

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор по образовательной  
деятельности

\_\_\_\_\_ С.Т. Князев  
«\_\_» \_\_\_\_\_

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1158090	Метаболическая инженерия

Екатеринбург

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Пищевая биотехнология 2. Молекулярная биотехнология и биоинженерия 3. Клеточные и генные технологии в косметологии, фармацевтике и медицине будущего	<b>Код ОП</b> 1. 19.04.01/33.02 2. 19.04.01/33.04 3. 19.04.01/33.05
<b>Направление подготовки</b> 1. Биотехнология	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 19.04.01

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Безматерных Максим Алексеевич	кандидат химических наук, доцент	Доцент	технологии органического синтеза

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ **Метаболическая инженерия**

## 1.1. Аннотация содержания модуля

В модуль входит дисциплина «Метаболическая инженерия». Дисциплина представляет собой широкий обзор метаболического инжиниринга с акцентом на то, как метаболизм индустриально значимых микроорганизмов функционирует, как существующие метаболические пути могут быть проанализированы, как полученное знание может быть использовано для того чтобы рационально изменить их, как новые метаболические пути могут быть вставлены в микроорганизмы с использованием методов рекомбинантной ДНК. Основами метаболического инжиниринга является комбинация аналитических методов количественного анализа метаболических потоков, анализа распределения метаболического контроля с методами молекулярной биологии с целью реализации предложенных генетических модификаций. Поэтому курс покрывает широкий спектр экспериментальных и теоретических подходов, начиная от количественных методов измерения метаболических потоков до молекулярных биологических методов биохимического инжиниринга и далее до анализа метаболических сетей (анализ распределения метаболических потоков и контроля среди них). Метаболический инжиниринг ведёт к пониманию метаболизма как интегральной сети и возможности рационального её использования. Курс рассчитан на обеспечение нужд химической, пищевой и фармацевтической индустрий для специалистов в области улучшения свойств индустриальных штаммов в направлении требований по повышению продуктивности и скорости формирования целевого продукта.

## 1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Метаболическая инженерия	3
ИТОГО по модулю:		3

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

<b>Пререквизиты модуля</b>	1. Информационно-аналитические методы в медицине, науке и образовании
<b>Постреквизиты и кореквизиты модуля</b>	1. Молекулярно-генетические методы в биотехнологии 2. Клеточные и генно-клеточные технологии

## 1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Метаболическая инженерия	УК-2 - Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	<p>З-1 - Демонстрировать понимание процессов управления проектом, планирования ресурсов, критерии оценки рисков и результатов проектной деятельности</p> <p>З-2 - Формулировать основные принципы формирования концепции проекта в сфере профессиональной деятельности</p> <p>У-1 - Формулировать актуальность, цели, задачи, обосновывать значимость проекта, выбирать стратегию для разработки концепции проекта в рамках обозначенной проблемы</p> <p>У-2 - Прогнозировать ожидаемые результаты и возможные сферы их применения в зависимости от типа проекта</p> <p>У-3 - Анализировать и оценивать риски и результаты проекта на каждом этапе его реализации и корректировать проект в соответствии с критериями, ресурсами и ограничениями</p> <p>П-1 - Составлять план проекта и график реализации, разрабатывать мероприятия по контролю его выполнения и оценки результатов проекта</p> <p>П-2 - Выбирать оптимальные способы решения конкретных задач проекта на каждом этапе его реализации на основе анализа и оценки рисков и их последствий с учетом ресурсов и ограничений</p> <p>Д-1 - Проявлять способность к поиску новой информации, умение принимать решения в нестандартных ситуациях</p> <p>Д-2 - Демонстрировать способность убеждать, аргументировать свою позицию</p>

### 1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной и очно-заочной формах.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Метаболическая инженерия**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Безматерных Максим Алексеевич	кандидат химических наук, доцент	Доцент	технологии органического синтеза

