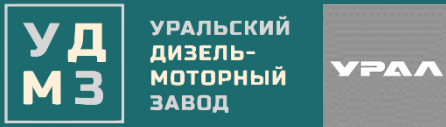


# Цифровые двойники в двигателестроении и транспортном машиностроении

Информатика и вычислительная техника  
Магистратура  
09.04.01

10 мест  
4 модуля



ГСКБД «ТРАНСДИЗЕЛЬ»

## Руководители программы



**Тараненко Павел Александрович**

Руководитель программы, к.т.н., Зав. кафедрой «Техническая механика»



**Малоземов Андрей Адиевич**

Научный руководитель, Д.т.н., г.н.с., ведущий специалист по моделированию процессов в дизельных двигателях



**Боровков Алексей Иванович**

Научный руководитель, к.т.н., проф., проректор по цифровой трансформации СПбПУ, руководитель Инжинирингового центра (CompMechLab) СПбПУ



**Нефедов Сергей Владимирович**  
Руководитель от Индустриального партнера

Руководитель проекта промышленных двигателей ООО «Уральский дизель-моторный завод»

## Модули

**Модуль №1**  
Технологии создания цифровых двойников

**Модуль №2**  
Основы конструкции и классические методы расчета ДВС и его подсистем

**Модуль №3**  
Конечноэлементное моделирование

**Модуль №4**  
Функциональное моделирование

Образовательная программа направлена на подготовку лидеров отрасли в области построения цифровых двойников двигателей на этапе разработки и комплексного междисциплинарного моделирования процессов в двигателях и транспортных средствах, способных руководить группой (отделом) по математическому моделированию

## Предпосылки создания образовательной программы

- Взрывной рост производства на машиностроительных предприятиях. Острая нехватка инженеров
- На многих машиностроительных предприятиях практически отсутствуют инженеры-прочности
- Постоянно растут требования к мощности двигателей спец.назначения. Зачастую эти требования выполняются за счет форсирования существующих конструкций. Запасы прочности исчерпаны. Необходимо создавать новые конструкции. Для этого необходимо осваивать новые подходы к моделированию
- Постепенно идет процесс импортозамещения ПО для моделирования двигателей и транспортных средств. Необходимо участвовать в создании и осваивать отечественное ПО («SimInTech», «Универсальный механизм»)
- Выпускники-бакалавры, в основном, планируют работать на предприятиях (получать заработную плату, участвовать в создании продукции и видеть результаты своей работы, воплощенными «в железе»). Необходима образовательная программа, которая позволит дать студентам возможность работать на предприятии и одновременно повысить их квалификацию в магистратуре

## Какие новые процессы (функции) необходимо сформировать в результате освоения ОП?

- Освоение современного отечественного программного обеспечения для моделирования твердотельной динамики, подсистем двигателя, конечноэлементных расчетов на прочность, газодинамики
- Разработка методики связанного решения задач газодинамики, прочности теплонапряженных конструкций, динамики, управления, которые сегодня решаются отдельно друг от друга
- Обеспечение выполнения проектных требований к новому двигателю на ранних стадиях проектирования (до предварительных испытаний)
- Проведение предварительных испытаний опытных образцов с целью верификации и уточнения расчетной модели

