

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
Математического и прикладного анализа
А.И. Шашкин
21.03.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.17 Комплексный анализ

1. Код и наименование подготовки:

01.03.02 Прикладная математика и информатика

2. Профиль подготовки:

Прикладная математика и компьютерные технологии

3. Квалификация выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: математического и прикладного анализа

6. Составители программы: д.ф.м. н., проф. Шашкин А.И., д.ф.м. н., доцент Половинкин И.П., к. ф.-м. н., доц. Сухочева Л.И., к. ф.-м. н., доц. Стенюхин Л.В.

7. Рекомендована: НМС факультета Прикладной математики, информатики и механики протокол № 6 от 17.03.2025 г.

8. Учебный год: 2026/2027

Семестр: 4

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- изучение основных понятий и методов теории функций комплексной переменной и примеров их применения при решении задач.

Задачи учебной дисциплины:

- научить студентов владеть теоретическим материалом, решать задачи, использовать методы и теоремы комплексного анализа при решении прикладных задач.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП:

Учебная дисциплина Комплексный анализ относится к обязательной части Блока 1. Дисциплина «Комплексный анализ» базируется на знаниях, полученных в рамках школьного курса «Математика» или соответствующих математических дисциплин среднего профессионального образования, использующих соответствующие количественные методы, а также курсов математического анализа и логики.

Приобретенные в результате обучения знания, умения и навыки является основанием для успешного изучения как дальнейших базовых курсов, так и специальных курсов, приобретенные знания могут быть полезны в научно-исследовательской работе.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	Способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.4 ОПК-1.5	Обладает теоретическими знаниями в области математического и комплексного анализа и умеет их использовать в профессиональной деятельности, Умеет применять основные понятия и закономерности к решению типовых задач математического и комплексного анализа	Знать: - базовые понятия фундаментальной математики Уметь: - использовать базовые знания, полученные в области математических и (или) естественных наук в профессиональной деятельности. Владеть: - навыками выбора методов решения задач профессиональной деятельности на основе теоретических знаний.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 4/ 144.

Форма промежуточной аттестации экзамен.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			4 семестр		
Аудиторные занятия		68	68		
в том числе:	лекции	34	34		
	практические	34	34		
	лабораторные				
Самостоятельная работа		40	40		
Форма промежуточной аттестации - экзамен – 36 час.		36	36		
Итого:		144	216		

13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1. Лекции			
1.1	Комплексные числа. Комплексная плоскость.	Комплексные числа, комплексная плоскость; модуль и аргумент комплексного числа, их свойства; числовые последовательности и их пределы, ряды; стереографическая проекция, ее свойства; сфера Римана, расширенная комплексная плоскость; множества на плоскости, области и кривые.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=6626
1.2	Функции комплексного переменного и отображения множеств.	Функции комплексной переменной; предел функции; непрерывность; дифференцируемость функции в смысле комплексного анализа; геометрический смысл аргумента и модуля производной; аналитическая функция; условия Коши-Римана; понятие о конформном отображении.	
1.3	Элементарные функции.	Целая линейная и дробно-линейная функции, их свойства; экспонента и логарифм, степень с произвольным показателем; тригонометрические.	
1.4	Интеграл по комплексному переменному.	Интеграл по комплексному переменному, его простейшие свойства, связь с криволинейными интегралами 2-го рода; сведение к интегралу по действительному переменному; первообразная функция, формула Ньютона-Лейбница; переход к пределу под знаком интеграла; интегральная теорема Коши.	
1.5	Интеграл Коши.	Интегральная формула Коши; бесконечная дифференцируемость аналитических функций, формулы Коши для производных; теорема Мореры.	
1.6	Последовательности и ряды аналитических функций.	Последовательности и ряды аналитических функций в области: теорема Вейерштрасса; степенные ряды; теорема Абеля, формула Коши-Адамара; разложение аналитической функции в степенной ряд, единственность разложения; действия со степенными рядами.	