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Химико-технологический**

Протокол № 8 от 25.08.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Основы метаболического инжиниринга	Общие положения о метаболической инженерии. Расширение спектра используемых субстратов. Метаболическая инженерия в решении проблемы создания новых продуктов микробиологического синтеза
P2	Обзор клеточного метаболизма	Обзор клеточного метаболизма, транспортные реакции, реакции, питающие энергетический метаболизм, реакции биосинтеза, полимеризация, биохимия метаболических путей
P3	Моделирование клеточных реакций	Стехиометрия клеточных реакций, скорости реакций, динамический баланс масс, коэффициенты выхода и линейные уравнения скорости. Материальный баланс и соответствие данных: элементарный и окислительно-восстановительный балансы. Моделирование по принципу чёрного ящика, элементарный баланс, баланс степени восстановления, тепловой баланс, систематический анализ стехиометрии.
P4	Сеть биохимических реакций	Метаболические сети с расходящимися ветвями, формальные и на основе матрицы описания метаболических сетей, энергетика роста, энергетика аэробных и анаэробных процессов, метаболические потоки и их измерение.
P5	Примеры манипуляции путей. Метаболический инжиниринг в практике	Повышение выхода продукта и производительности (этанол, аминокислоты, растворители, антибиотики, секретируемые белки), универсальные химикаты, биоочистка, расширение субстратного диапазона, расширение спектра продукта и новые продукты, улучшение клеточных свойств, детоксификация,

		проектирование биотехнологических процессов (критерии для коммерческого успеха).
<b>P6</b>	Анализ потоков через метаболические сети	Выражение скорости формирования биомассы, структуры сетей и использованием измеряемых скоростей, использование меченых субстратов, переопределенные системы, недоопределенные систем, линейное программирование, анализ чувствительности. Структура модели и её сложность, общая структура кинетических моделей, неструктурированные кинетические модели роста, простые структурированные модели. Уравнение баланса популяции
<b>P7</b>	Оптимизация ферментационных сред	Традиционные методы изучения многофакторных зависимостей. Метод Бокса-Уилсона. Математические процедуры в методе Бокса-Уилсона. Статистическая оценка результатов. Заключительные этапы оптимизации среды. Многоуровневые планы эксперимента.
<b>P8</b>	Управление технологическими режимами периодических и непрерывных процессов	Проектирование процесса ферментации. Стационарные режимы, бэтч и фэд-бэтч процессы, не стационарные режимы, реакторы с поршневым потоком. Основные технологические параметры и управляющие воздействие в процессе ферментации. Формулирование задачи оптимизации профилей изменения режимных параметров во времени. Ступенчатые профили изменения режимных параметров периодической ферментации. Особенности регулирования концентрации субстрата в периодических и полупериодических процессах ферментации. Оптимизация времени завершения периодического процесса ферментации. Тубулярные и хемостатные процессы непрерывного культивирования. Сравнение производительности периодического и непрерывного процессов. Автоселекция в непрерывном процессе. Хемостат с рециркуляцией биомассы клеток. Двухстадийный хемостат. Метод импульсных добавок для подбора оптимальной среды. Непрерывное культивирование с внешним регулированием параметров. Преимущества и недостатки периодических, полупериодических и непрерывных методов

