

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт прикладной математики и компьютерных наук

УТВЕРЖДАЮ

Директор института прикладной  
математики и компьютерных наук

А.В. Замятин

« 15 » июня 2023 г.



Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине  
(Оценочные средства по дисциплине)

**Теория телетрафика**

по направлению подготовки

**01.04.02 Прикладная математика и информатика**

Направленность (профиль) подготовки:

**Интеллектуальный анализ больших данных**

ОС составил:

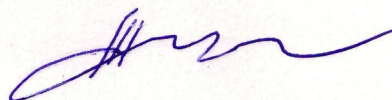
д-р. физ.-мат. наук, профессор  
профессор кафедры теории вероятностей  
и математической статистики



С.П. Моисеева

Рецензент:

д-р техн. наук, профессор,  
профессор кафедры теории вероятностей  
и математической статистики

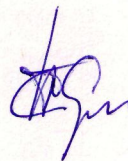


А.А. Назаров

Оценочные средства одобрены на заседании учебно-методической комиссии  
института прикладной математики и компьютерных наук (УМК ИПМКН).

Протокол от 08.06.2023 г. № 2

Председатель УМК ИПМКН,  
д-р техн. наук, профессор



С.П. Сущенко

**Оценочные средства (ОС)** являются элементом системы оценивания сформированности компетенций у обучающихся в целом или на определенном этапе ее формирования.

ОС разрабатывается в соответствии с рабочей программой (РП) дисциплины.

**1. Компетенции и результаты обучения, формируемые в результате освоения дисциплины**

Компетенция	Индикатор компетенции	Код и наименование результатов обучения (планируемые результаты обучения, характеризующие этапы формирования компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
			Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно

<p>УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий</p>	<p>ИУК-1.1 Выявляет проблемную ситуацию, на основе системного подхода осуществляет её многофакторный анализ и диагностику.</p> <p>ИУК-1.2 Осуществляет поиск, отбор и систематизацию информации для определения альтернативных вариантов</p>	<p>ОР-1.1.1 обучающийся <b>знает</b>: методы анализа, синтеза и оптимизации структуры телекоммуникационных сетей, многоканальных систем, систем радиосвязи, сотовых сетей связи и составляющих их элементов; основные направления сквозных технологий</p> <p>ОР-1.1.2 <b>Умеет</b> самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения.</p> <p>ОР-1.1.3 <b>Владеет</b>: способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования.</p> <p>ОР-1.2.1 <b>знает</b>: пакеты прикладных программ анализа и синтеза телекоммуникационных систем и сетей.</p> <p>ОР-1.2.2 <b>Умеет</b>: проводить анализ и прогнозирование трафика, показателей качества функционирования и других параметров телекоммуникационных сетей. находить информацию о применении сквозных технологий и примеры использования сетей передачи данных с протоколами множественного случайного доступа (МСД) в отраслях цифровой экономики (в IoT, BigData, БПЛА);</p> <p>ОР-1.2.3 <b>Владеет</b>: навыками изучения методической и научно-популярной литературы в области теории телетрафика в объеме, достаточном для ее использования в учебном процессе и проведения внеаудиторных</p>	<p>Сформированные систематические знания умения и навыки</p>	<p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания, и в целом успешное, но сопровождающаяся отдельными ошибками умения и навыки</p>	<p>Общие, но не структурированные знания и, в целом успешное, но не систематические и осуществляемые умения и навыкам</p>	<p>Фрагментарные знания, частично освоенные умения и навыки</p>
--	--	---	--	--	---	---

