Затверджено Вченою Радою ОНУ
імені І.І. Мечникова
від "20" грудня 2016 р. № 4

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
Кафедра оптимального керування та економічної кібернетики

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Проректор _____

"___" _____ 20___ р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ОК 24 «Системний аналіз»
(назва навчальної дисципліни)

Рівень вищої освіти _____бакалавр_____

Спеціальність _____126 – Інформаційні системи та технології_____
(код і назва спеціальності (тей)

Факультет _____математики, фізики та інформаційних технологій_____
(назва інституту, факультету)

2021

Робоча програма складена на основі навчальної програми з дисципліни «Системний аналіз».

Розробник:
Кічмаренко О.Д., д-р фіз.-мат. наук, доцент, зав. кафедри оптимального керування та економічної кібернетики

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри оптимального керування та економічної кібернетики.

Протокол № 1 від. "31" 08 2021 р.

Завідувач кафедри _____ (О.Д. Кічмаренко)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК) з ІТ факультету МФІТ

Протокол № 1 від. "6" 09 2021 р.

Голова НМК _____ (О.С. Савастру)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри _____

Протокол № ___ від. "____"_____20__ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри _____

Протокол № ___ від. "____"_____20__ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)
(підпис) (прізвище та ініціали)

1. Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Галузь знань, спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>денна форма навчання</td><td>заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td rowspan="19">Загальна кількість: кредитів – 4

годин – 120

підсумкових модулів – 1

змістових модулів – 3</td><td rowspan="19">Галузь знань
<u>12</u> <u>інформаційні технології</u>
(шифр і назва)

Спеціальність
126 - <u>інформаційні системи та технології</u>
(код і назва)

Рівень вищої освіти:
бакалавр</td><td colspan="2">Нормативна / за вибором (ВНЗ/студента)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>3-й</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td>6-й</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Лекції</td></tr>
<tr><td>32 год.</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Практичні, семінарські</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторні</td></tr>
<tr><td>16 год.</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>72 год.</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">модульний контроль</td></tr>
<tr><td>1</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Форма підсумкового контролю:</td></tr>
<tr><td>іспит</td><td></td></tr>
</table>

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Дисципліна «Системний аналіз» є обов’язковою освітньою компонентою освітньої програми. У цьому курсі викладені основні положення теорії систем та системного аналізу, методи аналізу систем та методи побудови математичних моделей систем, розглянуто різні типи систем, моделями яких є графи, та представлено методи розв'язання оптимізаційних задач на графах. Крім того, значну увагу приділено задачам календарного планування та задачам багатокрокової оптимізації, оптимізаційним методам мережевого програмування та методу динамічного програмування.

Метою викладання навчальної дисципліни «Системний аналіз» є сформувати знання, вміння та навички, необхідні для раціонального використання знань з теорії систем і системного аналізу при розв’язуванні конкретних прикладних задач.

Основними **завданнями** вивчення дисципліни «Системний аналіз» є такі: розвиток системного мислення і забезпечення його гнучкості при вирішенні теоретичних і практичних комплексних завдань, дати основні поняття теорії систем і системного аналізу, навчити розрізняти основні типи систем за різними класифікаціями, навчити аналізувати системи, визначати структуру, взаємозв’язки окремих її елементів і підсистем, їх функціональну спрямованість, взаємодію із зовнішнім середовищем, навчити будувати моделі систем у вигляді графів та розв’язувати оптимізаційні задачі на графах, навчити будувати моделі проектів у вигляді графів та визначати основні часові параметри проекту, навчити будувати моделі динамічного програмування для задач багатокрокової дискретної оптимізації та уміти розв’язувати такі задачі.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей**:

а) Інтегральна компетентність: Здатність розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми в області інформаційних систем та технологій, або в процесі навчання, що характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, які потребують застосування теорій та методів інформаційних технологій.

б) загальних :

КЗ 1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

КЗ 2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

КЗ 3. Здатність до розуміння предметної області та професійної діяльності.

КЗ 5. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

КЗ 6. Здатність до пошуку, оброблення та узагальнення інформації з різних джерел.

КЗ 11. Здатність застосовувати базові знання з фундаментальної та прикладної математики в професійній діяльності.

в) спеціальних фахових:

КС 1. Здатність аналізувати об’єкт проектування або функціонування та його предметну область.

КС 11. Здатність до аналізу, синтезу і оптимізації інформаційних систем та технологій з використанням математичних моделей і методів.

КС 15. Здатність до математичного та логічного мислення, а також до використання математичного апарату фундаментальної та прикладної

математики під час розв'язання прикладних і наукових завдань в області інформаційних систем і технологій.

КС 17. Здатність розробляти та застосовувати моделі відображення знань, стратегії логічного виведення, технологій інженерії знань, технологій і інструментальних засобів побудови інтелектуальних систем, а також методи машинного навчання.

КС 18. Здатність використовувати чисельні методи та методи наближених обчислень для розв'язання прикладних задач у формі проектних розрахунків або чисельного експерименту по певному процесу.

КС 19. Здатність виконувати інформаційне моделювання предметних областей інформаційних систем, проектувати логічні та фізичні моделі баз даних та створювати запити до них.

Очікувані результати навчання. У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати: основні теоретичні положення теорії систем і системного аналізу, основну термінологію, поняття та методологію, що використовується в системному аналізі; принципи поділу систем, основні типи систем за різними класифікаціями, методи формалізації опису структури системи на основі графічних моделей, постановки задач, в яких моделями є графи, методи розв'язання основних типів задач на графах: задача мінімізації мережі, задача про найкоротший шлях, задача про максимальний потік, задача побудови оптимальних маршрутів, основні положення методу календарного програмування, основні принципи, елементи моделі та схему реалізації алгоритму методу динамічного програмування.

вміти: визначати типи систем за різними класифікаціями, виконувати якісний та кількісний аналіз систем управління з розподілом їх за типовими функціональними структурами; аналізувати системи, виділяючи її структурні елементи, взаємозв'язки між ними та функціональну спрямованість, розв'язувати конкретні задачі, в яких моделями є графи: задачу мінімізації мережі, задачу про найкоротший шлях, задачу про максимальний потік, задачу про побудову оптимальних маршрутів, будувати мережеві моделі проектів, розраховувати їх методами календарного програмування та оптимізувати їх, будувати модель динамічного програмування для задач багатокрокової дискретної оптимізації, розв'язувати такі задачі методом динамічного програмування.

Все це реалізовує набуття наступних програмних результатів навчання:

ПР 2. Застосовувати знання фундаментальних і природничих наук, системного аналізу та технологій моделювання, стандартних алгоритмів та дискретного аналізу при розв'язанні задач проектування і використання інформаційних систем та технологій.

ПР 4. Проводити системний аналіз об'єктів проектування та обґрунтовувати вибір структури, алгоритмів та способів передачі інформації в інформаційних системах та технологіях.

ПР 9. Здійснювати системний аналіз архітектури підприємства та його ІТ-інфраструктури, проводити розроблення та вдосконалення її елементної бази і структури.

ПР 15. Моделювати системи та процеси, стани та поведінки складних об'єктів інформатизації в процесі розроблення інформаційних систем і технологій.

3. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1.

Тема 1. Предмет, особливості, сфера застосування теорії систем і системного аналізу. Визначення системи. Історія розвитку системних представлень та системного підходу. Системний аналіз. Системний підхід. Методологія та принципи системного підходу.

Тема 2. Основні поняття теорії систем. Задачі, принципи та категорії теорії систем та системного аналізу. Системний аналіз. Задачі системного аналізу. Структура системного аналіза. Елементи системного аналізу. Ціль та труднощі цілепокладання. Методи системного аналізу: якісні та кількісні методи системного аналізу, методи типу «мозкова атака» або «колективна генерація ідей», методи типу «сценаріїв», методи експертних оцінок, методи типу «Делфі», методи типу дерева цілей, морфологічні методи, методи вирішальних матриць, системний економічний аналіз, системний аналіз складних систем.