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
			-	-

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Метаболическая инженерия

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Решетняк, Е. П.; Синтез систем автоматического управления в биотехнологии методом стандартных коэффициентов; Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Вузовское образование, Саратов; 2006; <http://www.iprbookshop.ru/8158.html> (Электронное издание)
2. , Махмуткин, В. А., Танаева, Н. И.; Общая и фармацевтическая биотехнология : учебное пособие.; РЕАВИЗ, Самара; 2009; <http://www.iprbookshop.ru/10164.html> (Электронное издание)
3. Кадыров М.А., ; Селекционный процесс как объект оптимизационных исследований : идеи, реализация, приоритеты.; Белорусская наука, Минск; 2012; <http://www.iprbookshop.ru/29512.html> (Электронное издание)
4. Тихонов, Г. П.; Основы биотехнологии : методические рекомендации для самостоятельной подготовки студентов.; Московская государственная академия водного транспорта, Москва; 2009; <http://www.iprbookshop.ru/46298.html> (Электронное издание)
5. Рябкова, Г. В.; Biotechnology (Биотехнология) : учебно-методическое пособие.; Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань; 2012; <http://www.iprbookshop.ru/61942.html> (Электронное издание)
6. Алешина, Е. С.; Культивирование микроорганизмов как основа биотехнологического процесса : учебное пособие.; Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, Оренбург; 2017; <http://www.iprbookshop.ru/71282.html> (Электронное издание)
7. ; Теоретические и практические аспекты использования биотехнологии и генной инженерии : учебное пособие.; Ай Пи Эр Медиа, Саратов; 2018; <http://www.iprbookshop.ru/73635.html> (Электронное издание)
8. , Чечина, О. Н.; Промышленная ферментация : практикум.; Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, Самара; 2018; <http://www.iprbookshop.ru/90888.html> (Электронное издание)
9. Миронов, П. В.; Моделирование и масштабирование биотехнологических процессов : учебное пособие для студентов магистратуры по направлению подготовки 19.04.01 «биотехнология» всех форм обучения.; Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Красноярск; 2017; <http://www.iprbookshop.ru/94889.html> (Электронное издание)

### **Печатные издания**

1. Бирюков, В. В.; Основы промышленной биотехнологии : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям "Охрана окружающей среды и рацион. использование природ. ресурсов" и "Машины и аппараты хим. пр-в".; КолосС : Химия, Москва; 2004 (44 экз.)
2. Егорова, Т. А.; Основы биотехнологии : Учеб. пособие для вузов.; Академия, Москва; 2003 (59 экз.)
3. , Егоров, Н. С., Самуилов, В. Д.; Биотехнология Кн. 4. Автоматизация биотехнологических исследований ; Высшая школа, Москва; 1987 (50 экз.)
4. , Егоров, Н. С., Самуилов, В. Д.; Современные методы создания промышленных штаммов микроорганизмов : в 8 книгах.; Высшая школа, Москва; 1988 (49 экз.)
5. Allott, A.; Biology for the IB diploma. Standart and higher level; Oxford university press, Oxford; 2007 (15 экз.)
6. Бейли, Д. Э., Джеймс Э., Кирюшкин, А. А.; [Ч.] 2 : в 2 частях.; Мир, Москва; 1989 (3 экз.)

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ [www.study.urfu.ru](http://www.study.urfu.ru)

Электронная библиотека SOL <http://gse.publisher.ingentaconnect.com>



Электронные ресурсы зональной библиотеки УрФУ <http://lib.urfu.ru>

<http://www.biengi.ac.ru> Сайт научного совета по биотехнологии (Центр «Биоинженерия») Российской академии наук (ЦБ РАН).

<http://www.eimb.relarn.ru> Институт молекулярной биологии им. Энгельгардта (Москва).

Молекулярная биология клетки – <http://lib.e-science.ru/book/104/cont/>.

Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) – <http://www.viniti.msk.su/>.

### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

<http://www.cato.com/biotech> Виртуальная библиотека «Biotechnology Information Directory Service».

<http://www.bio.com> База данных

<http://www.biengi.ac.ru> Сайт научного совета по биотехнологии (Центр «Биоинженерия») Российской академии наук (ЦБ РАН).

<http://www.eimb.relarn.ru> Институт молекулярной биологии им. Энгельгардта (Москва).

## **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Метаболическая инженерия**

#### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

<b>№ п/п</b>	<b>Виды занятий</b>	<b>Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа</b>
1	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

		<p>процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> <p>Google chrome</p>	
2	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> <p>Google chrome</p>	Office 365 EDUA5 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> <p>Google chrome</p>	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
4	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> <p>Google chrome</p>	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES