

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Химии и биотехнологии имени В.В. Тутуриной (135)»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №16 от 18 мая 2026 г.

Рабочая программа дисциплины

«ИНЖЕНЕРНАЯ ЭНЗИМОЛОГИЯ»

Направление: 19.03.01 Биотехнология

Промышленная биотехнология

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой
электронной подписью
Составитель программы:
Сипкина Евгения
Иннокентьевна
Дата подписания: 19.06.2026

Документ подписан простой
электронной подписью
Утвердил: Евстафьев Сергей
Николаевич
Дата подписания: 22.06.2026

Документ подписан простой
электронной подписью
Согласовал: Лозовая Татьяна
Сергеевна
Дата подписания: 21.06.2026

Год набора – 2026

Иркутск, 2026 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Инженерная энзимология» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ДК-1 Способность осуществлять деятельность, находящуюся за пределами основной профессиональной сферы	ДК-1.1

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ДК-1.1	Владеет принципами создания и получения высокоэффективных ферментов для промышленного использования	Знать Знать фундаментальные разделы биокатализа в объеме, необходимом для понимания основных закономерностей биотехнологических, биохимических процессов с целью управления процессами Уметь Уметь определять активность ферментов при оценке и контроле сырья, процессов ферментации, выделения и очистки целевых продуктов Владеть Владеть навыками определения активности биокатализаторов различными методами; принципами управления ферментативными системами.

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Инженерная энзимология» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Выделение и очистка целевых продуктов», «Промышленная биотехнология», «Фармацевтическая биотехнология», «Химия биотехнологического сырья и целевых продуктов»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Биохимия и молекулярная биология», «Основы биотехнологии»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 6
Общая трудоемкость дисциплины	108	108
Аудиторные занятия, в том числе:	48	48

лекции	16	16
лабораторные работы	32	32
практические/семинарские занятия	0	0
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	60	60
Трудоемкость промежуточной аттестации	0	0
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет	Зачет

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 6

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Введение. Строение, свойства и кинетика ферментов	1	3	1, 2, 3	8			3, 4	30	Тест
2	Получение и промышленное производство ферментов.	4	3	5, 10	4					Тест
3	Классификация, стандартизация и контроль качества ферментных препаратов	2	4	4, 6, 7, 8, 9, 11	20			1, 2	30	Тест
4	Иммунизация ферментов и промышленные биореакторы	3	3							Тест
5	Применение ферментов в промышленности	5	3							Тест
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего		16		32				60	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 6

№	Тема	Краткое содержание
1	Введение. Строение, свойства и кинетика ферментов	Введение в инженерную энзимологию. История развития, цели и задачи в контексте промышленной биотехнологии. Тема 1.1. Ферменты как биологические

		катализаторы: история открытия, современные представления. Номенклатура и систематическая классификация. Тема 1.2. Строение ферментов: первичная, вторичная, третичная, четвертичная структуры. Активный центр, аллостерический центр. Кофакторы, коферменты, простетические группы. Тема 1.3. Физико-химические свойства: специфичность, чувствительность к pH, температуре, ионной силе. Тема 1.4. Кинетика ферментативных реакций. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Константы K_m, V_{max}. Графические методы (Лайнуивера-Берка, Иди-Хофсти). Ингибирование и активация ферментов: обратимое и необратимое, конкурентное и неконкурентное, практическое значение в регулировании процессов. Тема 1.5. Методы определения активности ферментов. Единицы измерения активности. Принципы ферментативного анализа сырья и полуфабрикатов.
2	Получение и промышленное производство ферментов.	Тема 2.1. Источники получения ферментов: растительное сырьё (солод, папайя, ананас), животное сырьё (поджелудочная железа, сычуг, слизистые), микроорганизмы (бактерии: <i>Bacillus subtilis</i>, <i>Bacillus licheniformis</i>; грибы: <i>Aspergillus niger</i>, <i>Trichoderma reesei</i>; дрожжи: <i>Saccharomyces cerevisiae</i>). Продуценты промышленных ферментов: свойства, требования, методы повышения продуктивности. Тема 2.2. Технологические схемы производства ферментных препаратов – Стадии: подготовка питательных сред, стерилизация, получение посевного материала. – Способы культивирования: глубинное и поверхностное. Характеристика, преимущества, недостатки. – Выделение и очистка: отделение биомассы (центрифугирование, фильтрация), осаждение (сульфатом аммония, органическими растворителями), ультрафильтрация, хроматография (ионообменная, гель-фильтрация), аффинная хроматография. – Концентрирование и стабилизация: лиофилизация, распылительная сушка, гранулирование. Условия хранения.
3	Классификация, стандартизация и контроль качества ферментных препаратов	Тема 3.1. Классификация ферментных препаратов – По происхождению: микробные, растительные, животные. – По степени очистки: технические (неочищенные), очищенные, высокоочищенные

		(аналитические). – По агрегатному состоянию: жидкие, сухие (порошкообразные, гранулированные). – По целевому назначению: пищевые, кормовые, технические, лечебно-профилактические, диагностические. – По способу культивирования: глубинные, поверхностные. – По активности (Ед/мл, Ед/г). Тема 3.2. Стандартизация и контроль качества – Определение ферментативной активности. Удельная активность. – Стабильность: операционная, термостабильность, рН-стабильность, стабильность при хранении – Токсикологическая безопасность: острая токсичность, аллергенность, отсутствие антибиотической активности, микотоксинов. – Микробиологическая чистота: нормы содержания БГКП, сальмонелл, золотистого стафилококка, плесневых грибов. – Нормативная документация: ГОСТ, ТУ, фармакопейные статьи.
4	Иммобилизация ферментов и промышленные биореакторы	Тема 4.1. Иммобилизация ферментов: цель, преимущества. Носители для иммобилизации: природные (целлюлоза, агароза, желатин, альгинаты), синтетические (полиакриламид, полиуретан, полистирол), неорганические (силикагель, керамика, цеолиты). Тема 4.2. Методы иммобилизации: физические (адсорбция, включение в гели и др.), химические (ковалентная пришивка, сшивка бифункциональными реагентами, др.). Влияние иммобилизации на кинетические свойства ферментов. Тема 4.3. Промышленные реакторы с иммобилизованными ферментами: – Типы реакторов: колонные с неподвижным слоем, реакторы с псевдоожиженным слоем, реакторы с перемешиванием, мембранные реакторы. – Экономическая эффективность: количество циклов использования, удельная производительность, снижение себестоимости продукта.
5	Применение ферментов в промышленности	Тема 5.1. Пищевая промышленность: – Крахмалоперерабатывающая: α-амилаза, глюкоамилаза, глюкоизомеразы (получение глюкозных сиропов, фруктозы). – Пивоварение и спиртовая: амилазы, протеазы, β-глюканазы, β-глюкозидазы.

	– Хлебопечение: α-амилаза (улучшение пористости), ксиланаза, липаза. – Молочная: химазин (реннин), лактаза (производство безлактозных продуктов). – Масложировая: липазы (модификация жиров, производство биодизеля). – Соковая и виноделие: пектиназы, целлюлазы, β-глюканазы. Тема 5.2. Фармацевтическая промышленность и биомедицина: – Терапевтические ферменты: панкреатин, трипсин, химотрипсин, стрептокиназа (тромболизис), L-аспарагиназа (противоопухолевая), рибонуклеаза. – Ферменты в аналитике: иммуноферментный анализ (ИФА), биосенсоры (глюкозооксидазный датчик), диагностические наборы (АЛТ, АСТ, ЛДГ). – Промышленный биокатализ субстанций: пенициллинамидаза (получение 6-АПК для полусинтетических антибиотиков), липазы для синтеза хиральных промежуточных соединений. Тема 5.3. Сельское хозяйство: – Кормовые добавки: фитазы (усвоение фосфора), ксиланазы, β-глюканазы (разрушение антипитательных веществ зерновых), протеазы, амилазы. – Растениеводство: хитиназы и β-1,3-глюканазы для защиты от фитопатогенных грибов; обработка семян и растительных остатков. – Биоремедиация почв: ферментная деградация пестицидов (фосфатазы, лакказы, пероксидазы). Тема 5.4. Другие отрасли: – Текстильная: амилазы (шлихтование), целлюлазы (биополировка), каталазы (удаление перекиси). – Целлюлозно-бумажная: ксиланазы, лигнинпероксидазы (отбеливание целлюлозы, уменьшение хлора). – Биоэнергетика: целлюлазы, лигниназы (получение биоэтанола из лигноцеллюлозного сырья); метаногенные ферменты в производстве биогаза. – Экология: очистка сточных вод (пероксидазы, лакказы), деградация ксенобиотиков.
--	--

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 6

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Получение сахаразы из дрожжей и изучение ее специфичности	4
2	Качественные реакции на присутствие ферментов	2
3	Определение активности каталазы солода по Баху и Опарину	2
4	Определение амилалитической активности ферментного препарата амилосубтилина	2
5	Влияние активаторов и ингибиторов на активность ферментов	2
6	Определение глюкоамилазной активности ферментного препарата глюкаваморина	2
7	Определение активности липазы титриметрическим способом	4
8	Определение активности цитологических ферментов солода	4
9	Определение активности протеолитических ферментов	4
10	Кинетика ферментативных реакций. Влияние условий и регуляторов.	2
11	Выделение и очистка алкогольдегидрогеназы из солода	4

4.4 Перечень практических занятий

Практических занятий не предусмотрено

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 6

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	15
2	Подготовка к зачёту	15
3	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	15
4	Подготовка к сдаче и защите отчетов	15

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: вебинар

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Прикладная энзимология [Электронный ресурс] : лабораторный практикум / Иркут. гос. техн. ун-т, 2008. - 46. <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-5705.pdf>

5.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Самостоятельная работа проводится с целью закрепления и углубления знаний по дисциплине и предусматривает следующие элементы:
Оформление отчетов по лабораторным работам
Цель работы: Закрепить полученные умения и навыки.
Задание: Подготовить отчет по практической работе.
Требования к отчетным материалам:
Отчет по выполнению лабораторной работы состоит из теоретического введения по теме анализа, ходе выполнения работы, результатов проведенного исследования по теме.
Подготовка к сдаче и защите отчетов
Цель работы: Закрепить полученные умения и навыки.
Задание: Подготовиться к защите подготовленных отчетов.
Защита отчетных материалов
При защите отчетов преподавателем проверяется: правильность и точность проведения анализа, знание теоретического материала необходимого для выполнения исследования.
Подготовка к зачету
Цель работы: Подготовиться к сдаче зачета. Зачет проводится в форме устного опроса с использованием уравнений и структурных формул, изображенных студентом на листе при подготовке к промежуточной аттестации.
Основные рекомендации по выполнению заданий: Подготовка к зачету выполняется студентами самостоятельно, используя материал лекционного курса, практических работ и дополнительный материал.

Прикладная энзимология [Электронный ресурс] : методические указания для самостоятельной работы студентов / Иркут. гос. техн. ун-т, 2008. 48 с.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 6 | Тест

Описание процедуры.

Промежуточная аттестация проводится в сроки, установленные графиком учебного процесса и расписанием зачетно-экзаменационных сессий. Предварительно составляется график консультаций, во время которой преподаватель ознакомит с основными вопросами промежуточной аттестации и даст разъяснения при возникновении вопросов со стороны студентов. Промежуточная аттестация начинается в указанное в расписании время и проводится в отведенной для этого аудитории. Предварительно преподаватель на консульта-

ции ознакомил студентов с основными вопросами промежуточной консультации. Критерии оценки ответа студента на зачете, а также форма его проведения доводятся преподавателем до сведения студентов. Промежуточная аттестация проводится с целью оценки качества усвоения студентами всего объема содержания дисциплины и определения фактически достигнутых знаний, навыков и умений, а также компетенций, сформированных за время аудиторных занятий и самостоятельной работы студента. Преподаватель принимает экзамен только при наличии ведомости и надлежащим образом оформленной зачетной книжки. Результат является студенту непосредственно после его сдачи, затем выставляется в ведомость и зачетную книжку студента. В случае неявки студента для сдачи в ведомости вместо оценки делается запись «не явился».

Критерии оценивания.

Зачтено:

Ответы на поставленные вопросы излагаются систематизировано и последовательно. Материал излагается уверенно. Раскрыты причинно-следственные связи между явлениями и событиями. Демонстрирует знания и роли биокатализаторов в технологии. Умеет определять и анализировать активность основных ферментативных процессов. Способен использовать специализированные знания в области биокатализа в профессиональной деятельности. Демонстрирует знание классов ферментов и роли биокатализаторов в технологии производства продуктов из растительного сырья. Умеет охарактеризовать основные биокаталитические процессы, происходящие при производстве продуктов питания.

Не зачтено :

Материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний по дисциплине. Не раскрываются причинно-следственные связи между явлениями и ями. Не проводится анализ. Выводы отсутствуют. Ответы на дополнительные вопросы отсутствуют. Имеются заметные нарушения норм литературной речи.

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ДК-1.1	Владеет принципами создания и получения высокоэффективных ферментов для промышленного использования	Устный опрос

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 6, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине:

1. Ферменты как биологические катализаторы.
2. Классификация и номенклатура ферментов.
3. Физико-химические свойства ферментов.
4. Строение и топография активного центра ферментов.
5. Выделение, очистка и концентрирование ферментов.
6. Способы определения активности ферментов.
7. Единицы активности ферментов.
8. Специфичность действия ферментов.
9. Коферменты.
10. Способы стабилизации и хранения ферментов.
11. Классификация и номенклатура ферментных препаратов.
12. Влияние концентрации субстрата и фермента на скорость ферментативной реакции.
13. Зависимость скорости ферментативных реакций температуры и pH среды.
14. Уравнение Михаэлиса-Ментен, Лаинувера-Берка. 15. Графические расчеты каталитических констант.
16. Механизмы действия ферментов различных классов.
17. Регуляция активности ферментов.
18. Иммобилизация ферментов. Носители и методы иммобилизации.
19. Влияние способов иммобилизации на физико-химические свойства ферментов.
20. Применение иммобилизованных ферментов в пищевой промышленности.
21. Ферментные препараты. классификация, получение и применение.
22. Ферментные препараты. Классификация, получение и применение.
23. Ферменты растительного сырья.
24. Ферменты животного сырья.
25. Ферменты микроорганизмов.
26. Ферментативные процессы и применение ферментов при получении пищевых продуктов.
27. Ферментативные процессы и применение ферментов при получении лекарственных средств.
28. Ферментативные процессы и применение ферментов при очистке воды, воздуха, почвы.
29. Ферментативные процессы и применение ферментов в биоэнергетике.
30. Ферментативные процессы и применение ферментов в сельском хозяйстве.
31. Ферментативные процессы и применение ферментов в биогeотехнологии.
32. Ферментативные процессы и применение ферментов в химической промышленности.
33. Аспекты применения ферментов, связанные с их безопасностью.
34. Ферментативные процессы при хранении муки.
35. Ферментативный лизис дрожжей и мицелиальных грибов.
36. Ферментативный гидролиз запасных и структурных полисахаридов.
37. Ферментативный гидролиз белков растительного и животного сырья.
38. Ферментативный гидролиз липидов.
39. Микроорганизмы как продуцента ферментов.

40. Ферментные препараты из различных видов сырья.
41. Ферментативные процессы при переработке отходов.
42. Принципы управления ферментативными процессами в биотехнологических производствах.

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
Ответы на поставленные вопросы излагаются систематизировано и последовательно. Материал излагается уверенно. Раскрыты причинно-следственные связи между явлениями и событиями. Демонстрирует знания и роли биокатализаторов в технологии. Умеет определять и анализировать актив- Материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний по дисциплине. Не раскрываются причинно-следственные связи между явлениями и событиями. Основных ферментативных процессов. Способен использовать специализированные знания в области биокатализа в профессиональной деятельности. Демонстрирует знание классов ферментов и роли биокатализаторов в технологии производства продуктов из растительного сырья. Умеет охарактеризовать основные биокаталитические процессы, происходящие при производстве продуктов питания.	Материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний по дисциплине. Не раскрываются причинно-следственные связи между явлениями и событиями. Не проводится анализ. Выводы отсутствуют. Ответы на дополнительные вопросы отсутствуют. Имеются заметные нарушения норм литературной речи.

7 Основная учебная литература

1. Биссвангер Х. Практическая энзимология : учебное пособие / Х. Биссвангер, 2011. - 328.
 2. Верхотуров В. В. Прикладная энзимология : лабораторный практикум по направлению "Производство продуктов питания из растительного сырья" / В. В. Верхотуров, 2007. - 46.
- [Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-1651.pdf>

3. Фаллер Д. М. Молекулярная биология клетки : руководство для врачей / Д. М. Фаллер, Д. Шилдс, 2012. - 256.
4. Комов В. П. Биохимия : учеб. для вузов по направлению 655500 "Биотехнология" / В. П. Комов, В. Н. Шведова, 2004. - 638.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Кислухина Ольга Владимировна. Ферменты в производстве пищи и кормов / О. В. Кислухина, 2002. - 335.
2. Верхотуров. Сборник вопросов и задач по биологической химии : учебное пособие : [в 2-х ч.]. Ч. 1 : Белки. Ферменты. Нуклеиновые кислоты, 2002. - 48.
- [Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-2242.pdf>
3. Березин И. В. Ферменты - химические катализаторы? / И. В. Березин, А. А. Клесов, 1971. - 48.
4. Введение в прикладную энзимологию. Имобилизованные ферменты : учебное пособие для химических и биологических специальностей университетов / под ред. И. В. Березина, К. Мартинека, 1982. - 384.
5. Лихтенштейн Г. И. Многоядерные окислительно-восстановительные металлоферменты / Г. И. Лихтенштейн, 1979. - 324.
6. Промышленный биокатализ [Электронный ресурс] : методические указания / Иркут. гос. техн. ун-т, 2012. - 49.

[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-4744.pdf>

7. Румянцева Г. Н. Биокатализ: концепция и практическое использование : учебное пособие для вузов по направлению подготовки дипломированных специалистов по специальностям "Биотехнология" и "Пищевая биотехнология" / Г. Н. Румянцева, Н. И. Дунченко, 2010. - 117.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Свободно распространяемое программное обеспечение Microsoft Windows (Подписка DreamSpark Premium Electronic Software Delivery (3 years). Сублицензионный договор №14527/МОС2957 от 18.08.16г.)

2. Свободно распространяемое программное обеспечение Microsoft Office

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Сушильный шкаф "СП-1"

2. Универсальная испытательная машина AGS-10KNX

3. Весы аналитические ATL-220d4-1

4. Спектрофотометр ПЭ-5400В

5. магнитная мешалка

6. Охлаждающий/нагревающий термостат циркулятор E12-ЕН