Тема 3. Класифікація систем за різними ознаками. Елемент системи та його властивості. Зв'язки елементів, взаємодія, зовнішнє середовище. Стан та поведінка системи. Входи та виходи систем. Обмеження систем. Зворотній зв'язок. Структура систем. Системи та підсистеми. Властивості систем.

Змістовий модуль 2.

Тема 4. Оптимізація сітьових моделей.

Задачі моделями в яких є графи: мінімізація мережі, про найкоротший шлях, про максимальний потік. Методи розв'язання: Крускала, Дейкстри, Флойда, Форда-Фалкерсона. Задача побудови оптимальних маршрутів, метод Кларка-Райта.

Тема 5. Календарне планування. Основні поняття і правила побудови сітьових графіків. Роботи. Фіктивні роботи. Події. Шлях. Розрахунок мережевої моделі. Метод критичного шляху. Визначення ранніх та пізніх термінів настання події. Визначення критичного шляху. Часові параметри мережі. Резерви часу. Календарний графік (діаграма Ганта). Виконання проекту в інтенсивному режимі. Поступове стиснення графіку виконання проекту. Обчислення вартості проекту при стисненні графіка. Часові параметри мережі із ймовірностями. Сітьове планування в умовах невизначеності.

Змістовий модуль 3.

Тема 6. Динамічне програмування.

Загальна задача багатокрокових процесів прийняття рішень. Дискретні детерміновані багатокрокові процеси прийняття рішень. Інваріантне занурення. Принцип оптимальності. Модель динамічного програмування. Метод динамічного програмування. Рівняння Беллмана. Алгоритми прямої та оберненої прогонки.

Спрощена задача про вибір траєкторії. Одновимірні процеси розподілу. Опис процедури розподілу ресурсів. Обчислювальна схема. Аналіз обсягу обчислень. Задача розподілу ресурсів, задача про завантаження, задача про надійність, задача

про заміну обладнання, задача керування запасами, задача складування: постановка задачі, побудова моделі ДП, рівняння Беллмана.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви тем	Кількість годин									
	Денна форма					Заочна форма				
	Усього	у тому числі				Усього	у тому числі			
		л	п/с	лаб	ср		л	п/с	лаб	ср
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Змістовий модуль 1.										
Тема 1.	14	2			12					
Тема 2.	14	2			12					
Тема 3.	16	2		2	12					
Разом за змістовим модулем 1	44	6		2	36					
Змістовий модуль 2.										
Тема 4.	22	6		4	12					
Тема 5.	22	6		4	12					
Разом за змістовим модулем	44	12		8	24					
Змістовий модуль 3.										
Тема 6.	32	14		6	12					
Разом за змістовим модулем	32	14		6	12					
Усього годин	120	32		16	72					

4. Теми семінарських занять

Немає

5. Теми практичних занять

Немає

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Класифікація за різними ознаками та аналіз систем	2
2.	Задача мінімізації мережі. Метод Крускала. Задача про найкоротший шлях. Метод Дейкстри	2
3.	Задача про максимальний потік. Метод Форда-Фалкерсона. Задача побудови оптимальних маршрутів. Метод Кларка-Райта.	2

4.	Календарне планування і управління. Побудова мережевих графіків.	2
5.	Календарне планування і управління. Розрахунок мережевої моделі. Метод критичного шляху. Визначення ранніх та пізніх термінів настання події. Визначення критичного шляху. Часові параметри мережі. Резерви часу. Календарний графік - діаграма Ганта.	2
6.	Динамічне програмування. Задача розподілу ресурсів: постановка задачі, побудова моделі ДП, рівняння Беллмана.	2
7	Динамічне програмування. Задача про надійність, задача про заміну обладнання: постановка задачі, побудова моделі ДП, рівняння Беллмана.	2
8.	Динамічне програмування. Задача керування запасами, задача складування: постановка задачі, побудова моделі ДП, рівняння Беллмана.	2