1.7	Теорема единственности и принцип максимума модуля.	Нули аналитической функции, порядок нуля; теорема единственности для аналитических функций; принцип максимума модуля и лемма Шварца.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=6626
1.8	Ряд Лорана.	Ряд Лорана, область его сходимости; разложение аналитической функции в ряд Лорана, единственность разложения.	
1.9	Изолированные особые точки однозначного характера.	Определения. Классификация изолированных особых точек однозначного характера по поведению функции и ряду Лорана; теорема Лиувилля и теорема об устранимой особой точке; полюс, порядок полюса; существенно особая точка, теорема Сохоцкого-Вейерштрасса, понятие о теореме Пикара; бесконечно удаленная точка как особая.	
1.10	Вычеты.	Определение вычета, теоремы Коши о вычетах, вычисления вычетов; применения вычетов.	
1.11	Точки ветвления. Логарифмическая производная	Логарифмическая функция. Точка логарифмического ветвления. Степенная функция с произвольным показателем степени. Точка алгебраического ветвления. Логарифмическая производная и ее свойства.	
2.			
2.1	Комплексные числа. Комплексная плоскость.	Комплексные числа, комплексная плоскость; модуль и аргумент комплексного числа, их свойства; Алгебраическая и тригонометрическая форма записи комплексного числа. Формулы Муавра извлечения корней из комплексных чисел числовые последовательности и их пределы, ряды; стереографическая проекция, ее свойства; сфера Римана, расширенная комплексная плоскость.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=6626
2.2	Функции комплексного переменного и отображения множеств.	Функции комплексного переменного; предел функции; непрерывность; дифференцируемость функции в смысле комплексного анализа; условия Коши-Римана.	
2.3	Элементарные функции.	Целая линейная и дробно-линейная функции, их свойства, общий вид дробно-линейного отображения круга на себя и верхней полуплоскости на круг; экспонента и логарифм, степень с произвольным показателем; функций; функция Жуковского; тригонометрические и гиперболические функции.	
2.4	Интеграл по комплексному переменному.	Интеграл по комплексному переменному, его простейшие свойства, связь с криволинейными интегралами и 2-го рода; сведение к интегралу по действительному переменному; первообразная функция, формула Ньютона-Лейбница; интегральная теорема Коши.	
2.5	Интеграл Коши.	Интегральная формула Коши; формулы Коши для производных.	
2.6	Последовательности и ряды аналитических функций.	Последовательности и ряды аналитических функций в области: теорема Вейерштрасса; степенные ряды; теорема Абеля, формула Коши-Адамара; разложение аналитической функции в степенной ряд, единственность разложения; формула Тейлора. Действия со степенными рядами.	

2.7	Теорема единственности и принцип максимума модуля.	Нули аналитической функции, порядок нуля; теорема единственности для аналитических функций; принцип максимума модуля и лемма Шварца.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=6626
2.8	Ряд Лорана.	Ряд Лорана, область его сходимости; разложение аналитической функции в ряд Лорана, единственность разложения.	
2.9	Изолированные особые точки однозначного характера.	Определения. Классификация изолированных особых точек однозначного характера по поведению функции и ряду Лорана; теорема об устранимой особой точке; полюс, порядок полюса; существенно особая точка, теорема Сохоцкого-Вейерштрасса; бесконечно удаленная точка как особая.	
2.10	Вычеты,	Определение вычета, теоремы Коши о вычетах, вычисления вычетов; теорема о полной сумме вычетов. Вычисление интегралов с помощью вычетов.	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Комплексные числа. Комплексная плоскость	6	4	-	4	14
2	Функции комплексного переменного и отображение множеств	6	4	-	4	14
3	Элементарные функции	4	4	-	4	12
4	Интеграл по комплексному переменному.	2	2	-	4	8
5	Интеграл Коши.	2	2	-	4	8
6	Последовательности и ряды аналитических функций.	4	4	-	4	12
7	Теорема единственности и принцип максимума модуля.	0	2	-	2	4
8	Ряд Лорана.	2	4	-	6	12
9	Изолированные особые точки однозначного характера.	2	2	-	2	6
10	Вычеты, принцип аргумента.	5	6	-	4	15
11	Точки ветвления. Логарифмическая производная	1	0	-	2	3
12	Подготовка к экзамену					36
Итого		34	34	-	40	144

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В процессе преподавания дисциплины используются такие виды учебной работы, как лекции, практические занятия, а также различные виды самостоятельной работы обучающихся. На лекциях излагаются ключевые и проблемные вопросы дисциплины. Проведение практических занятий направлено на закрепление теоретических знаний, умение применять их при решении практических задач. Для успешного и качественного освоения дисциплины необходима планомерная, повседневная самостоятельная работа.

