

Белорусский государственный университет



Проректор по учебной работе и образовательным инновациям

О.И. Чуприс

«          »            2018 г.

Регистрационный № УД- 6059 /уч.

## **БИОМЕХАНИКА И БИОИНФОРМАТИКА**

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности второй ступени высшего  
образования (магистратуры) с углубленной подготовкой специалиста

1-31 80 04 Механика

Минск, 2018

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 04-2012 (24.08.2012г, № 108) и учебного плана № G31-267/уч. (26.05.2017 г.) для специальности 1-31 80 04 Механика

### **СОСТАВИТЕЛИ:**

**Ботогова Марина Георгиевна** – доцент кафедры био- и наномеханики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук.

**Босяков Сергей Михайлович** – доцент кафедры теоретической и прикладной механики механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук.

**Недзьведь Александр Михайлович** – заведующий кафедрой компьютерных технологий и систем факультета прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета, доктор технических наук.

### **РЕЦЕНЗЕНТЫ:**



**Вихренко Вячеслав Степанович** - профессор кафедры механики и конструирования Белорусского государственного технологического университета, доктор физико-математических наук.

**Гаркун Александр Сергеевич** - заместитель директора по научной и инновационной работе Института прикладной физики НАН Беларуси, кандидат физико-математических наук.

### **РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой био- и наномеханики  
(протокол № 10 от 28.05.18)

Научно-методическим Советом Белорусского государственного университета  
(протокол № 6 от 16.06.2018)

 Зав. кафедрой  
био- и наномеханики,  
профессор  Р. И. Михасев

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная дисциплина «Биомеханика и биоинформатика» относится к циклу дисциплин специальной подготовки государственного компонента и адресована магистрантам 2-го года обучения по специальности 1-31 80 04 Механика механико-математического факультета Белорусского государственного университета.

**Цель** - формирование у студентов целостного представления о предмете биомеханики, как современного направления механики, в исследовании биологических и медицинских систем, знаний основных законов механики, термодинамики и теории информации, необходимых для моделирования биомеханических систем с учетом физических, тепловых и химических процессов протекающих в живом организме или искусственном органе; ознакомление с основными задачами и проблемами, возникающими в современной медицине и, в частности, в биомедицинской инженерии при разработке протезов некоторых структурных элементов организма; формирование у студентов навыков построения простейших математических моделей некоторых биомеханических систем с использованием основных законов механики.

**Задачами** дисциплины «Биомеханика и биоинформатика» являются:

- ✓ Создание на основе законов механики моделей биологических жидкостей, тканей, отдельных органов и структур;
- ✓ Изучение динамики биологических систем, а также протекающих в них физиологических процессов

**Связь с другими дисциплинами.**

Программа дисциплины «Биомеханика и биоинформатика» составлена с учетом межпредметных связей и программ по смежным дисциплинам. Ее изучение базируется на знаниях дисциплин «Теоретическая механика», «Механика сплошной среды», «Физика».

В результате изучения дисциплины обучаемый должен

**знать:**

- предмет биомеханики;
- биомеханические характеристики тела человека и его движений;
- общее строение опорно-двигательной системы человека, мышечной системы, сердечно-сосудистой, слуховой и зрительной систем;

**уметь:**

- построить простейшие математические модели некоторых биомеханических систем.

**владеть:**

- навыками работы с современными программными средствами численного решения математических и прикладных задач механики твердого тела.

Преподавание данной дисциплины должно строиться таким образом, чтобы обучающийся приобретал следующие академические и профессиональные компетенции:

- АК-1. Осуществлять самостоятельную научно-исследовательскую деятельность;
- АК-2. Использовать междисциплинарный подход при решении поставленных проблем;
- АК-3. Применять технические устройства и компьютеры, пакеты прикладных программ и средства компьютерной графики для решения профессиональных задач;
- ПК-1. Квалифицированно проводить научные исследования в области механики наноразмерных тел и структур;
- ПК-2. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

Также подлежат развитию социально-личностные компетенции:

- СЛК-1. К сотрудничеству и работе в команде;
- СЛК-2. Владению коммуникативными способностями для работы в междисциплинарной и международной научной среде;
- СЛК-3. Проявлять инициативу и креативность, в том числе в нестандартных ситуациях, возникающих при решении поставленных задач;
- СЛК-4. Адаптироваться к новым ситуациям социально-профессиональной деятельности, реализовывать накопленный опыт, свои профессиональные возможности.