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми/ види завдань	Кількість годин
1	Історія розвитку системних представлень та системного підходу.	12
2	Методи системного аналізу: якісні та кількісні методи, методи типу «мозкова атака» або «колективна генерація ідей», методи типу «сценаріїв», методи експертних оцінок, методи типу «Делфі», методи типу дерева цілей, морфологічні методи, методи вирішальних матриць.	12
3	Зв’язки елементів, взаємодія, зовнішнє середовище. Стан та поведінка системи. Входи та виходи систем. Обмеження систем. Зворотній зв’язок. Структура систем. Системи та підсистеми. Властивості систем	12
4	Модифікації алгоритму Крускала.Задача про найкоротший шлях: метод Флойда	12
5	Сітьове планування в умовах невизначеності.	6
6	Виконання проекту в інтенсивному режимі. Поступове стиснення графіку виконання проекту. Обчислення вартості проекту при стисненні графіка. Часові параметри мережі із ймовірностями.	6
7	Динамічне програмування. Загальна задача багатокрокових процесів прийняття рішень. Дискретні детерміновані багатокрокові процеси прийняття рішень. Інваріантне занурення. Принцип оптимальності. Модель динамічного програмування. Метод динамічного програмування. Рівняння Беллмана	6
8	Динамічне програмування. Спрощена задача про вибір траєкторії: стан, процес, побудова моделі ДП, рівняння Беллмана.	6

	Разом	72

10. Методи навчання

Метод проблемного викладення (наукового пошуку)

Пояснювально-ілюстративні методи:

- лекція
- пояснення
- інструктаж
- самостійне опрацювання літературних джерел
- робота з електронними конспектами лекцій та презентаціями

Інформаційно – повідомляючий метод

Наочні методи (презентації, ілюстрації)

Репродуктивні методи:

- закріплення вивченого на основі зразка (побудова моделей, розв'язування задач)
- розв'язування задач за алгоритмами конкретних методів
- вправи
- лабораторні роботи
- практичні роботи

Дослідницький метод

Методи формування і стимулювання пізнавальної діяльності:

- пізнавальні ігри
- навчальні дискусії
- аналіз життєвих ситуацій

11. Методи контролю

Методи усного контролю:

- фронтальне і індивідуальне усне опитування
- усний іспит

Методи письмового контролю:

- письмові самостійні і контрольні роботи
- тести
- письмовий іспит

12. Питання для підсумкового контролю

1. Предмет, особливості, сфера застосування теорії систем і системного аналізу.
2. Основні означення. Класифікація систем.
3. Графи як моделі систем. Задачі на графах та алгоритми їх розв'язання: задача мінімізації мережі, задача про найкоротший шлях, задача про максимальний потік.
4. Задача побудови оптимальних маршрутів. Алгоритм Кларка-Райта.
5. Календарне планування і управління. Основні поняття і правила побудови мережевих графіків. Операції. Фіктивні операції. Події. Шлях. Критичний шлях.

Побудова критичного шляху. Часові параметри мережі. Резерви часу. Календарний графік (діаграма Ганта).

6. Календарне планування і управління. Оптимізація мережевих моделей.

7. Метод динамічного програмування. Загальна задача багатокрокових процесів прийняття рішень. Дискретні детерміновані багатокрокові процеси прийняття рішень. Інваріантне занурення. Принцип оптимальності.

8. Метод динамічного програмування. Спрощена задача про вибір траєкторії. Стан, процес. Модель динамічного програмування. Алгоритми прямої та оберненої прогонки.

9. Одновимірні процеси розподілу. Опис процедури розподілу ресурсів. Вивід основного функціонального рівняння. Обчислювальна схема. Аналіз обсягу обчислень.