При изучении курса «Комплексный анализ» обучающимся следует внимательно слушать и конспектировать материал, излагаемый в ходе аудиторных занятий. Обращать внимание на определения, формулировки теорем, научные выводы и практические

рекомендации. Для понимания и качественного усвоения учебного материала рекомендуется следующая последовательность действий.

1. После каждой лекции рекомендуется подробно разобрать теоретический материал, выучить все определения и формулировки теорем, разобрать примеры. Перед следующей лекцией обязательно повторить материал предыдущей.

2. Важной составной частью освоения дисциплины являются практические занятия, которые требуют помимо знаний теоретического материала еще и навыков решения практических задач, что помогает глубже усвоить учебный материал, приобрести практические навыки и навыки творческой работы над учебной и научной литературой.

При подготовке к практическим занятиям следует повторить основные понятия по темам, рассмотреть примеры. Решая задачи, предварительно понять какой теоретический материал нужно использовать. Наметить план решения, попробовать на его основе решить практические задачи.

На практическом занятии каждый его участник должен быть готовым к ответам на все теоретические вопросы рассматриваемой темы. На последнем практическом занятии проводится итоговая контрольная работа.

3. С целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций следует задавать преподавателю уточняющие вопросы.

4. Работа с основной и дополнительной литературой по дисциплине в библиотеке или в системе «Электронный университет».

5. Рекомендуется ознакомиться с настоящей Рабочей программой дисциплины.

При подготовке к лекционным и практическим занятиям, обучающимся важно помнить, что их задача, отвечая на основные вопросы плана занятия и дополнительные вопросы преподавателя, показать свои знания и кругозор, умение логически построить ответ, владение математическим аппаратом и иные коммуникативные навыки, умение отстаивать свою профессиональную позицию.

Освоение дисциплины предполагает не только обязательное посещение аудиторных занятий (лекций и практических занятий) и активную работу на них, но и регулярную самостоятельную учебную деятельность в течении семестра, на которую отводится 40 часов: изучение, рекомендуемой литературы, самостоятельное освоение понятийного аппарата, подготовку к практическим занятиям, выполнение индивидуальных заданий, подготовку к экзамену.

Все выполняемые студентами самостоятельно задания подлежат последующей проверке преподавателем. Для успешной самостоятельной работы необходим тесный контакт с преподавателем. Результаты текущих аттестаций учитываются преподавателем при проведении промежуточной аттестации - экзамен.

Успешное освоение курса предполагает активное, творческое участие студента путем планомерной, повседневной работы.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Лаврентьев М.А. Методы теории функций комплексного переменного / М.А.Лаврентьев, Б.В.Шабат - М: Наука, 2002. - 736 с.
2	Свешников А.Г. Теория функций комплексного переменного / А.Г.Свешников, А.Н.Тихонов - М.: Наука, 2001. - 320 с.
3	Привалов И.И. Введение в теорию функций комплексного переменного //Изд-во «Лань»: ЭБС. – URL: https://e.lanbook.com/book/322#book_name

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Маркушевич А.И. Краткий курс теории аналитических функций / А.И. Маркушевич - М.: Наука, 1978. - 388 с.

5	<i>Евграфов М.А. Аналитические функции/ М.А.Евграфов. - М.: Наука, 1965. - 424 с.</i>
6	<i>Сборник задач по теории аналитических функций / М.А.Евграфов, К.А.Бежанов, Ю.В.Сидоров и др.; Под ред. М.А.Евграфова - М.: Наука, 1972. - 286 с.</i>
7	<i>Данко П.Е. Высшая математика в упражнениях и задачах. / П.Е.Данко, А.Г.Попов, Т.Я.Кожевникова. - М.: Высшая школа, 1997. - Ч.2. - 416 с.</i>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет :

№ п/п	Источник
8	<i>Привалов И.И. Введение в теорию функций комплексного переменного //Изд-во «Лань»: ЭБС. – URL: https://e.lanbook.com/book/322#book_name</i>
9	<i>http://www.math.vsu.ru – официальный сайт математического факультета ВГУ</i>
10	<i>http://www.math.msu.ru – официальный сайт мехмата МГУ</i>
11	<i>e.lanbook.com</i>
12	<i>Комплексный анализ — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=6626</i>

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

Курс дисциплины построен таким образом, чтобы позволить студентам максимально проявить способность к самостоятельной работе. Студент может дополнить список использованной литературы иными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании курсовых и дипломных работ.

