МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждения высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»

(ЮЗГУ)

Кафедра информационной безопасности

 УТВЕРЖДАЮ

 Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ О.Г. Локтионова

«\_\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2018 г.

**ТЕОРИЯ ГРАФОВ**

Методические указания по выполнению самостоятельной работы

для студентов направления подготовки бакалавриата 10.03.01«Информационная безопасность»

Курск 2018

УДК 519, 17

Составитель: профессор В.П. Добрица

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы и технологии» Ю.А. Халин

**Теория графов** [Текст]: методические указания по выполнению самостоятельной работы / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.П. Добрица. – Курск, 2018. – 18 с.: табл. 5. – Библиогр.: с. 17.

Содержатся сведения о темах для самостоятельного изучения по дисциплине «Теория графов», необходимые для успешного освоения дисциплины. Указывается порядок выполнения самостоятельной работы всех предусмотренных учебным планом видов, приводятся рекомендации по оформлению результатов работы.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением по специальности.

Предназначены для студентов направления подготовки бакалавриата 10.03.01 «Информационная безопасность».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60х84 1/16.

Усл.печ. л. 1,34. Уч.-изд. л. 1,21. Тираж 100 экз. Заказ. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

**Содержание**

1 Введение………………………………………………………..4

2 Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной

работы………………………………………………………….....6

3 Запланированные виды самостоятельной работы по дисциплине…………………...………………………………………..7

4 Оценивание знаний, умений, навыков…………………. .13

5 Рекомендации по выполнению самостоятельной работы………………………………………………………………...15

6 Контрольные вопросы для самоконтроля………………………………………………………....16

7 Библиографический список………..…… …………………20

**1 Введение**

Самостоятельная работа - это индивидуальная или коллективная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства преподавателя, но по его заданиям и под его контролем.

Самостоятельная работа студентов включает:

- изучение лекционного материала по конспекту с использованием рекомендованной литературы;

- отработку изучаемого материала по печатным и электронным источникам, конспектам лекций;

 - подготовку к выполнению лабораторных работ;

 - выполнение отчетов по лабораторным работам и подготовку к их защите;

 - индивидуальные задания (решение задач, подготовка сообщений, докладов, исследовательские работы и т.п.);

 - работу над творческими заданиями;

 - подготовку кратких сообщений, докладов, рефератов, самостоятельное составление задач по изучаемой теме (по указанию преподавателя).

Назначение самостоятельной работы студентов.

 ***- Овладение знаниями***, что достигается:

чтением текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы), составлением плана текста, графическим структурированием текста, конспектированием текста, выписками из текста, работой со словарями и справочниками, поиском информации в сети Интернет и т.п.;

 - ***закрепление знаний,*** что достигается:

работой с конспектом лекций, обработкой текста, повторной работой над учебным материалом (учебником, первоисточником, дополнительной литературой), составлением плана, составлением таблиц для систематизации учебного материала, ответами на контрольные вопросы, заполнением рабочей тетради, аналитической обработкой текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, конспект-анализ и др), составлением библиографии и т.п.;

 - ***формирование навыков и умений***, что достигается:

решением задач и упражнений по образцу, решением вариативных задач, выполнением схем, выполнением расчетов, решением ситуационных задач, подготовкой к дискуссиям, проектированием и моделированием разных видов и компонентов профессиональной деятельности, математическим описанием опытно экспериментальной работой и т.п.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от поставленной цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

 Текущий контроль качества выполнения самостоятельной работы может осуществляться с помощью:

 - контрольного опроса;

 - собеседования;

 - автоматизированного программированного контроля (машинного контроля, тестирования с применением ЭВМ).

 Контроль выполнения индивидуальных заданий осуществляется поэтапно в соответствии с разработанным преподавателем графиком.

 **2 Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы**

Студенты могут при самостоятельном изучении отдельных тем и вопросов дисциплины пользоваться учебно-методическими пособиями и методическими разработками кафедры в рабочее время, установленное Правилами внутреннего распорядка работников.