# Область применения, на которую направлена образовательная программа

- Наземная колесная и гусеничная техника
- Двигатели внутреннего сгорания

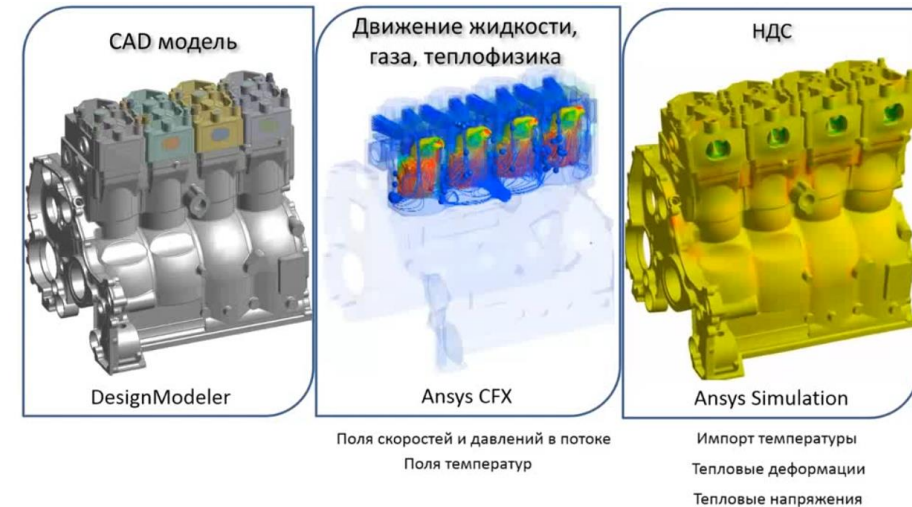


## Предприятия-потребители выпускников



## Объект

- Технические параметры процессов, происходящих в двигателе внутреннего сгорания, обеспечивающие требования мощности, прочности и долговечности



## Цель

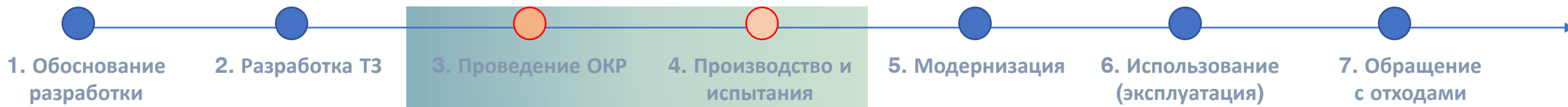
- Сокращение сроков проектирования новых двигателей и вывода изделий на рынок

## Средства реализации программы

- Ansys Fluent, FlowVision (решение задач газодинамики, определение поля давлений, коэфф. теплоотдачи и температур)
- Ansys Mechanical (решение задач прочности элементов ДВС)
- Универсальный механизм (решение задач твердотельной динамики – динамика КШМ)
- Simintech, AVL (моделирование подсистем двигателя на схемном уровне)
- Инструменты, позволяющие связать модели, построенные в разных пакетах

## Позиция выпускника в жизненном цикле продукции

- Руководитель группы по математическому моделированию
- Разработка ЦД-Р (ГОСТ Р 57700.37-2021) – цифрового двойника, наполнение и функциональность которого определяется в ходе реализации стадии разработки изделия



## Функциональные обязанности (действия) выпускников

- Моделирование и расчет рабочих процессов в двигателе и его подсистемах
- Обеспечение выполнения проектных требований к новому двигателю на ранних стадиях проектирования (до предварительных испытаний)
- Обеспечение выполнения проектных требований к модифицируемому двигателю на стадии проектирования
- Моделирование динамики движения КГМ вместе с разрабатываемым двигателем
- Верификация мат. модели ДВС по результатам предварительных испытаний и испытаний его подсистем

# МОДУЛИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Технологии создания цифровых двойников

- Цифровые двойники как компонент Индустрии 4.0
- Программно-аппаратное обеспечение цифровых двойников
- Программная инженерия цифровых двойников
- Современные проблемы создания цифровых двойников
- Натурные испытания ДВС

### Модуль №1

Распределенная практика по технологиям цифровых двойников СПбПУ, А.И. Боровков

## Основы конструкции и классические методы расчета ДВС и его подсистем

- Камера сгорания
- Цилиндро-поршневая группа
- Кривошипно-шатунный механизм
- Корпусные детали
- Газораспределительный механизм
- Система уравнивания
- Система подачи топлива
- Система зажигания
- Система наддува
- Система охлаждения
- Система смазки
- Система управления

### Модуль №2

Распределенная практика по конструкции ДВС и его подсистем и испытаниям ДВС

## Конечноэлементное моделирование

- Конечноэлементные расчеты на прочность
- Динамика конструкций
- Твердотельная динамика
- Введение в гидрогазодинамику
- FSI-Технологии решения связанных задач\*

*\*Связанная задача – это задача, включающая в себя газодинамическую, тепловую и механическую части с возможностью передачи результатов расчета каждой части другой*

*\*FSI – Fluid Structure Interaction – это технология моделирования взаимодействия движущегося или деформируемого тела с внутренним или внешним потоком жидкости или газа*

### Модуль №3

Распределенная практика по расчетам на прочность

## Функциональное моделирование

- Функциональное\* моделирование ДВС
- Современное ПО для построения ЦД\*\* ДВС
- Гибридное\*\*\* моделирование
- Введение в теорию автоматического управления

*\* Функциональное моделирование - технология построения 1D модели изделия в виде набора функциональных элементов его подсистем*