№ п/п	Источник
1	<i>Волковський Л.І. Сборник задач по теории функций комплексного переменного: Учеб. пособие для студ. вузов/ Л.І. Волковський, Г.Л.Лунц, И.Г.Араманович. - 4-е изд., перераб. - М.: Физматлит, 2002. - 312 с.</i>
2	<i>Комплексный анализ — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=6626</i>

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При реализации дисциплины используются следующие образовательные технологии: логическое построение дисциплины, установление межпредметных связей, обозначение теоретического и практического компонентов в учебном материале, включение элементов дистанционных образовательных технологий.

Изложение учебного материала основано на принципе системности, преемственности и последовательности и направлено на развитие интеллектуальных умений, профессиональных компетенций, формирование творческой личности высококвалифицированного специалиста, способного к саморазвитию, самообразованию, инновационной деятельности. Важнейшая цель преподавателя – систематизация большого объема теоретического материала и обучение студента умению ориентироваться в этом материале.

Рекомендуется использование, как традиционных форм организации лекционного материала, так и внедрение таких интерактивных технологий, как проблемная лекция, когда знания вводятся как «неизвестное», которое необходимо «открыть».

Дисциплина реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, для организации самостоятельной работы обучающихся используется онлайн-курс, размещенный на платформе Электронного университета ВГУ (LMS moodle), а также другие Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория для проведения лекций: специализированная мебель, компьютер (ноутбук), мультимедийное оборудование (проектор, экран, средства звуковоспроизведения), допускается переносное оборудование, доска меловая (маркерная).

ОС Windows 8 (10), интернет-браузер (Google Chrome, Mozilla Firefox), ПО Adobe Reader (или аналог), пакет стандартных офисных программ для работы с документами (MS Office, Мой Офис, Libre Office)

Учебная аудитория для практических занятий, текущей и промежуточной аттестации, организации самостоятельной работы: специализированная мебель, персональные компьютеры в количестве, обеспечивающем возможность индивидуальной работы, компьютер преподавателя, мультимедийное оборудование (проектор, экран, средства звуковоспроизведения), допускается переносное.

ОС Windows 8 (10), интернет-браузер (Google Chrome, Mozilla Firefox), ПО Adobe Reader (или аналог), пакет стандартных офисных программ для работы с документами (MS Office, Мой Офис, Libre Office)

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций:

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Комплексные числа. Комплексная плоскость.	ОПК-1	ОПК -1.4 ОПК-1.5	Устный опрос. Практическое задание.
2.	Функции комплексного переменного и отображения множеств.	ОПК-1	ОПК -1.4 ОПК-1.5	Устный опрос. Практическое задание.
3.	Элементарные функции.	ОПК-1	ОПК -1.4 ОПК-1.5	Устный опрос. Практическое задание.
4.	Интеграл по комплексному переменному.	ОПК-1	ОПК -1.4 ОПК-1.5	Устный опрос. Практическое задание.
5.	Интеграл Коши.	ОПК-1	ОПК -1.4 ОПК-1.5	Устный опрос. Практическое задание.
6.	Последовательности и ряды аналитических функций.	ОПК-1	ОПК -1.4 ОПК-1.5	Устный опрос. Практическое задание.
7.	Теорема единственности и принцип максимума модуля.	ОПК-1	ОПК -1.4 ОПК-1.5	Устный опрос. Практическое задание.
8.	Ряд Лорана.	ОПК-1	ОПК -1.4 ОПК-1.5	Устный опрос. Практическое задание.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
9.	Изолированные особые точки однозначного характера.	ОПК-1	ОПК -1.4 ОПК-1.5	Устный опрос. Контрольная работа.
10.	Вычеты, принцип аргумента.	ОПК-1	ОПК -1.4 ОПК-1.5	Устный опрос. Практическое задание
11.	Точки ветвления. Логарифмическая производная	ОПК-1	ОПК -1.4 ОПК-1.5	Устный опрос. Практическое задание.
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Вопросы к экзамену

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Оценка знаний, умений, навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущего контроля в форме устного опроса и проверки выполнения решений практических заданий.

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Примерный перечень вопросов к практическим занятиям

1. Расширенная комплексная плоскость. Стереографическая проекция. Сфера Римана.
2. Линейная функция комплексного переменного.
3. Функция $f(z) = \frac{1}{z}$. Образ окружности $|z - z_0| = R$ при отображении этой функцией.
4. Дробно-линейная функция. Структура отображения, задаваемого дробно-линейной функцией.
5. Показательная функция комплексного переменного. Комплексный логарифм. Определение и простейшие свойства.
6. Тригонометрические функции комплексного переменного. Определения и простейшие свойства.
7. Гиперболические функции комплексного переменного. Определения и простейшие свойства.
8. Отображение плоскости посредством функции e^z .
9. Дифференцируемость функций в смысле комплексного анализа. Производная и дифференциал. Геометрический смысл модуля и аргумента производной функции в точке.
10. Теорема Коши-Римана.
11. Следствия из теоремы Коши-Римана. Гармонические функции. Сопряженные гармонические функции.
12. Интеграл от комплекснозначной функции действительного переменного. Модуль интеграла и оценка модуля интеграла.
13. Определение и простейшие свойства интеграла от функции комплексного переменного по кривой.

14. Теорема Коши-Гурса.
15. Теорема Коши-Гурса для многосвязной области.
16. Независимость интеграла от вида пути интегрирования.
17. Первообразная функция. Формула Ньютона-Лейбница.
18. Интегральная формула Коши.
19. Интегральные формулы Коши для производных голоморфной функции.
20. Формула Тейлора.
21. Первая теорема единственности.
22. Нуль функции, кратность нуля. Представление голоморфной функции в окрестности нуля.
23. Изолированность нулей голоморфной функции.
24. Вторая теорема единственности. Следствие.
25. Последовательности голоморфных функций. Первая теорема Вейерштрасса.
26. Топология в пространстве голоморфных функций. Вторая теорема Вейерштрасса. Теорема Монтеля (без доказательства).
27. Ряды голоморфных функций. Почленное дифференцирование и интегрирование.
28. Степенные ряды. Теорема Абеля. Формулы для коэффициентов.
29. Свойство круга сходимости степенного ряда. Формула Коши-Адамара.
30. Разложение голоморфной функции в ряд Тейлора.
31. Ряд Лорана. Формулы для коэффициентов.
32. Разложение функций, голоморфных в кольце, в ряд Лорана.
33. Особые точки. Виды особых точек.
34. Вычет функции в точке. Теорема Коши о вычетах.
35. Формула Лорана.
36. Вычисление вычета в полюсе. Частные случаи.
37. Голоморфность и особенности на бесконечности.
38. Разложение в ряд Лорана в окрестности изолированной особой точки.
39. Вычет функции на бесконечности. Теорема Коши о полной сумме вычетов.
40. Простейшие типы несобственных интегралов. Интегралы вида $\int_{-\infty}^{\infty} R(x)dx$.
41. Интегралы вида $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{ix} dx$. Лемма Жордана.

Примерный перечень практических заданий

1. Найти все значения $\sqrt[4]{i}$ и изобразить их на комплексной плоскости.
2. Вычислить значение $\left(\frac{1-i}{1-i\sqrt{3}} \right)^{40}$.
3. Найти образ области D при отображении функцией $w = f(z)$:
 $D = \left\{ z : |z| > \frac{1}{2}, \operatorname{Re} z > 0 \right\}; \quad w = z^2.$
4. Найти образ области D при отображении функцией $w = f(z)$:
 $D = \left\{ z : |z| = 2; \frac{\pi}{8} < \arg z < \frac{\pi}{4} \right\}; \quad w = z^4.$
5. Выяснить, какая часть комплексной плоскости растягивается, а какая сжимается при отображении $w = e^z$.

6. Выяснить, какая часть комплексной плоскости растягивается, а какая сжимается при отображении $w = \ln z$.
7. Для функции $f(z) = \sin \bar{z}$ указать точки, в которых существует производная $f'(z)$, и найти эту производную.
8. Вычислить $\operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{4} - i \ln 2\right)$.
9. Вычислить интеграл $\int_0^1 \frac{1}{1+it} dt$.
10. Вычислить интеграл $\int_0^1 \frac{1+it}{1-it} dt$.
11. Вычислить интеграл $\int_{\gamma} \bar{z} e^z dz$, где γ – отрезок прямой от точки $z_1 = 1$ до точки $z_2 = i$.
12. Вычислить интеграл $\int_{\gamma} \cos \bar{z} dz$, где γ – отрезок прямой от точки $z_1 = \pi$ до точки $z_2 = \frac{\pi}{2} + i$.
13. Вычислить интеграл $\int_{\gamma} z^2 \cos z dz$, где γ – отрезок прямой от точки $z_1 = i$ до точки $z_2 = 1$.
14. Найти нули функции $f(z) = 1 + \cos z$ и определить их кратности.
15. Найти кратность нуля $z_0 = 0$ для функции $f(z) = \frac{z^8}{z - \sin z}$.
16. Пусть $\oint_{\gamma} f(z) dz = 0$. Следует ли из этого, что $f(z)$ – аналитическая функция внутри замкнутой кривой γ ?
17. Вычислить интеграл $\oint_{|z+i|=1} \frac{\sin z}{(z+i)^2} dz$.
18. Найти радиус сходимости степенного ряда $\sum_{n=0}^{\infty} (1+i)^n z^n$.
19. Найти радиус сходимости степенного ряда $\sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{z}{1-i}\right)^n$.
20. Функцию $f(z) = \frac{1}{3-2z}$ разложить по степеням разности $z-3$.
21. Функцию $f(z) = \frac{z^2}{(z+1)^2}$ разложить в ряд по степеням z и найти область сходимости полученного ряда.

Примерное содержание заданий контрольной работы

1. Найти образ области D при отображении функцией $w = f(z)$:
 $D = \left\{ z : 0 < \operatorname{Im} z < \frac{\pi}{2}; \operatorname{Re} z > 0 \right\}; w = e^{2z}.$

2. Найти образ области D при отображении функцией $w = f(z)$: $D = \left\{ z : 0 < \operatorname{Re} z < \frac{\pi}{4} \right\}; w = \operatorname{ctg} z.$

3. Вычислить интеграл $\int_{\gamma} (1 + i - 2\bar{z}) dz$, где γ – линия, соединяющая точки $z_1 = 0$ и $z_2 = 1 + 2i$,

а) отрезок прямой;

б) дуга параболы;

в) ломаная $z_1 z_3 z_2$, где $z_3 = 1$.

4. Вычислить интеграл $\int_{\gamma} \operatorname{Im} z dz$, где γ :

а) отрезок прямой от точки $z_1 = 0$ до точки $z_2 = 1 + 2i$;

б) дуга параболы $y = 2x^2$ от точки $z_1 = 0$ до точки $z_2 = 1 + 2i$. Почему получаются разные ответы?

5. Функция $\sin \frac{1}{1-z}$ имеет бесконечную последовательность нулей, сходящуюся к точке 1, но тем не менее эта функция отлична от постоянной. Не противоречит ли это теореме единственности.

Описание технологии проведения

Текущий контроль представляет собой проверку усвоения учебного материала теоретического и практического характера, регулярно осуществляемую на занятиях.

Текущий контроль предназначен для проверки хода и качества формирования компетенций, стимулирования учебной работы обучающихся и совершенствования методики освоения новых знаний. Он обеспечивается проведением опросов по теоретическому материалу, выполнением практических заданий и контрольной работы.

При текущем контроле уровень освоения учебной дисциплины и степень сформированности компетенции определяются оценками «зачтено» и «незачтено». Систематичность, объективность, аргументированность – главные принципы, на которых основаны контроль и оценка знаний обучающихся.

Требования к выполнению заданий (шкалы и критерии оценивания)

При проведении текущего контроля успеваемости используются следующие

показатели:

- 1) знание основных понятий и определений;
- 2) умение использовать стандартные методы для решения типовых задач;
- 3) оптимальность хода решения;
- 4) логика изложения, рассуждений;
- 5) правильность выполнения расчетов;
- 6) самостоятельность выводов.

Критерии оценки компетенций (результатов обучения) при текущей аттестации:

Зачтено: выполнение практических заданий и ответы в ходе опроса соответствуют перечисленным показателям, обучающийся дает ответы на дополнительные вопросы, может быть не совсем полные. Демонстрирует умение решать задачи, возможно с некоторыми ошибками.

Более половины заданий контрольной работы выполнены верно.