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся по данной дисциплине организуется:

*библиотекой университета:*

- библиотечный фонд укомплектован учебной, методической, периодической, справочной литературой в соответствии с Учебным планом (УП) и Рабочей программой данной дисциплины (РПД);

- имеется доступ к основным информационным образовательным ресурсам, информационной базе данных, в том числе библиографической, возможность выхода в Интернет;

*кафедрой:*

- путем обеспечения доступности всего необходимого учебно-методического и справочного материала;

- путем предоставления сведений о наличии учебно-методической литературы, современных программных средств;

- путем разработки:

– заданий для самостоятельной работы;

– вопросов к экзамену;

- тестов;

– методических указаний к выполнению лабораторных работ и т.д.;

*типографией университета:*

– помощь авторам в подготовке и издании научной, учебной и методической литературы;

– удовлетворение потребности в тиражировании научной, учебной и методической литературы.

**3 Запланированные виды самостоятельной работы по дисциплине**

В соответствии с учебным планом, на самостоятельную работу студентов в рамках дисциплины «Теории графов» отводится 54 часа. Распределение часов самостоятельной работы по темам (видам деятельности) приведено в рабочей программе дисциплины (Таблица 4.3).

В таблице 1 ниже приведены соответствующие сведения, взятые из Рабочей программы дисциплины.

Таблица 1 – Самостоятельная работа студентов в соответствии с рабочей программой дисциплины

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование раздела учебной дисциплины | Срок выполнения | Время, затрачиваемое на выполнение СРС, час. |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Введение и предмет курса. | 1 неделя  | 2 |
| 2 | Основные понятия теории графов, способы задания графов. | 2-3 недели  | 7 |
| 3 | Операции над графами. | 4-8 недели | 15 |
| 4 | Связность графа. Связные компоненты. | 9-10недели | 6 |
| 5 | Эйлеровы и гамильтоновы графы. | 11-12недели | 6 |
| 6 | Деревья. Обходы графов. | 13-16недели | 12 |
| 7 | Планарные графы. Проверка планарности графа. | 17-18недели | 6 |
| Итого | 54 |

 Текущий контроль знаний, основанный на выяснении качества самостоятельной работы студентов при работе с конспектом лекций и учебной основной и дополнительной литературой, производится в соответствии с Рабочей программой дисциплины (Таблица 7.3) и предусматривает контрольный опрос (КО) и собеседование (С).

В таблице ниже приведены соответствующие сведения, взятые из Рабочей программы дисциплины.

Таблица 2 – Формы текущего контроля в соответствии с рабочей программой дисциплины

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Раздел (тема) дисциплины | Код контроли-руемой компе-тенции (или её части) | Технология формирования | Оценочные средства | Описание шкал оценивания |
| наимено-вание | №№ заданий |
| 1 | Введение и предмет курса. | ОПК – 2ПК-12 | Лекция, СРС  | Собесе-дование  | 1 | Согласно табл. 7.2  |
| 2 | Основные понятия теории графов. | ОПК – 2ПК-12 | Лекция, СРС, практические задания  | Собеседование;Защита раб №1 | 2-4 | Согласно табл. 7.2  |
| 3 | Гомоморфизм и изоморфизм графов. | ОПК – 2ПК-12 | Лекция, СРС, практические задания  | Собеседование;Защита раб №1 | 5-10 | Согласно табл. 7.2  |
| 4 | Двудольные и регулярные графы. | ОПК – 2ПК-12 | Лекция, СРС, практические задания  | Собеседование;Защита раб №2 | 11-13 | Согласно табл. 7.2  |
| 5 | Операции над графами.  | ОПК – 2ПК-12 | Лекция, СРС, практические задания  | Собеседование;Защита раб №3 | 14-20 | Согласно табл. 7.2  |
| 6 | Связность в графах. | ОПК – 2ПК-12 | Лекция, СРС, практические задания  | Собеседование;Защита раб №4 | 21-37 | Согласно табл. 7.2  |
| 7 | Деревья. | ОПК – 2ПК-12 | Лекция, СРС, практические задания  | Собеседование;Защита раб №5 | 38-42 | Согласно табл. 7.2  |
| 8 | Обходы и разрезы. Циклы и коциклы. | ОПК – 2ПК-12 | Лекция, СРС, практические задания  | Собеседование;Защита раб №6 | 43-52 | Согласно табл. 7.2  |
| 9 | Раскраска графов. | ОПК – 2ПК-12 | Лекция, СРС, практические задания  | Собеседование;Защита раб №6 | 53-57 | Согласно табл. 7.2  |
| 10 | Планарные графы. | ОПК – 2ПК-12 | Лекция, СРС, практические задания  | Собеседование;Защита раб №9 | 58-60 | Согласно табл. 7.2  |

