сотрудники кафедры, административный персонал на кафедрах и в кабинетах, а также компьютерные классы университета используют операционные системы Windows 7,8,8.1,10 и офисные пакеты Microsoft Office 2007,2010,2013,2016 на основании:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Соглашения Microsoft Open Value Subscription <a href="#">V6328633 от 02.10.2017</a> * <a href="#">Подробные сведения о Соглашении</a> **</li> <li>• Договора поставки <a href="#">ПО 0326100004117000038-0003147-01 от 06.10.2017</a> ***</li> </ul>

№	Перечень свободно распространяемого программного обеспечения.	
1	Lazarus	Свободно распространяемое ПО с открытым исходным кодом
2	SMath Studio	Свободно распространяемое ПО с открытым исходным кодом

### **6.3. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов**

#### ***1. Перечень основной литературы:***

1. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем. [Электронный ресурс]: Учебники Электрон. дан. Минск: Новое знание, 2013. 584 с. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/4324>].
2. Горлач Б.А. Математическое моделирование. Построение моделей и численная реализация. [Электронный ресурс]: Учебные пособия / Б.А. Горлач, В.Г. Шахов. Электрон.дан. Спб.: Лань, 2016. 292 с. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/74673>].
3. Охорзин В.А. Прикладная математика в системе MathCAD. [Электронный ресурс: Учебные пособия Электрон.дан. Спб.: Лань, 2009. 352 с. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/294> ].
4. Кузьмин В.В. Математическое моделирование технологических процессов сборки и механической обработки изделий машиностроения Учеб. пособ. для вузов В.В. Кузьмин, А.Г. Схиртладзе. – М. Высш. Шк., 2008 – 279 с

#### ***2. Перечень дополнительной литературы:***

1. Дуюн Т.А., Баранов Д.С. Задачи принятия решений и оптимизации в машиностроении : учебное пособие для студентов направлений подготовки 150305 (150405), 150301, 200503, специальности 150501 [Электронный ресурс: <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2018071212320137700000659560>].
2. Дуюн Т.А., Гринёк А.В. Математическое моделирование технологических процессов в машиностроении : учеб. пособие для студентов специальности 200503 заоч. формы обучения с применением дистанц. Технологий [Электронный ресурс: <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2014040920345927346900003311>].
3. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. 320 с.

### **6.4. Перечень интернет ресурсов, профессиональных баз данных, информационно-справочных систем**

1. <http://elib.bstu.ru> - Электронная библиотека БГТУ им. В.Г. Шухова.
2. <http://window.edu.ru> - Электронная библиотека онлайн "Единое окно к образовательным ресурсам".
3. <http://elibrary.rsl.ru> - электронная библиотека РГБ.
4. <http://techlibrary.ru> - техническая библиотека.
5. <http://e.lanbook.com> - электронная библиотечная система издательства «Лань».
6. <http://unilib.neva.ru> — библиотека СпбГТУ.

## 7. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ<sup>6</sup>

Рабочая программа утверждена на 2021/2022 учебный год  
без изменений / с изменениями, дополнениями<sup>7</sup>

Протокол № \_\_\_\_\_ заседания кафедры от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
подпись, ФИО

Директор института \_\_\_\_\_  
подпись, ФИО

---

<sup>6</sup> Заполняется каждый учебный год на отдельных листах

<sup>7</sup> Нужно подчеркнуть