*\*\* ЦД – цифровой двойник*

*\*\*\* Гибридное моделирование - технология построения математической 3D модели изделия с функциональными 1D моделями его подсистем*

### Модуль №4

Распределенная практика по функциональному моделированию

**ПК-1** Способен организовывать работу на предприятии по созданию цифровых двойников на разных стадиях жизненного цикла изделия

**ПК-2** Способен выполнять расчеты процессов в двигателе и его подсистемах на ранних стадиях проектирования

**ПК-3** Способен выполнять междисциплинарные расчеты, расчеты динамики и конечноэлементные расчеты на прочность теплонапряженных конструкций

**ПК-4** Способен создавать комплексные междисциплинарные функциональные модели изделий

# СОДЕРЖАНИЕ МОДУЛЕЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Технологии создания цифровых двойников

Модуль посвящен получению базовых знаний в области технологий создания и использования цифровых двойников

**Модуль №1**

## Основы конструкции и классические методы расчета ДВС и его подсистем

Модуль посвящен получению теоретических и практических навыков в области конструкции двигателя внутреннего сгорания и его подсистем

**Модуль №2**

## Конечноэлементное моделирование

Модуль посвящен получению практических навыков в области разработки конечноэлементных моделей, расчетов их динамики и прочности, расчетов теплонапряженных конструкций, газодинамических расчетов и решению связанных (междисциплинарных) задач

**Модуль №3**

## Функциональное моделирование

Модуль посвящен получению практических навыков в области создания функциональных моделей двигателя внутреннего сгорания и его подсистем и решению связанных (1D-3D) задач

**Модуль №4**



**Боровков А.И.**  
к.т.н., проректор  
СПбПУ



**Попов А.Е.**  
к.т.н., зав.  
кафедрой



**Тараненко П.А.**  
к.т.н., зав.каф.  
ЮУрГУ



**Ковалев Р.В.**  
к.т.н., руководитель  
группы  
УМ, Брянск



**Топольский Д.В.**  
к.т.н., зав. кафедрой  
ЮУрГУ



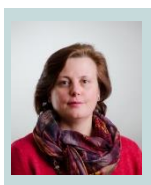
**Нефедов С.В.**  
Руководитель  
проекта  
УДМЗ



**Щербакова А.О.**  
к.т.н., доцент  
ЮУрГУ



**Малоземов А.А.**  
д.т.н., проф., г.н.с  
ЮУрГУ



**Плаксина Ю.Г.**  
к.т.н., доц.  
ЮУрГУ



**Шишков В.В.**  
к.т.н., доцент  
ЮУрГУ



**Романов В.А.**  
к.т.н., доцент  
ЮУрГУ



**Дойкин А.А.**  
к.т.н., доцент  
ЮУрГУ



# СТРУКТУРА УЧЕБНОГО ПЛАНА

1 семестр		2 семестр		3 семестр		4 семестр	
Иностранный язык в профессиональной деятельности	2.0	Иностранный язык в профессиональной деятельности	2.0	Современные проблемы создания цифровых двойников	3.0	ПРАКТИКА и ГИА	
Цифровые двойники как компонент индустрии 4.0	3.0	Программно-аппаратное обеспечение цифровых двойников	3.0	Программная инженерия цифровых двойников	3.0		
Применение метода конечных элементов при построении цифровых двойников	2.0	Применение метода конечных элементов при построении цифровых двойников	2.0	Компьютерное моделирование в Ansys Workbench	3.0		
Цифровые двойники динамических систем	3.0	Твердотельная динамика	3.0	Введение в теорию автоматического управления	3.0		
Современное программное обеспечение построения цифровых двойников	3.0	Имитационное моделирование	3.0	Имитационное моделирование	2.0		
Функциональное моделирование процессов и систем	3.0	Введение в гидрогазодинамику	3.0	Виртуальные испытания двигателей	3.0		
Основы конструкции ДВС и классические методы расчета	3.0	Аналитические и цифровые методы конструирования двигателей	3.0	Виртуальные испытания транспортных средств			
				Современные методы оценки тепловой и механической напряженности элементов поршневых двигателей	3.0		
Семинар "Подсистемы двигателей внутреннего сгорания"	2.0	Семинар "Функциональное моделирование подсистем двигателей"	2.0	Усталостная долговечность элементов транспортных средств			
	<b>21.0</b>		<b>21.0</b>	Семинар "Имитационное моделирование подсистем транспортных средств"	2.0		
				Динамика двигателей	2.0		
				Динамика движения транспортных средств			
Практика	9.0	Практика	9.0	Практика	6.0		Практика
	<b>30.0</b>		<b>30.0</b>			ГИА	18.0
							<b>30.0</b>