Дисциплина «Биомеханика и биоинформатика» изучается магистрантами в 3 семестре 2-го года очной формы обучения.

В соответствии с учебным планом специальности на изучение дисциплины всего отводится 120 часов, в том числе 42 часов аудиторных занятий; из них 20 часов – лекции, 20 часов – лабораторные занятия, 2 часа – УСП; текущая аттестация – экзамен.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### **Тема 1. Основные понятия и законы механики сплошных сред, термодинамики и теории информации в моделировании биомеханических структур.**

Основные законы и уравнения механики сплошных сред. Законы термодинамики сплошных сред. Неравенство диссипации и тождество Гиббса. Принцип Онзагера. Свободная энергия, энтальпия. Термодинамический потенциал Гиббса. Некоторые математические модели сплошных сред. Теория информации и второй закон термодинамики, структурный порядок и беспорядок.

### **Тема 2. Биомеханическое моделирование костной ткани на различных иерархических уровнях.**

Иерархическая структура костной ткани. Классификация макромасштабном уровне. Длинные трубчатые кости. Подходы к моделированию костной ткани на различных иерархических уровнях. Особенности анизотропии костной ткани. Упругие свойства костной ткани на микромасштабном уровне. Упругие свойства кортикальной и губчатой костной ткани. Биомеханические и анатомические оси, стандартные системы координат для различных трубчатых костей. Граничные условия при расчете напряженно-деформированного состояния длинных трубчатых костей. Условия прочности и критерии разрушения, применяемые при оценке несущей способности длинных трубчатых костей.

### **Тема 3. Математическое моделирование малых перемещений корня зуба в периодонтальной связке**

Задача о равновесии корня зуба в периодонтальной связке при действии статической нагрузки. Определение жесткостей периодонтальной связки. Формулировка условий поступательного перемещения корня зуба в периодонтальной связке. Типы областей сопротивления для асимметричных корней зубов и корней зубов, имеющих симметрию. Геометрическая форма зуба в форме составного параболоида. Расчет жесткостей периодонтальной связки. Определение перемещений корня в периодонтальной связке. Перемещение корня зуба вдоль винтовой линии. Классификация перемещений корня зуба в зависимости от перемещения вдоль винтовой линии. Перемещение корня зуба вдоль винтовой линии.

### **Тема 4. Механика стентирования сосудов**

Особенности кровотока при локальном сужении сосудов. Резистивная модель. Использование стентов при внутрисосудистой хирургии. Форма и структура стентов. Устойчивость и радиальная жесткость артериальных стентов трубчатой структуры. Уравнение устойчивости стента в

приближении эффективной пружины. Расчет напряженно-деформированного состояния в стенке после его установки.

#### **Тема 5. Биомеханика зрения**

Строение глазного яблока. Уравнения теории пластин и оболочек в моделировании глазного яблока. Классификация заболеваний и патологий в офтальмологии. Моделирование циркуляжа глаза. Построение интегралов краевого эффекта уравнений равновесия сферической оболочки при исследовании НДС глазного яблока, вызванного циркуляжем. Механизм отслоения сетчатки глаза. Простейшая модель возникновения глаукомы.

#### **Тема 6. 3D в медицинских и наноскопических изображениях**

3D пространство в наноскопических изображениях. 3D медицинские изображения и объекты. Понятие вокселя. Плоскости разрезов. Интегральная проекция. Стереопонятия. Понятие объема и объемные характеристики. Наследственность характеристик 3D от 2D. Алгоритмы вычисления характеристик в 3D пространстве.