Лекционные занятия проводятся в соответствии с Рабочей программой дисциплины (Таблица 4.1.1) и включают следующие темы.

Таблица 3 – Краткое содержание лекционного курса

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №п/п | Раздел (тема)дисциплины | Содержание |
|  | Введение и предмет теории графов. | Задачи и программа курса. О применение методов теории графов в криптографии, в оптимизационных задачах. Литература по курсу. Организация самостоятельной работы студентов. Связь с другими дисциплинами. |
|  | Основные понятия теории графов. | Задача о Кенигсбергских мостах. Вершины, ребра, дуги графа. Ориентированные и неориентированные графы. Различные способы задания графов. Матрицы инцидентности и смежности. Число конечных графов (ориентированных и неориентированных) без кратных ребер. Подграфы и части графа. Теоретико-множественные операции над частями и подграфами графа.  |
|  | Гомоморфизм и изоморфизм графов. | Гомоморфизм графов. Изоморфизм графов. Свойства отношения изоморфности. Инварианты при гомоморфизме и изоморфизме. Мультиграфы и их изоморфизм. Необходимое и достаточное условие изоморфности графов. Группа автоморфизмов графа.  |
|  |  Двудольные и регулярные графы.  | Степени вершин и их сумма. Полные графы. Группа автоморфизмов полного графа. Двудольные графы. Регулярные графы.  |
|  |  Операции над графами.  | Операции добавления вершины (ребра) к графу. Операции удаления вершины (ребра) графа. Отождествление вершин графа. Стягивание ребра графа. Дополнение графа и его свойства. Кольцевая сумма графов и её свойства. Соединение (сумма) графов и её свойства. Произведение графов. Свойства произведения графов. Композиция графов. Некоммутативность операции композиции графов. |
|  | Связность в графах. | Маршруты, цепи, циклы, простые цепи и циклы. Связность в графах. Сильно связные графы. Связные компоненты. Задача Рамсея. Содержание треугольника в графе с 6 вершинами, либо в его дополнении. Число Рамсея. Точки сочленения, мосты и блоки. Критерий точки сочленения графа. Критерий моста графа. Критерий блока графа. Графы блоков. Графы точек сочленения. Расстояние в графах. Матрицы связности и достижимости. Эксцентриситет вершин, диаметр и радиус графа. Центральные и периферийные вершины. Центроиды. Существование центра в дереве. Эйлеровы графы. Построение эйлеровых циклов. Покрытия графов. Гамильтоновы графы. Теорема Поша о гамильтоновых графах. |
|  | Деревья. | Деревья и лес. Критерий дерева. Корневые деревья и оценка их числа. Схемы сборки. Остов графа. Деревья блоков. Деревья точек сочленения. Циклический и коциклический ранги графа. Равенство циклического ранга числу хорд остова графа. Реберная связность графа. Теорема Мергера. Взвешенные графы. Алгоритм нахождения остова графа наименьшего веса.  |
|  | Обходы и разрезы. Циклы и коциклы. | Обходы графа по глубине и ширине. Фундаментальные циклы графов. Матрица фундаментальных циклов графа. Разрезы в графах. Свойства разрезов неориентированного связного графа. Фундаментальное множество коциклов графа. Матрица фундаментальных коциклов графа и её свойства. Реберные разрезы графа. Теорема Холла. Графическое разбиение числа. Критерий графичности разбиения числа.  |
|  | Раскраска графов.  | Раскраска графов по вершинам. Алгоритм раскраски графа. Задача о четырех красках. Раскраска ребер мультиграфа. Хроматическое число графа. Бихроматические графы. Критерий бихроматичности графа. Свойства бихроматического графа. |
|  | Планарные графы. | Планарные графы. Теорема Понтрягина – Куратовского. Критерий планарности графа. Применение методов теории графов в решении различных задач. |