<p>– ПК-5 – способность управлять получением, хранением, передачей, обработкой больших данных.</p>	<p>ИПК-5.1 Осуществляет мониторинг и оценку производительности обработки больших данных</p> <p>ИПК-5.2 Использует методы и инструменты получения, хранения, передачи, обработки больших данных.</p> <p>ИПК-5.3 Разрабатывает предложения по повышению производительности обработки больших данных.</p>	<p>ОР-5.1.1 Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные понятия теории массового обслуживания и виды систем передачи информации;</li> </ul> <p>ОР-5.1.2 Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• определять зависимости и значения величин, характеризующих качество обслуживания, от характеристик и параметров входящего потока вызовов;</li> <li>• различать виды входящих потоков и находить их характеристики</li> </ul> <p>ОР-5.1.3 Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• способностью к разработке методов анализа систем телекоммуникаций и определению области эффективного их использования</li> </ul> <p>ОР-5.2.1 Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методы анализа и прогнозирования развития показателей качества функционирования и ряда других параметров сетей стационарной и мобильной связи</li> </ul> <p>ОР-5.2.2 Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• составлять математические модели сетей связи и их элементов как систем телетрафика; проводить анализ вероятностно-временных характеристик систем телетрафика;</li> <li>• проводить анализ и прогнозирование трафика, показателей качества функционирования и других параметров телекоммуникационных сетей.</li> </ul> <p>ОР-5.2.3 Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методами выполнения расчетов параметров трафика;</li> </ul> <p>ОР-5.3.1 Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основы теории расчета сетей связи и их элементов как систем массового обслуживания; современную методологию анализа вероятностно-временных характеристик телекоммуникационной системы;</li> <li>• приемы исследования моделей телетрафика.</li> </ul>	<p>Сформированные систематические знания умения и навыки</p>	<p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания, и в целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками умения и навыки</p>	<p>Общие, но не структурированные знания и, в целом успешное, но не систематические и осуществляемые умения и навыкам</p>	<p>Фрагментарные знания, частично освоенные умения и навыки</p>
--	--	---	--	--	---	---

## 2. Этапы формирования компетенций и виды оценочных средств

№	Этапы формирования компетенций (разделы дисциплины)	Код и наименование результатов обучения	Вид оценочного средства (тесты, задания, кейсы, вопросы и др.)
1.	Введение в теорию телетрафика	ОР-1.1.1, ОР-1.1.2, ОР-1.1.3	Вопросы, задания
2.	Основные положения теории телетрафика	ОР-1.2.1, ОР-1.2.2, ОР-1.2.3 ОР-1.3.1, ОР-1.3.2, ОР-1.3.3	Выполнение расчетно-графических работ
3	Классификация алгоритмов обслуживания заявок в СМО	ОР-5.1.1, ОР-5.1.2, ОР-5.1.3 ОР-5.2.1. ОР-5.2.2. ОР-5.2.3.	Выполнение контрольных заданий (кейс)

## 3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки образовательных результатов обучения

### 3.1. Типовые вопросы для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплине

Контроль осуществляется в системе Moodle

#### Теория телетрафика. Часть 1.

Данный тест содержит вопросы и задания по темам: "Случайные величины", "Случайные процессы", "Потоки случайных событий", "Марковские системы обслуживания". Время на выполнение теста ограничено и составляет 60 минут. Для вычислений рекомендуем использовать доступные Вам программные средства. У Вас всего одна попытка. Будьте внимательны!  
Удачи Вам!

Разрешено попыток: 3

Тестирование закончено: Воскресенье, 20 февраля 2022, 20:00

Ограничение по времени: 2 час.

Метод оценивания: Высшая оценка

Попыток: 21

1. Уравнение Чепмена-Колмогорова для однородных цепей Маркова. Непрерывные цепи Маркова

2. Диаграмма интенсивностей переходов для непрерывной цепи Маркова
3. Анализ системы «гибели-размножения». Графическая интерпретация процессов переходов в непрерывной цепи Маркова
4. В чем отличие случайного потока от детерминированного?
5. Опишите способы задания потоков вызовов.
6. Как связаны между собой ведущая функция и параметр ординарного потока?
7. Дайте определение свойству ординарности.
8. В чем заключается свойство однородности?
9. Чему равно среднее число вызовов простейшего потока, поступающих за интервал времени?
10. Какими свойствами обладает простейший поток вызовов?
11. Чему равен средний интервал между вызовами простейшего потока вызовов?
12. Для каких потоков параметр и интенсивность равны?
13. Как изменится интенсивность примитивного потока вызовов
14. при занятости двух источников?
15. Перечислите свойства, которыми обладает функция распре-
16. деления интервалов между вызовами.
17. Запишите функцию плотности распределения интервалов
18. между вызовами примитивного потока.
19. Классификация систем массового обслуживания. Символика Кендалла-Башарина
20. Формула Литтла. Временная диаграмма работы системы массового обслуживания.
21. Коэффициент использования СМО
22. В чем измеряются потери?
23. Если среднее число одновременно занятых линий равно 10, чему равна пропускная способность системы распределения информации?
24. Чему равна интенсивность обслуженной нагрузки, если среднее число одновременно занятых линий равно 15?
25. Чему равны интенсивности рождения и гибели в марковской цепи, моделирующей полнодоступный пучок линий с явными потерями при обслуживании вызовов простейшего потока?
26. Какому распределению подчиняется распределение вероятностей занятости источников простейшего потока?