**ПК-1** Способен организовывать работу на предприятии по созданию цифровых двойников на разных стадиях жизненного цикла изделия

**ПК-2** выполнять расчеты процессов в двигателе и его подсистемах на ранних стадиях проектирования

**ПК-3** Способен выполнять междисциплинарные расчеты, расчеты динамики и конечноэлементные расчеты на прочность теплонапряженных конструкций

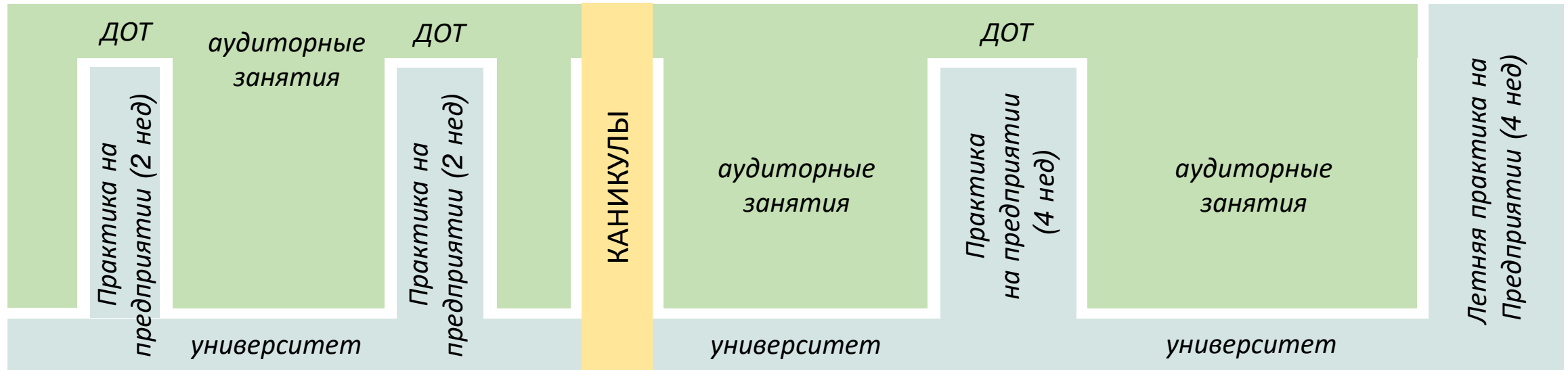
**ПК-4** Способен создавать комплексные междисциплинарные функциональные модели изделий

## Личностные компетенции

- Ответственность
- Системное мышление
- Умение анализировать
- Творческое мышление
- Умение работать в коллективе

# ГРАФИК УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

## УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС (аудиторный / ДОТ)



## ПРАКТИКА

сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль
----------	---------	--------	---------	--------	---------	------	--------	-----	------	------



# НАУЧНЫЙ, ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ И ИНФРАСТРУКТУРНЫЙ ЗАДЕЛ



**Попов  
Александр  
Евгеньевич**

к.т.н., зав. кафедрой  
«Двигатели внутреннего  
сгорания» ЮУрГУ



**Лазарев  
Евгений  
Анатольевич**

Д.т.н., профессор  
кафедры «Двигатели  
внутреннего  
сгорания» ЮУрГУ



**Лазарев  
Владислав  
Евгеньевич**

К.т.н., доцент  
кафедры «Двигатели  
внутреннего  
сгорания» ЮУрГУ



**Топольский  
Дмитрий  
Валерианович**

к.т.н., доц., зав.  
кафедрой  
«Электронные  
вычислительные  
машины» ЮУрГУ



**Чернявский  
Александр  
Олегович,**

Д.т.н., проф. кафедры  
«Техническая  
механика» ЮУрГУ



**Романов  
Вячеслав  
Александрович**

Д.т.н., проф.  
кафедры  
«Техническая  
механика» ЮУрГУ



**Дойкин  
Алексей  
Алексеевич**

к.т.н., доц. кафедры  
«Автомобильный  
транспорт» ЮУрГУ