 Основная литература для освоения дисциплины включает источники [1-2], дополнительная литература включает источники [3-7].

Практические занятия, предусмотренные Рабочей программой дисциплины, описаны в таблице 4.

Таблица 4– Практические занятия

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Номер занятия | Наименование практического (семинарского) занятия | Объем в часах |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Основные понятия теории. Гомоморфизм и изоморфизм графов. | 4 |
| 2 | Двудольные и регулярные графы. | 2 |
| 3 | Операции над графами. | 4 |
| 4 | Связные графы. | 2 |
| 5 | Деревья. | 2 |
| 6 | Обходы и разрезы. Циклы и коциклы. Раскраска графов. | 2 |
| 7 | Планарные графы. | 2 |
|  | Всего | 18 часов |

Рекомендации по выполнению практических заданий приведены в соответствующих методических указаниях к лабораторным работам [1]. Методические указания содержат полные требования к видам и объему самостоятельной работы при подготовке, выполнении, оформлении отчетов и защите лабораторных работ.

**4 Оценивание знаний, умений, навыков**

Оценивание знаний, умений, навыков регулируются Положением П 02.016–2015 «О балльно-рейтинговой системе оценки качества освоения образовательных программ».

Порядок начисления баллов для текущего контроля результатов аудиторной и внеаудиторной самостоятельной работы студентов по дисциплине в рамках действующей в университете балльно-рейтинговой системы приведен в РПД (Таблица 7.4).

Таблица 5 – Порядок начисления баллов в рамках БРС

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Форма контроля | Минимальный балл | Максимальный балл |
| балл | примечание | балл | примечание |
| Выполнение практического задания 1 «Основные понятия теории. Гомоморфизм и изоморфизм графов» | 2 | Выполнил, но «не защитил» | 6 | Выполнил и «защитил» |
| Выполнение практического задания 2 «Двудольные и регулярные графы» | 2 | Выполнил, но «не защитил» | 6 | Выполнил и «защитил» |
| Выполнение практического задания 3 «Операции над графами» | 2 | Выполнил, но «не защитил» | 8 | Выполнил и «защитил» |
| Выполнение практического задания 4 «Связные графы» | 2 | Выполнил, но «не защитил» | 6 | Выполнил и «защитил» |
| Выполнение практического задания 5 «Деревья» | 2 | Выполнил, но «не защитил» | 8 | Выполнил и «защитил» |
| Выполнение практического задания 6 «Обходы и разрезы. Циклы и коциклы. Раскраска графов» | 2 | Выполнил, но «не защитил» | 8 | Выполнил и «защитил» |
| Выполнение практического задания 7 «Планарные графы» | 2 | Выполнил, но «не защитил» | 6 | Выполнил и «защитил» |
| Всего | 14 |  | 48 |  |
| Посещаемость | 0 |  | 16 |  |
| Сдача зачета |  |  | 36 |  |
| ИТОГО | 14 |  | 100 |  |

**5 Рекомендации по выполнению самостоятельной работы**

**Изучение теоретических основ дисциплин**

Изучение теоретической части дисциплин способствует углублению и закреплению знаний, полученных на аудиторных занятиях, а также развивает у студентов творческие навыки, инициативу и умение рационально организовать свое время.