27. Что определяет формула Эрланга?
28. Что произойдет с вероятностью потерь по вызовам в случае увеличения интенсивности обслуживания линий при обслуживании вызовов простейшего потока с явными потерями
29. С чем связано использование распределения Бернулли при оценке потерь в системе?
30. Какое соотношение между вероятностями потерь по нагрузке, вызовам и времени соблюдается для простейшего потока?
31. Чему равно среднее число одновременно занятых линий при обслуживании с явными потерями вызовов простейшего потока?
32. Перечислите свойства простейшего потока вызовов.
33. Чему равна плотность распределения вероятностей промежутков времени между вызовами для простейшего потока?
34. Какая формула оценивает вероятность потерь по времени для системы с ожиданием?
35. Как соотносятся между собой вероятность потерь по времени в системе с явными потерями и в системе с ожиданием?
36. К какому типу относится поток освобождения после обслуживания прибором с показательным распределением времени обслуживания?
37. Поясните, как изменится средняя длина очереди в системе  $M / M / u$  с увеличением числа линий.
38. В какой одноканальной системе среднее время ожидания начала обслуживания больше и почему?
39. Каким образом можно найти коэффициент вариации длительности обслуживания?
40. Чему равно математическое ожидание интервалов между вызовами для гамма-потока?

### Примеры вопросов теста в Moodle

Вопрос **11**

Неверно

Баллов: 0,00 из 1,00

Отметить вопрос

Редактировать вопрос

Среднее число заявок, поступивших в билетную кассу в одну минуту равна 1,5. Найти вероятность того, что за 2 минуты поступит менее 4 заявок.

0,647

0,535

0,353

0,168

✘

Ваш ответ неправильный.

Правильный ответ: 0,647



Вопрос 15  
Верно  
Баллов: 1,00 из 1,00  
Отметить вопрос  
Редактировать вопрос

Дайте описание характеристикам системы

λ - параметр простейшего входящего потока ✓  
 μ - количество занятых приборов в СМО  
 μ - длина очереди  
 μ - параметр экспоненциального распределения длительности обслуживания ✓  
 λ - параметр времени работы СМО

Ваш ответ верный.

Вопрос 16  
Неверно  
Баллов: 0,00 из 1,00  
Отметить вопрос  
Редактировать вопрос

Система с простейшим входящим потоком, произвольным распределением длительности обслуживания, 5 линий обслуживания, с буфером неограниченной емкости. Запишите символично в виде A/B/N/n/L.

M/G/5/∞  
 M/M/5/∞ ✗  
 exp/exp/1/N  
 λ/μ/5/N

Ваш ответ неправильный.  
Правильный ответ: M/G/5/∞

Вопрос 17  
Верно  
Баллов: 1,00 из 1,00  
Отметить вопрос  
Редактировать вопрос

Стационарная средняя длина очереди в СМО M/M/n/r

$P_n \sum_{i=1}^r \left(\frac{\rho}{n}\right)^{i-1}$   
  $P_n \sum_{i=1}^{r+1} \left(\frac{\rho}{n}\right)^{i-1}$   
  $P_n \sum_{i=1}^r \left(\frac{\rho}{n}\right)^i$  ✓  
  $P_n \sum_{i=1}^r \left(\frac{\rho-1}{n}\right)^i$

Ваш ответ верный.  
Правильный ответ:  $P_n \sum_{i=1}^r \left(\frac{\rho}{n}\right)^i$

3.2. Типовые задания для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

**Задача 1.** На цифровую линию, работающую в режиме TDM, поступает поток заявок на передачу речевых сообщений. Для обслуживания одной заявки требуется цифровой канал со скоростью 64 кбит/с. Обозначим через λ интенсивность поступления заявок, а через μ среднее время их обслуживания. Предположим, что поступление и обслуживание заявок, а также доступ к

свободным каналам подчиняются правилам, сформулированным для модели Эрланга. Пусть  $\lambda = 3$  заяв./мин,  $\mu = 3$  мин. Для построенной модели решить следующие задачи:

1. Найти минимальное число каналов  $v$ , при котором доля потерянных заявок будет менее 0,03.