#### **Тема 7. Особенности свободных библиотек и программного обеспечения для анализа изображений и сигналов**

Обзор особенностей и недостатков современных библиотек и программного обеспечения для анализа изображений и сигналов доступных для общего пользования.

#### **Тема 8. Анализ и обработка био-наноизображений в республике Беларусь**

Обзор перспективных направлений в области обработки и анализа бионаноскопических сигналов и изображений. Обзор некоторых научных проектов выполненных Белорусскими учеными.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов по СР	Формы контроля знаний
		лекции	практические занятия	семинарские занятия	лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<b>Тема 1. Основные понятия и законы механики сплошных сред, термодинамики и теории информации в моделировании биомеханических структур.</b>	<b>4</b>						Собеседование
1.1	Основные законы и уравнения механики сплошных сред. Законы термодинамики сплошных сред. Неравенство диссипации и тождество Гиббса.							
1.2	Принцип Онзагера. Свободная энергия, энтальпия. Термодинамический потенциал Гиббса.							
1.3	Некоторые математические модели сплошных сред. Теория информации и второй закон термодинамики, структурный порядок и беспорядок.							
2	<b>Тема 2. Тема 2. Биомеханическое моделирование костной ткани на различных иерархических уровнях.</b>	<b>2</b>			<b>6</b>			Отчет по лабораторным заданиям с их устной защитой
2.1	Иерархическая структура костной ткани. Классификация макромасштабом уровне. Длинные трубчатые кости. Упругие свойства кортикальной и губчатой костной ткани. Подходы к моделированию костной ткани на различных иерархических уровнях. Особенности анизотропии костной ткани. Упругие	2			2			

	свойства костной ткани на микромасштабном уровне.								
2.2	Биомеханические и анатомические оси, стандартные системы координат для различных трубчатых костей. Граничные условия при расчете напряженно-деформированного состояния длинных трубчатых костей. Условия прочности и критерии разрушения, применяемые при оценке несущей способности длинных трубчатых костей.	4				4			Отчет по лабораторным заданиям с их устной защитой
3	<b>Тема 3. Математическое моделирование малых перемещений корня зуба в периодонтальной связке</b>					4			
3.1	Задача о равновесии корня зуба в периодонтальной связке при действии статической нагрузки. Определение жесткостей периодонтальной связки.	2				2			
3.2	Формулировка условий поступательного перемещения корня зуба в периодонтальной связке. Типы областей сопротивления для асимметричных корней зубов и корней зубов, имеющих симметрию.	2				2			
3.3	Геометрическая форма зуба в форме составного параболоида.	2				2			
3.4	Определение перемещений корня в периодонтальной связке. Перемещение корня зуба вдоль винтовой линии. Классификация перемещений корня зуба в зависимости от перемещения вдоль винтовой линии. Перемещение корня зуба вдоль винтовой линии.	2				2			
4	<b>Тема 4. Механика стентирования сосудов</b>					2			Отчет по домашним практическим упражнениям с их устной защитой
4.1	Особенности кровотока при локальном сужении	2				2			

	сосудов. Резистивная модель. Использование стентов при внутрисосудистой хирургии. Форма и структура стентов. Устойчивость и радиальная жесткость артериальных стентов трубчатой структуры. Уравнение устойчивости стента в приближении эффективной пружины. Расчет напряженно-деформированного состояния в стенке после его установки.							
5	<b>Тема 5. Биомеханика зрения</b> Строение глазного яблока. Уравнения теории пластин и оболочек в моделировании глазного яблока. Классификация заболеваний и патологий в офтальмологии. Моделирование циркляжа глаза. Построение интегралов краевого эффекта уравнений равновесия сферической оболочки при исследовании НДС глазного яблока, вызванного циркляжем. Механизм отслоения сетчатки глаза. Простейшая модель возникновения глаукомы.	2				2		Собеседование
5.1	Строение глазного яблока. Уравнения теории пластин и оболочек в моделировании глазного яблока. Классификация заболеваний и патологий в офтальмологии. Моделирование циркляжа глаза. Построение интегралов краевого эффекта уравнений равновесия сферической оболочки при исследовании НДС глазного яблока, вызванного циркляжем.					2		
5.2	Механизм отслоения сетчатки глаза. Простейшая модель возникновения глаукомы.	2						
6	<b>Тема 6. 3D в медицинских и наноскопических изображениях</b>	2				4		Отчет по лабораторным заданиям с их устной защитой