Самостоятельная работа при изучении дисциплины включает:

 - работу над конспектом лекций;

 - изучение рекомендованной литературы;

- поиск и ознакомление с информацией в сети Интернет;

- подготовку к различным формам контроля (контрольный опрос, собеседование, тесты);

- подготовку ответов на вопросы по различным темам дисциплины, в том числе заданным преподавателем по результатам контроля знаний.

Материал, законспектированный в течение лекций, необходимо регулярно прорабатывать и дополнять сведениями из других источников и литературы.

При освоении дисциплины сначала необходимо по каждой теме изучить рекомендованную литературу и составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме для освоения последующих тем курса. После этого следует разобраться с обоснованием утверждений. Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы; проводить поиски в различных системах и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем.

По требованию преподавателя конспект лекций предоставляется ему для проверки. Замеченные недостатки и внесенные замечания и предложения следует отработать в приемлемые сроки.

 **Выполнение практических заданий**

При подготовке и защите практических заданий необходимо обращать особое внимание на полноту и грамотность выполнения отчета по работе, наличие в них кратких обоснований принимаемых решений и выводов по результатам работы. При несоответствии отчета этим требованиям преподаватель может возвращать его на доработку. При опросе студентов основное внимание обращается на усвоение ими основных теоретических положений, на которых базируется данная работа, и понимание того, как эти положения применяются на практике. Для освоения дисциплины в полном объеме студенту необходимо посещать все аудиторные занятия и самостоятельно прорабатывать полученный материал.

Контроль результатов самостоятельной работы студентов осуществляется перед выполнением практических заданий, в процессе защиты отчета по работе, а так же на зачете.

При самостоятельном изучении дисциплины, подготовке к аудиторным занятиям и выполнении домашних заданий студенты должны использовать рекомендованную учебную литературу и учебно-методические указания. Источники информации доступны на сайте кафедры.

Самостоятельная работа осуществляется при подготовке к работе в соответствии с заданными темами, подготовке ответов к вопросам для самоконтроля и контрольным вопросам.

Отчет по практическим заданиям выполняется индивидуально или один на бригаду по решению преподавателя.

Отчет должен содержать все предусмотренные методическими указаниями разделы, включая задания и краткое изложение необходимого теоретического материала.

**6 Контрольные вопросы для самоконтроля**

1. Задача о Кенигсбергских мостах. Основные понятия теории графов.
2. Способы задания графов.
3. Число ориентированных графов без кратных ребер.
4. Число неориентированных графов без кратных ребер.
5. Изоморфизм графов. Свойства отношения изоморфности графов.
6. Мультиграфы и их изоморфизм. Необходимое и достаточное условие изоморфности графов.
7. Группа автоморфизмов графа.
8. Гомоморфизм графов. Свойства графа, сохраняющиеся при гомоморфизме.
9. Степени вершин и их сумма.
10. Полные графы. Группа автоморфизмов полного графа.
11. Части графа и теоретико-множественные операции над ними.
12. Подграф. Пересечение подграфов.
13. Двудольные графы. Регулярные графы.
14. Операции добавления вершины (ребра) к графу. Операции удаления вершины (ребра) графа.
15. Отождествление вершин графа. Стягивание ребра графа.
16. Дополнение графа. Свойства.
17. Кольцевая сумма графов. Свойства.
18. Соединение (сумма) графов и его свойства.
19. Произведение графов. Свойства.
20. Композиция графов. Некоммутативность операции композиции графов.
21. Маршруты, цепи, циклы, простые цепи и циклы. Связность в графах.
22. Задача Рамсея.
23. Число Рамсея.
24. Сильно связные графы. Связные компоненты.
25. Точки сочленения, мосты и блоки.
26. Критерий точки сочленения графа.
27. Критерий моста графа.
28. Критерий блока графа.
29. Графы блоков.
30. Графы точек сочленения.
31. Расстояние в графах. Матрицы связности и достижимости.
32. Эксцентриситет вершин, диаметр и радиус графа. Центральные и периферийные вершины.
33. Центры и центроиды.
34. Эйлеровы графы. Построение эйлеровых циклов.
35. Покрытия графов.
36. Гамильтоновы графы. Гамильтоновы циклы.
37. Теорема Поши о гамильтоновых графах.
38. Деревья и лес. Критерий дерева.
39. Существование центра в дереве.
40. Деревья блоков.
41. Деревья точек сочленения.
42. Остов графа. Циклический и коциклический ранги графа.
43. Равенство циклического ранга числу хорд остова графа.
44. Реберная связность графа.
45. Теорема Мергера.
46. Разрезы графа.
47. Реберные разрезы графа.
48. Теорема Холла.
49. Графические разбиения чисел.
50. Критерий графичности разбиения числа.
51. Взвешенные графы. Алгоритм нахождения остова графа наименьшего веса.
52. Обходы графа по глубине и ширине.
53. Раскраска графов по вершинам. Алгоритм раскраски графа.
54. Задача о четырех красках.
55. Раскраска ребер мультиграфа.
56. Хроматическое число графа.
57. Свойства бихроматического графа.
58. Планарные графы.
59. Теорема Понтрягина - Куратовского.
60. Критерий планарности графа.