2. Для найденного значения  $v$  построить диаграмму переходов и выписать систему уравнений статистического равновесия.

3. Найти вероятности стационарных состояний модели, вероятности потерь по времени, а также доли потерянных заявок и потерянного трафика.

4. Поступившая заявка получила отказ в обслуживании. Какова вероятность того, что следующим событием в системе будет поступление новой заявки? Какова для неё вероятность получить отказ в обслуживании?

5. Определить доли времени, когда: а) все  $v$  каналов будут свободны; б) будет занято не менее трех каналов; в) будет свободен один канал.

6. При фиксированных остальных параметрах модели интенсивность поступления заявок увеличилась в три раза. Найти оценку сверху доли потерянных заявок с относительной погрешностью 10 %.

7. Занумеруем имеющиеся каналы произвольным образом. Определить долю времени, в течение которого канал с максимальным номером будет свободен, а остальные заняты, если выбор свободного канала на обслуживание осуществляется случайным образом.

**Задача 2.** Для модели Эрланга решить следующие задачи 30.

1. На любом алгоритмическом языке написать программу расчета основных показателей обслуживания заявок (вероятность потери и коэффициент загрузки). На основе программы):

- разработать модуль оценки показателей, по заданным параметрам и построить графики зависимость показателей обслуживания заявок от параметров системы;
- Найти распределение числа заявок, потерянных за время занятости всех каналов.

**Примеры расчетно-графических работ**

# ЗАДАЧА

Бесконечнолинейная полумарковская ресурсная СМО вида  $M^{(v)}/GI/\infty$ .

Пусть интенсивность входящего потока  $130 \text{ с}^{-1}$ ,

время обслуживания распределено:

- а) по экспоненциальному закону с параметром  $10 \text{ с}^{-1}$ ;
- б) равномерно на интервале  $[3,5]$ ,

объемы заявок имеют:

- а) экспоненциальное распределение со средним 3 ед.;
- б) равномерное распределение на интервале  $[2,4]$ .

Записать законы распределения числа заявок в системе и суммарного объема занятого ресурса в стационарном режиме функционирования. Найти математическое ожидание, дисперсию.

Построить графики для распределения вероятностей числа занятых приборов и плотности распределения суммарного объема занятого ресурса.

## Пример оформления расчетной работы

$$\lambda = 130$$

Зададим функции распределения:

$$Ba(x) := 1 - e^{-10x}$$

$$Ga(x) := 1 - e^{-\frac{1}{3}x}$$

$$Bb(x) := \begin{cases} \frac{x-3}{5-3} & \text{if } 3 \leq x < 5 \\ 1 & \text{if } x \geq 5 \end{cases}$$

$$Gb(x) := \begin{cases} \frac{x-2}{4-2} & \text{if } 2 \leq x < 4 \\ 1 & \text{if } x \geq 4 \end{cases}$$

Найдем производные для функций распределения суммарного объема заявок

$$PrGa(x) := \frac{d}{dx} Ga(x) \rightarrow \frac{e^{-\frac{x}{3}}}{3} \quad \frac{d}{dx} \frac{x-2}{4-2} \rightarrow \frac{1}{2}$$

Найдем параметры  $a1, a2$  для функций распределения объемов заявок и  $b$  для функций распределения времени обслуживания

$$a1a := \int_0^{\infty} x \cdot PrGa(x) dx = 3$$

$$a1b := \int_0^4 x \cdot \frac{1}{2} dx + \int_4^{\infty} x \cdot 0 dx = 4$$

$$a2a := \int_0^{\infty} x^2 \cdot PrGa(x) dx = 18$$

$$a2b := \int_0^4 x^2 \cdot \frac{1}{2} dx + \int_4^{\infty} x^2 \cdot 0 dx = 10.667$$

$$ba := \int_0^{\infty} (1 - Ba(x)) dx = 0.1$$

$$bb := \int_0^5 \left(1 - \frac{x-3}{5-3}\right) dx + \int_5^{\infty} (1-1) dx = 6.25$$