6.1	3D пространство в наноскопических изображениях. 3D медицинские изображения и объекты.	2								
6.2	Понятие вокселя. Плоскости разрезов. Интегральная проекция. Стерео понятия. Понятие объема и объемные характеристики. Наследственность характеристик 3D от 2D.		2							
6.3	Алгоритмы вычисления характеристик в 3D пространстве		2							
7	Тема 7. Особенности свободных библиотек и программного обеспечения для анализа изображений и сигналов	2								Собеседование
7.1	Обзор особенностей и недостатков современных библиотек и программного обеспечения для анализа изображений и сигналов доступных для общего пользования.	2								
8	Тема 8. Анализ и обработка био-наноизображений в республике Беларусь	2								Собеседование
8.1	Обзор перспективных направлений в области обработки и анализа бионаноскопических сигналов и изображений. Обзор некоторых научных проектов выполненных белорусскими учеными.	2								
	Проверка знаний по темам № 1-8								2	Контрольная работа
	Всего по курсу	20	20						2	

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Основная литература

1. Чигарев А.В., Михасев Г.И., А.В. Борисов. Биомеханика. - Минск: Изд-во Гревцова, 2010. – 284 с.
2. Бегун П.И., Шукейло Ю.В. Биомеханика: Учебник для вузов. – Спб.: Политехника, 2000. – 463 с.
3. . Босьяков С.М. Наумович С. А., Ивашенко С.В., Крушевский А.Е.. Биомеханика системы «зуб - периодонт - костная ткань»- Мн.: БГМУ, 2009. - 279 с.
4. Солонина А.И. и др. Основы цифровой обработки сигналов. Учебное пособие. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 768 с.

### Дополнительная литература

5. Абламейко С.В., Недзьведь А.М., Обработка оптических изображений клеточных структур в медицине.– Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – 155 с.
6. Бауэр С.М., Зимин В.А., Товстик П.Е . Простейшие модели теории оболочек и пластин в офтальмологии. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. Ун-та, 2000. – 92 с.
7. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов. Практический подход. - М.: "Вильямс", 2004, 992 с.
8. Босьяков, С.М. Анализ поврежденности бедренной кости с пострезекционным дефектом при действии статической нагрузки / С.М. Босьяков, И.Э. Шпилевский, Д.В. Алексеев // Теоретическая и прикладная механика.– 2014.–Выпуск 29.–С. 148–152.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ МАГИСТРАНТОВ**

Основными направлениями управляемой самостоятельной работы (УСР) в овладении знаниями учебной дисциплины «Биомеханика и биоинформатика» являются:

- ознакомление со списком рекомендуемой литературы по дисциплине в целом и ее разделам, наличие литературы в открытых информационных источниках, библиотеке и других доступных источниках, изучение необходимой литературы по теме, подбор дополнительной литературы;
- изучение и расширение лекционного материала преподавателя за счет специальной литературы, консультаций.

Выполняя учебные задачи, магистранты самостоятельно приобретают новые знания, навыки и умения (в частности, умение анализировать и принимать решения в нестандартных ситуациях), что очень важно для эффективной будущей самостоятельной профессиональной деятельности.

## ПЕРЕЧЕНЬ ЗАДАНИЙ УПРАВЛЯЕМОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Радиус сосуда уменьшается на 30%. Как изменяется объемная скорость кровотока при неизменном перепаде давления?