Незачтено: в ходе опроса ответы обучающегося не соответствуют ни одному из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует фрагментарные знания и умения или их отсутствие. Более половины заданий контрольной работы не выполнены.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования. Предназначена для определения уровня освоения всего объема учебной дисциплины и проводится в форме зачета и экзамена.

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Перечень вопросов к экзамену

1. Расширенная комплексная плоскость. Стереографическая проекция. Сфера Римана.
2. Линейная функция комплексного переменного.
3. Функция $f(z) = \frac{1}{z}$. Образ окружности $|z - z_0| = R$ при отображении этой функцией.
4. Дробно-линейная функция. Структура отображения, задаваемого дробно-линейной функцией.
5. Показательная функция комплексного переменного. Комплексный логарифм. Определение и простейшие свойства.
6. Тригонометрические функции комплексного переменного. Определения и простейшие свойства.
7. Гиперболические функции комплексного переменного. Определения и простейшие свойства.
8. Отображение плоскости посредством функции e^z .
9. Дифференцируемость функций в смысле комплексного анализа. Производная и дифференциал. Геометрический смысл модуля и аргумента производной функции в точке.
10. Теорема Коши-Римана.
11. Следствия из теоремы Коши-Римана. Гармонические функции. Сопряженные гармонические функции.
12. Интеграл от комплекснозначной функции действительного переменного. Модуль интеграла и оценка модуля интеграла.
13. Определение и простейшие свойства интеграла от функции комплексного переменного по кривой.

14. Оценка интеграла.
15. Аппроксимация интеграла интегральной суммой.
16. Аппроксимация интеграла по кривой интегралом по ломаной.
17. Теорема Коши-Гурса.
18. Теорема Коши-Гурса для многосвязной области.
19. Независимость интеграла от вида пути интегрирования.
20. Первообразная функция. Формула Ньютона-Лейбница.
21. Вывод интегральной формулы Коши.
22. Лемма о дифференцировании интеграла по параметру.
23. Интегральные формулы Коши для производных голоморфной функции. Следствие о бесконечной дифференцируемости голоморфной функции.
24. Формула Тейлора.
25. Оценки производных голоморфной функции. Неравенства Коши.
26. Теорема Лиувилля.
27. Первая теорема единственности.
28. Нуль функции, кратность нуля. Представление голоморфной функции в окрестности нуля.
29. Изолированность нулей голоморфной функции.
30. Вторая теорема единственности. Следствие.
31. Последовательности голоморфных функций. Первая теорема Вейерштрасса.
32. Топология в пространстве голоморфных функций. Вторая теорема Вейерштрасса. Теорема Монтеля (без доказательства).
33. Ряды голоморфных функций. Почленное дифференцирование и интегрирование.
34. Степенные ряды. Теорема Абеля. Формулы для коэффициентов.
35. Свойство круга сходимости степенного ряда. Формула Коши-Адамара.
36. Разложение голоморфной функции в ряд Тейлора.
37. Ряд Лорана. Формулы для коэффициентов.
38. Разложение функций, голоморфных в кольце, в ряд Лорана.
39. Особые точки. Виды особых точек.
40. Вычет функции в точке. Теорема Коши о вычетах.
41. Формула Лорана.
42. Вычисление вычета в полюсе. Частные случаи.
43. Голоморфность и особенности на бесконечности.
44. Разложение в ряд Лорана в окрестности изолированной особой точки.
45. Вычет функции на бесконечности. Теорема Коши о полной сумме вычетов.
46. Простейшие типы несобственных интегралов. Интегралы вида $\int_{-\infty}^{\infty} R(x) dx$.
47. Интегралы вида $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{ix} dx$. Лемма Жордана.
48. Логарифмическая функция. Точка логарифмического ветвления.
49. Степенная функция с произвольным показателем степени. Точка алгебраического ветвления.
50. Логарифмическая производная и ее свойства.

Описание технологии проведения

Промежуточная аттестация по дисциплине преследует цель оценить работу обучающихся за курс, полученные обучающимися знания, умения и уровень приобретенных компетенций, их прочность, развитие творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умение синтезировать полученные знания и применять их при решении практических задач.

Экзамен

Проводится в форме собеседования с преподавателем. Обучающийся получает два теоретических вопроса на знание понятий и определений, формулировок и доказательств утверждений и задачу из перечня практических заданий. По результатам ответа выставляется оценка по пятибалльной шкале.