10. Моделі ДП: задача про надійність, задача про заміну обладнання, задача керування запасами, задача складування: постановка задачі, побудова моделі ДП, рівняння Беллмана.

13. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточний контроль						Модульний контроль	Сума балів
Змістовий модуль №1			Змістовий модуль № 2		Змістовий модуль № 3		
Тема1	Тема2	Тема3	Тема4	Тема5	Тема6	Іспит	
2	2	6	20	20	25	25	100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	**A**	відмінно	зараховано
85-89	**B**	добре	
75-84	**C**		
70-74	**D**	задовільно	
60-69	**E**		
35-59	**FX**	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	**F**	незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов’язковим повторним вивченням дисципліни

13. Методичне забезпечення

1. Арсирий А. В., Кичмаренко О.Д., Платонова Е.В.,. Трофимов Б. Ф. Теория систем и системный анализ. — Одесса: Издательство ОНПУ, 2017. — 72 с.

14. Рекомендована література

Основна

2. Іглін, С. П. Теорія графів. Лекції та варіанти індивідуальних домашніх завдань [Текст]: навчальний посібник / І-26 С. П. Іглін. – Харків: НТУ "ХПІ" , 2017. – 146 с.
3. Забуранна Л.В. та ін. Оптимізаційні методи та моделі: Підручник. – Київ, 2014. – с.372
4. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. - М.:Наука, 1968
5. Robin J. Wilson Introduction to Graph Theory Fourth edition, Addison Wesley Longman Limited 1996 – 180 p.
6. Вагнер Г. Основы исследования операций: В 3-х томах, Т. 1. - М.: Мир, 1972. - 336 с.; Т. 2. - М.: Мир, 1973. - 488 с.; Т. 3. - М.: Мир, 1973. - 504 с.
7. Галкина В.А. Дискретная математика. Комбинаторная оптимизация на графах. — Москва: Издательство "Гелиос АРВ", 2003. — С. 75—94. — 232 с. — ISBN 5–85438–069–2.
8. Зайченко Ю.П. Исследование операций. - К.: Вища шк., 1988.
9. Исследование операций в экономике. / Под ред. Н.Ш.Кремера. - М.: Банки и биржи, 1997. - 407 с.
10. Лич, Лоуренс. Вовремя и в рамках бюджета: Управление проектами по методу критической цепи. / Пер. С англ. – М., 2010. – 254 с.
11. Моисеев Н. Н Математические задачи системного анализа. - М.: Наука, 1981. - 488с.
12. Томас Кормен; Чарльз Лейзерсон, Рональд Ривест, Клиффорд Штайн Алгоритмы: построение и анализ.3-е изд.: Пер с англ. – М., 2013. – 1328 с.
13. Моисеев Н. Н Математические задачи системного анализа. - М.: Наука, 1981. - 488с.
14. Таха Х. Введение в исследование операций. – М., СПб, К.:Вильямс, 2001.
15. Шарапов О.Д., Терехов Л.Л., Сіднев С.П. Системний аналіз: Навч. Посібник. – К.: Вища шк., 1993.
16. Armstrong-Wright, MICE, A. T. Critical Path Method: Introduction and Practice. Longman Group LTD, London, 1969.

Додаткова

17. Горстко А. Б. Познакомьтесь с математическим моделированием. - М.: Знание, 1991. - 160 с.
18. Евстигнеев В. А. Глава 3. Итеративные алгоритмы глобального анализа графов. Пути и покрытия // Применение теории графов в программировании / Под ред. А. П. Ершова. — Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. — С. 138—150. — 352 с.
19. Кабак Л.Ф., Суворовский А.А. Математическое программирование. - К.: ИМКВО, 1992.

20. Калихман И.С. Сборник задач по математическому программированию. - М.: Высш. Шк., 1975.
21. Михалевич В. С., Волкович В. Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. М.: Наука, 1982. - 288 с.
22. Ойстин Оре. Теория графов / Под ред. И. М. Овчинниковой. — Издательство наука, 1980. — 336 с.
23. Харари, Фрэнк Глава 2. Графы // Теория графов / под ред. Г. П. Гаврилов — М.: Мир, 1973. — С. 27. — 301 с.
24. Kelley, James; Walker, Morgan. Critical-Path Planning and Scheduling. 1959 Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference.
25. Kelley, James; Walker, Morgan. The Origins of CPM: A Personal History. PMNETwork 3(2):7–22.
26. Moore E. F. The shortest path through a maze // Proceedings of an International Symposium on the Theory of Switching (Cambridge, Massachusetts, 2–5 April 1957) — Harvard University Press, 1959. — Vol. 2. — P. 285–292. — 345 p. — (Annals of the Computation Laboratory of Harvard University; Vol. 30)
27. Santiago, Jesse (February 4, 2009). "Critical Path Method" (PDF). Stanford.
28. Newell, Michael; Grashina, Marina (2003). The Project Management Question and Answer Book. American Management Association. p. 98.
29. Thayer, Harry (1996). Management of the Hanford Engineer Works in World War II, How the Corps, DuPont and the Metallurgical Laboratory fast tracked the original plutonium works. ASCE Press, pp. 66–67.

15. Електронні інформаційні ресурси

30. Schrijver, Alexander, «On the history of the transportation and maximum flow problems», Mathematical Programming 91 (2002)
31. Andrew V. Goldberg[en] and Robert E. Tarjan (1988). A new approach to the maximum-flow problem. Journal of the ACM (New York, New York, U.S.: ACM Press) 35 (4): 921–940. ISSN 0004-5411. doi:10.1145/48014.61051.
32. Виталий Осипов, Поиск кратчайших путей в дорожных сетях: от теории к реализации на YouTube.
33. Cherkassky B. V., Goldberg A. V., Radzik T. Shortest paths algorithms: Theory and experimental evaluation // Math. Prog. — Springer Science+Business Media, 1996. — Vol. 73, Iss. 2. — P. 129–174. — ISSN 0025-5610; 1436-4646 — doi:10.1007/BF02592101
34. Dijkstra E. W. A note on two problems in connexion with graphs // Numer. Math — Springer Science+Business Media, 1959. — Vol. 1, Iss. 1. — P. 269–271. — ISSN 0029-599X; 0945-3245 — doi:10.1007/BF01386390
35. Shimbel, Alfonso. Structural parameters of communication networks (неопр.) // Bulletin of Mathematical Biophysics. — 1953. — Т. 15, № 4. — С. 501—507. — doi:10.1007/BF02476438.
36. Chen, Danny Z. Developing algorithms and software for geometric path planning problems (англ.) // ACM Computing Surveys (англ.)русск. : journal. — 1996. — December (vol. 28, no. 4es). — P. 18. — doi:10.1145/242224.242246.

37. Abraham, Ittai; Delling, Daniel; Goldberg, Andrew V.; Werneck, Renato F. A Hub-Based Labeling Algorithm for Shortest Paths on Road Networks. Symposium on Experimental Algorithms] (англ.) : journal. — 2011. — P. 230—241.
38. Kroger, Martin. Shortest multiple disconnected path for the analysis of entanglements in two- and three-dimensional polymeric systems (англ.) // Computer Physics Communications (англ.)русск. : journal. — 2005. — Vol. 168, no. 168. — P. 209—232. — doi:10.1016/j.cpc.2005.01.020.
39. Hendrickson, Chris; Tung, Au (2008). "11. Advanced Scheduling Techniques". Project Management for Construction. cmu.edu (2.2 ed.). Prentice Hall. ISBN 0-13-731266-0. Archived from the original on March 24, 2017. Retrieved October 27, 2011.
40. Samuel L. Baker, Ph.D. "Critical Path Method (CPM)" Archived June 12, 2010, at the Wayback Machine University of South Carolina, Health Services Policy and Management Courses