Построим графики для распределения вероятностей числа заявок в системе ( $k$ ) и суммарного объема занятого ресурса ( $v$ )

Число заявок в системе (не зависит от их объема):

$$i := 0..1000$$

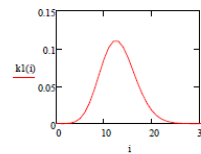
Экспоненциальное обл.:

Равномерное обл.:

$$k1(i) := \text{dpoiss}(i, \lambda \cdot \frac{1}{10})$$

$$M1 := \sum_{i=0}^{100} (i \cdot k1(i)) = 13$$

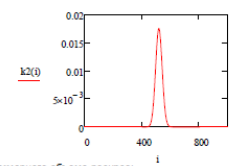
$$D1 := \sum_{i=0}^{100} (i^2 \cdot k1(i)) - M1^2 = 13$$



$$k2(i) := \text{dpoiss}(i, \lambda \cdot 4)$$

$$M2 := \sum_{i=0}^{1000} (i \cdot k2(i)) = 520$$

$$D2 := \sum_{i=0}^{1000} (i^2 \cdot k2(i)) - M2^2 = 520$$



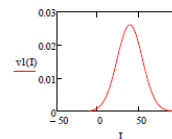
Распределение вероятностей суммарного объема ресурса:

Эксп. обл. и эксп. объем:

$$m11 := \lambda \cdot a1a \cdot ba = 39$$

$$d11 := \lambda \cdot a2a \cdot ba = 234$$

$$v1(i) := \text{dnorm}(i, m11, \sqrt{d11})$$



Равном. обл. и экспон. объем:

$$m21 := \lambda \cdot a1b \cdot ba = 52$$

$$d21 := \lambda \cdot a2b \cdot ba = 138.667$$

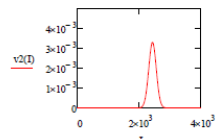
$$v3(i) := \text{dnorm}(i, m21, \sqrt{d21})$$

Эксп. обл. и равном. объем:

$$m12 := \lambda \cdot a1a \cdot bb = 2.438 \times 10^3$$

$$d12 := \lambda \cdot a2a \cdot bb = 1.463 \times 10^4$$

$$v2(i) := \text{dnorm}(i, m12, \sqrt{d12})$$



Равном. обл. и равном. объем:

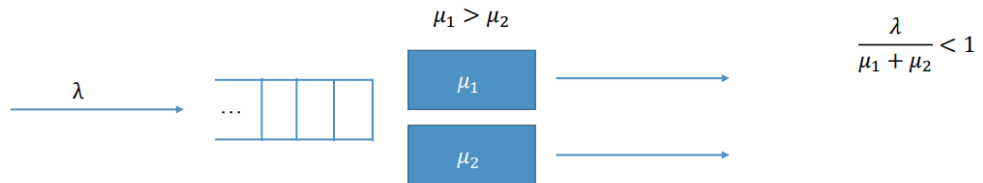
$$m22 := \lambda \cdot a1b \cdot bb = 3.25 \times 10^3$$

$$d22 := \lambda \cdot a2b \cdot bb = 8.667 \times 10^3$$

$$v4(i) := \text{dnorm}(i, m22, \sqrt{d22})$$

## ЗАДАЧА

Рассмотреть случайный процесс  $i(t)$  - число заявок в системе, изображенной на рисунке, в момент времени  $t$ . Записать систему линейных алгебраических уравнений для вероятностей состояний процесса. Решить ее. Параметры СМО подобрать самостоятельно с учетом условия существования стационарного режима. Построить график распределения вероятностей, вычислить: среднее число заявок в системе, среднее число заявок в очереди, среднее число заявок на обслуживании, коэффициент использования приборов, вероятность мгновенного начала обслуживания.