2. Во сколько раз изменится скорость падения давления в начале диастолы, если гидравлическое сопротивление капилляров возросло на 20%?

3. Кровь – это жидкость (1 или 2), так как это (3 или 4), коэффициент вязкости которой (5 или 6)

1. ньютоновская

2 неньютоновская

3 однородная

4 суспензия

5  $\eta = \text{const}$

6  $\eta$  – функция условий течения

Ответы:

а) 1, 3, 6

б) 2, 4, 5

в) 1, 3, 5

г) 2, 4, 6

4. В крупном сосуде одновременно происходят процессы:

а) перемещение частиц крови

б) распространение пульсовой волны

в) распространение звуковой волны

Каковы характерные скорости этих процессов

х) 1500 м/с,

у) 10 м/с,

z) 0,5 м/с

5. Фигурист вращается, делая  $n_1 = 6$  об/с. Как изменяется момент инерции фигуриста, если он прижмет руки к груди и при этом частота вращения станет  $n_2 = 18$  об/с?

6. Являются ли колебания, описываемые уравнениями  $\ddot{x} = \omega_0^2 \sin x = 0$  и  $\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$ , изохронными?

7. Полная энергия тела массой  $m = 1$  кг, совершающего гармонические колебания,  $E = 1$  Дж, максимальная возвращающая сила, действующая на тело, равна  $F = 0,1$  Н. Написать дифференциальное уравнение колебаний и его решение, если начальная фаза  $\varphi_0 = 45^\circ$ .

## **ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Диагностика результатов учебной деятельности по дисциплине «Биомеханика и биоинформатика» проводится, как правило, во время аудиторных занятий. Для диагностики используются:

- отчеты по аудиторным практическим упражнениям с их устной защитой;
- отчеты по домашним практическим упражнениям с их устной защитой;
- собеседования;
- контрольная работа.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины.

Для студентов, пропустивших контрольные мероприятия или получивших неудовлетворительную оценку, решение о повторном проведении контрольного мероприятия выносится в соответствии с положением о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в Белорусском государственном университете.

### **МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИТОГОВОЙ ОЦЕНКИ**

Полученные студентом количественные результаты учитываются как составная часть итоговой оценки по дисциплине в рамках рейтинговой системы.

Итоговая оценка формируется на основе трех документов:

- 1) Постановления министерства образования республики Беларусь от 29 мая 2012г. № 53 об утверждении Правил проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования;
- 2) Положения о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в Белорусском государственном университете № 382-ОД от 18.08.2015г.;
- 3) Письма министерства образования ректорам высших учебных заведений Республики Беларусь № 21-04-1/105 от 22.12.2003 о критерии оценки знаний и компетенции студентов по 10-бальной шкале.



**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ  
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**  
на \_\_\_\_/\_\_\_\_ учебный год

№п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
(протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 201 г.)

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н., профессор

(степень, звание)

\_\_\_\_\_

(подпись)

Г.И. Михасев

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

К.ф.-м.н., доцент

(степень, звание)

\_\_\_\_\_

(подпись)

Д.Г. Медведев

(И.О.Фамилия)

**Рецензия на учебную программу  
«Биомеханика и биоинформатика» для специальности второй  
ступени высшего образования (магистратуры) с углубленной  
подготовкой специалиста 1-31 80 04 Механика**

Учебная дисциплина «Биомеханика и биоинформатика» относится к циклу дисциплин специальной подготовки государственного компонента и адресована магистрантам 2-го года обучения по специальности 1-31 80 04 Механика механико-математического факультета Белорусского государственного университета.

Целью изучения данной дисциплины является формирование у студентов целостного представления о предмете биомеханики, как современного направления механики, в исследовании биологических и медицинских систем, знаний основных законов механики, термодинамики и теории информации, необходимых для моделирования биомеханических систем с учетом физических, тепловых и химических процессов протекающих в живом организме или искусственном органе; ознакомление с основными задачами и проблемами, возникающими в современной медицине и, в частности, в биомедицинской инженерии при разработке протезов некоторых структурных элементов организма; формирование у студентов навыков построения простейших математических моделей некоторых биомеханических систем с использованием основных законов механики.