**7 Библиографический список**

**Основная литература**

1. Хаггарти, Р. Дискретная математика для программистов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Р. Хаггарти ; пер. англ. под ред. С.А. Кулешов ; пер. с англ. А.А. Ковалев, В.А. Головешкин, М.В. Ульянов. - изд. 2.е, испр. - М. : РИЦ "Техносфера", 2012. - 400 с. // Режим доступа – http: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89024](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89024)
2. Судоплатов, С.В. Дискретная математика [Электронный ресурс]: учебник / С.В. Судоплатов, Е.В. Овчинникова. - 4-e изд. - Новосибирск : НГТУ, 2012. - 278 с. // Режим доступа – http: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=135675](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=135675)

 **Дополнительная литература**

1. Дискретная математика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю.Ю. Громов, О.Г. Иванова, Ю.В. Кулаков и др. - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. - 128 с. // Режим доступа – http: [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=437081](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=437081)
2. Милых, Владимир Александрович. Дискретная математика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Курск. гос. техн. ун-т ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Курский государственный технический университет. - Курск : КурскГТУ, 2006. - 139 с.
3. Хаггарти, Р. Дискретная математика для программистов [Текст] : учебное пособие / перевод с английского под ред. С. А. Кулешова. - М. : Техносфера, 2005. - 400 с.
4. Зыков, А. А. Основы теории графов [Текст] / А. А. Зыков. - М. : Наука, 1987. - 380 с.
5. Оре, О. Теория графов [Текст] / пер. с англ. И. Н. Врублевской ; под ред. Н. Н. Воробьева. - 2-е изд., стереотип. - Москва : Наука, Гл. ред.физ.-мат. лит, 1980. - 336 с.

**Перечень методических указаний**

1. Теория графов [Текст]: методические рекомендации по выполнению лабораторных работ/ Юго-Зап. гос. ун-т., сост.: В.П. Добрица. – Курск, 2017. – 21 с.
2. Графы [Электронный ресурс]: методические указания по выполнению лабораторной работы / Курский государственный технический университет, Кафедра информатики и прикладной математики ; сост. В. В. Свиридов. - Курск : КурскГТУ, 2010. - 24 с.
3. Моделирование систем методами теории графов [Электронный ресурс] : методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Компьютерное моделирование производственных и технологических процессов» для обучающихся по направлению 552200 (200500.68) «Метрология, стандартизация и сертификация» магистерской программы 552215 «Всеобщее управление качеством» / Юго-Западный государственный университет, Кафедра управления качеством, метрологии и сертификации ; ЮЗГУ ; сост.: О. В. Аникеева, А. Г. Ивахненко. - Курск : ЮЗГУ, 2012. - 23 с.