### Пример оформления расчетной работы

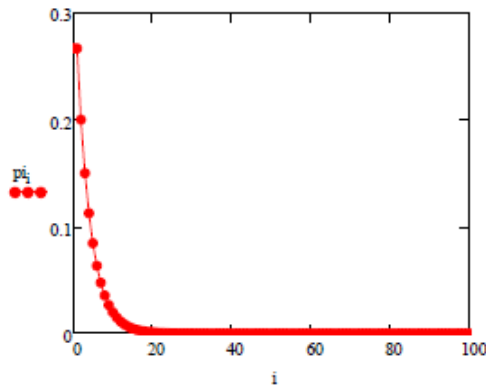
$$p_{i0} := \left[ 1 + \frac{\lambda}{\mu_1} + \sum_{j=2}^N \frac{\lambda^j}{\mu_1 \cdot (\mu_1 + \mu_2)^{j-1}} \right]^{-1} = 0.2$$

$$p_{i1} := \frac{\lambda}{\mu_1} \cdot p_{i0} = 0.2$$

$$p_i := \frac{\lambda^i}{[\mu_1 \cdot (\mu_1 + \mu_2)^{i-1}]} \cdot p_{i0}$$

	0
0	0.267
1	0.267
2	0.2
3	0.15
4	0.113
5	0.084
6	0.063
7	0.047
8	0.036
9	0.027
10	0.02
11	0.015
12	0.011
13	$8.447 \cdot 10^{-3}$
14	$6.335 \cdot 10^{-3}$
15	...

Построим график распределения вероятностей:



Среднее число заявок в системе:

$$m := \sum_{j=0}^N (j \cdot p_j) = 4.267$$

Среднее число заявок в очереди:

$$n := \sum_{j=3}^N [(j-2) \cdot p_j] = 2.4$$

Среднее число заявок на обслуживании:

$$\text{obsl} := 1 \cdot p_1 + 2 \cdot \sum_{j=2}^N p_j = 1.867$$

Коэффициент использования приборов:

### 3.3. Темы для рефератов

- Самоподобные случайные процессы
- Классические модели сетей массового обслуживания ( Сети Джексона. Теорема Джексона)
- ВСМР-сеть
- G-сети с отрицательными заявками ( Сети Геленбе)
- СМО в случайной среде
- Системы Поллинга
- Приоритетные СМО
- Ненадежные СМО
- СМО с групповым обслуживанием заявок
- Потоки обслуженных заявок (выходящие потоки)
- Математические модели сегментирования радиоресурсов (ресурсные СМО с различными стратегиями разделения ресурсов)
- Ресурсные в случайной среде
- СМО с резервированием приборов
- СМО с конечным числом источников
- Queueing Models of Call Centers
- "Israeli Queue" model
- The Single Server Queue Queueing systems with random volume customers
- Modeling IP Traffic Using the Batch Markovian Arrival Process

#### 4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания образовательных результатов обучения

Текущий контроль осуществляется в виде проверки выполнения учебных и домашних заданий. Текущий контроль успеваемости по теоретическому материалу осуществляется в виде тестов и коллоквиумов.

Оценка текущего контроля проводится на основе оценки компетенций, соответствующих текущему разделу дисциплины, согласно таблице:

Вид работы	Удельный вес	Критерии оценки
Расчетные-графические работы	25	от 0-5 баллов за выполнение работы (максимум 25 баллов)
Коллоквиум	20	от 0-20 баллов
Тест	20	от 0-20 баллов
Реферат	10	от 0-20 баллов
Экзамен	25	от 0-20 баллов

Итоговая оценка по предмету (экзамен) выставляется следующим образом:

- «отлично» – студент выполнил набрал не менее 80 первичных баллов и выполнил все лабораторные работы, нет неудовлетворительных оценок за контрольные работы/тесты;
- «хорошо» – студент выполнил от 65 до 80 первичных баллов и выполнил все лабораторные работы, нет неудовлетворительных оценок за контрольные работы;
- «удовлетворительно» – студент выполнил от 50 до 65 первичных баллов и выполнил все лабораторные работы, нет неудовлетворительных оценок за контрольные работы/тесты;
- «неудовлетворительно» – студент не сдал лабораторные работы, не выполнил набрал менее 50 первичных баллов или сдал контрольную работу/тест на «неудовлетворительно».

Во время экзамена студент может повысить свою оценку, сдав заново соответствующую контрольную работу, при условии выполнения остальных требований к оценке.