Программа дисциплины «Биомеханика и биоинформатика» составлена с учетом межпредметных связей и программ по смежным дисциплинам. Ее изучение базируется на знаниях дисциплин «Теоретическая механика», «Механика сплошной среды», «Физика».

В соответствии с учебным планом специальности на изучение дисциплины всего отводится 120 часов, в том числе 42 часов аудиторных занятий; из них 20 часов – лекции, 20 часов – лабораторные занятия, 2 часа – УСР. Текущая аттестация – экзамен.

Данная учебная программа предназначена для студентов второй ступени высшего образования, основная специальность которых связана с математикой и механикой, и может быть рекомендована для планирования работы в Белгосуниверситете по специальности **1-31 80 04 Механика**.

доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры механики и  
конструирования  
Белорусского государственного  
технологического университета



Вихренко В.С.

Юридич. ст.
Вихренко В.С.
СЕК. Аудит
Старший инспектор по кадрам БДТУ
г.

## РЕЦЕНЗИЯ

на учебную программу учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине «Биомеханика и биоинформатика»  
для специальности второй ступени высшего образования (магистратуры)  
с углубленной подготовкой специалиста по специальности 1-31 80 04 Механика

Рецензируемая учебная программа в полной мере отвечает всем требованиям, предъявляемым к учебным программам для специальности второй ступени высшего образования (магистратуры) с углубленной подготовкой специалиста. Она полностью определяет структуру и содержание учебного курса подготовки специалистов в области механики и компьютерной механики в соответствии с требованиями, предъявляемыми образовательным стандартом Республики Беларусь. Программа рассчитана на один семестр и 42 часа аудиторных занятий, из них 20 часов – лекционные занятия, 20 часов – лабораторные занятия.

Программа включает пояснительную записку, тематический план, содержание учебной дисциплины, а также список основной и дополнительной литературы.

Пояснительная записка содержит характеристику учебной дисциплины и обоснование необходимости каждого из разделов программы для качественной и эффективной подготовки будущих специалистов. В ней также раскрывается необходимость и актуальность учебного курса «Биомеханика и биоинформатика» при изучении других основных и специальных учебных курсов, проведения научно-исследовательской работы.

Учебный материал в программе структурирован по разделам и темам. В течение семестра изучается восемь разделов курса: раздел 1 «Основные понятия и законы механики сплошных сред, термодинамики и теории информации в моделировании биомеханических структур», раздел 2 «Биомеханическое моделирование костной ткани на различных иерархических уровнях», раздел 3 «Математическое моделирование малых перемещений корня зуба в периодонтальной связке», раздел 4 «Механика стентирования сосудов», раздел 5 «Биомеханика зрения», раздел 6 «3D в медицинских и наноскопических изображениях», раздел 7 «Особенности свободных библиотек и программного обеспечения для анализа изображений и сигналов» и раздел 8 «Анализ и обработка био-наноизображений в республике Беларусь».

Предлагаемая учебная программа обеспечивает требуемую фундаментальность в подготовке выпускников механико-математического факультета и согласуется с программами по математическим предметам и предметам, связанным с изучением теоретической механики и механики сплошных сред.

Программа в полной мере соответствует образовательному стандарту для специальности «Механика» и может быть рекомендована в качестве учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Биомеханика и биоинформатика» для специальности второй ступени высшего образования (магистратуры) с углубленной подготовкой специалиста по специальности 1-31 80 04 Механика.

Кандидат физико-математических наук,  
заместитель директора по научной  
и инновационной работе Института  
прикладной физики Национальной  
академии наук Беларуси

  
Подпись Гаркун А.С. УДОСТОВЕРЯЮ:  
Ученый секретарь  
ИПФ НАН БЕЛАРУСИ М.В. Асаджая

А.С. Гаркун