Время подготовки к ответу не должно превышать одного астрономического часа. При необходимости, в ходе ответа преподаватель может задавать уточняющие и дополнительные вопросы.

При проведении промежуточной аттестации в форме экзамена используются следующие **показатели**:

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом комплексного анализа;
- 2) логика изложения;
- 3) корректность формулировок и доказательств утверждений и теорем;
- 4) умение связывать теорию с практикой;
- 5) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 6) умение применять формулы, решать задачи.

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области комплексного анализа, корректно формулирует и доказывает утверждения, способен иллюстрировать ответ примерами, применять теоретические знания для решения практических задач в области комплексного анализа.	Повышенный уровень	Отлично
Ответ обучающегося не соответствует одному (двум) из перечисленных показателей, но студент дает правильные ответы на дополнительные вопросы.	Базовый уровень	Хорошо
Ответ обучающегося не соответствует любым двум (трем) из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Демонстрирует частичные знания, или имеет не полное представление понятий комплексного анализа, допускает существенные ошибки в решении задач	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Ответ обучающегося не соответствует любым четырем и более из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки, не умеет решать задачи.	—	Неудовлетворительно

20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ

1) Закрытые задания (тестовые) - средний уровень сложности

Test1

Корнями уравнения $x^3 + 36x$ над полем комплексных чисел являются ...

- 1) $-6i$; 3) $6i$; 5) 0.
- 2) -6 ; 4) 6 ;

Test2

Число i^{2021} равно

- 1) $-i$; 2) -1 ; 3) i ; 4) 1 .

Test3

Мнимая часть частного $\frac{4}{1+i}$ равна

- 1) -2 ; 2) -4 ; 3) 2 ; 4) 4 .

Test4

Если функция $w(z) = u(x, y) + v(x, y)$ голоморфна в области комплексной плоскости. Тогда её производная вычисляется по формуле

- 1) $w'(z) = \frac{\partial u}{\partial x} + i \frac{\partial v}{\partial y}$; 2) $w'(z) = \frac{\partial u}{\partial x} - i \frac{\partial v}{\partial y}$;
3) $w'(z) = \frac{\partial u}{\partial x} + i \frac{\partial v}{\partial x}$; 4) $w'(z) = \frac{\partial u}{\partial x} - i \frac{\partial u}{\partial y}$.

Test5

Какие функции дифференцируемы в смысле комплексного анализа на всей комплексной плоскости

- 1) $e^z \cos z$; 2) $e^z \operatorname{tg} z$; 3) $\frac{\sin z}{e^z}$; 4) $\frac{e^z}{\sin z}$.

- Задания открытого типа (короткий ответ)

Test6

Функция является голоморфной в точке тогда и только тогда, когда в этой точке выполнены условия

Ответ: Коши-Римана

Test7

Напишите пропущенное число $\frac{1}{2\pi i} \oint_{\Gamma} \frac{dz}{z-a} = \dots$.

Ответ: 1

Test8

Напишите пропущенное число $\frac{1}{2\pi i} \oint_{\Gamma} \frac{dz}{(z-a)^2} = \dots$.

Ответ: 0

Test9

Вычет в любой точке голоморфной функции равен ... (напишите число).

Ответ: 0

Test10

Для функций комплексного переменного могут существовать три вида особых точек: устранимая особая точка, ... и существенно особая точка. Напишите пропущенное слово.

Ответ: полюс

Верные ответы выделены цветом.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

1) Тестовые задания.

- Задания закрытого типа – средний уровень сложности (выбор одного варианта ответа, верно/неверно):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ.

- Задания закрытого типа - средний уровень сложности (множественный выбор):

- 2 балла – указаны все верные ответы;
- за каждый верный ответ ставится 1 балл, при этом за каждый неверный ответ вычитается 1 балл;
- 0 баллов — не выбрано ни одного верного ответа.

- Задания закрытого типа (на соответствие):

- 2 балла – все соответствия определены верно;
- за каждое верное сопоставление ставится количество баллов, равное максимальному (2 балла), деленному на количество предлагаемых в вопросе сопоставлений;
- 0 баллов – ни одно сопоставление не выбрано верно.

- Задания открытого типа (короткий ответ):

- 2 балла – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ.

Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний, умений, навыков).