МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра автомобильных дорог, мостов и тоннелей

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Методические указания к выполнению
курсовой работы по дисциплине
«Экономико-математические методы проектирования
городских улиц и дорог»
для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01
«Строительство», профиль «Автомобильные дороги»
дневной и заочной формы обучения

Казань
2014

УДК 331
ББК 65.050
М 12

М 12 Экономико-математические методы проектирования транспортных сооружений: Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Экономико-математические методы проектирования городских улиц и дорог» для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги» дневной и заочной формы обучения / Сост.: Л.Ф. Мавлиев, Е.А.Вдовин. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2014. – 24 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В методических указаниях представлены задачи для курсового проекта.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги» дневной и заочной формы обучения.

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент
Д.С. Смирнов

УДК 69.003
ББК 65.31
© Казанский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2014

© Мавлиев Л.Ф.,
Вдовин Е.А.,
2014

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания предназначены для самостоятельной работы студентов, изучающих дисциплину «Экономико-математические методы проектирования городских улиц и дорог»

Основным направлением выбора примеров и задач являются разделы научного использования экономико-математических методов в проектировании транспортного и дорожного строительства. К рассмотрению задач на практических занятиях приняты следующие разделы:

- Алгебраические модели;
- Методы теории вероятности;
- Методы линейного математического программирования;
- Методы теории массового обслуживания;
- Теория надежности в проектировании транспортных сооружений.

В каждом разделе находятся отдельные виды задач.

Раздел «алгебраические модели» содержит следующий перечень применяемых методов:

- Метод сравнительной экономической эффективности для двух случаев – выбор из альтернативных вариантов дорог один при существующей дороге и выбор экономичного варианта дороги при наличии нескольких вариантных предложений;
- Метод приведенных затрат, состоящих из капитальных, эксплуатационных и транспортных затрат на использование имеющейся или проектируемой трассы;
- Метод минимизации капитальных затрат, решающий задачу оптимизации выбора высоты насыпи в зависимости от дальности доставки строительного материала, качества покрытия, типа местности по увлажнению и толщины конструкции дорожной одежды;
- Метод минимизации энергозатрат решает задачи поиска возможности использования объездной местной дороги для пропуска транзитного транспорта во время закрытия автомагистрали для реконструкции или ремонта;
- Метод экстремального анализа решает вопросы оптимизации сочетания высоты насыпи с толщиной дорожной одежды.

Раздел «методы применения теории вероятности» рассматривает следующий перечень задач:

- Определение вероятности безотказной работы одного или нескольких дорожно-строительных механизмов;

- Прогнозирование интенсивности движения автомобильного транспорта по конкретной дороге и построение ряда распределения данной случайной величины;
- Проверка гипотезы выбранного ряда распределения случайной величины.

Раздел «метод линейного математического программирования» основан на моделировании задач проектирования транспортных сооружений и содержит следующий перечень задач и методов:

- Оптимизация закрепления поставщиков дорожных материалов к объектам строительства;
- Оптимизация распределения строительной техники по дорожным объектам;
- Решение задач строительства дорожных объектов при минимизации затрат материальных ресурсов или достижения максимального экономического эффекта;
- Графический метод решения задач дорожного строительства;
- Метод целочисленного линейного программирования.

Раздел «методы теории массового обслуживания» рассматривает вопросы оптимального сочетания различных видов транспорта и видов работ:

- Поиск состава бригады техники для выполнения работ по заготовке строительного материала, погрузке его в транспортное средство, перевозке до объекта и возврат к месту погрузки.

Раздел «теория надежности в проектировании транспортных сооружений» предусматривает проверку качества следующих производственных работ:

- Возведение земляного полотна и его устойчивость;
- Устройство дорожной одежды и ее срок службы;
- Установка водопропускных труб и строительство малых мостов;
- Укладка асфальтобетона и его долговечность;
- Качество основания из щебня и его прочностные показатели.

Каждый студент получает от преподавателя задание, в котором указываются конкретные задачи. Студент самостоятельно выбирает тот или иной метод решения задачи из полного набора экономико-математических методов, дает обоснование выбранного метода, выполняет расчеты и делает выводы о результатах вычислений.

1. АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

1.1. Задачи на использование метода сравнительной экономической эффективности.

1.1.1. Между пунктами ***A*** и ***B*** существует автомобильная дорога, проходящая через пункт ***D.*** Произведенные в строительство дороги капитальные вложения K_1***=200ед***. Годовые дорожно-транспортные эксплуатационные расходы составляют $Э_1$ ***= 50 ед***.

Требуется выбрать объездную дорогу из альтернативных вариантов (Таблица 1.1.1.).

Таблица 1.1.1.

Затраты альтернативных вариантов строительства дорог

№ п/п	Эксплуатационные затраты, ед./год			Капитальные затраты, ед.		
	$Э_2$	$Э_3$	$Э_4$	$К_2$	$К_3$	$К_4$
1	2	3	4	5	6	7
1	60	80		190	180	
2	70	90		195	190	
3	80	90		180	185	
4	90	100		175	195	
5	45	40	60	210	220	190
6	40	35	80	215	210	180
7	30	40	70	220	215	195
8	25	20	90	230	225	190
9	60	40		190	220	
10	80	45		180	210	
11	70	35		195	210	
12	90	30		195	220	
13	30	45	90	210	215	175
14	30	55	100	220	195	195
15	40	60	110	210	190	140
16	50	70	120	195	180	120
17	60	70		190	185	
18	100	110		200	190	
19	100	120		140	100	
20	120	130		150	130	
21	45	35	30	210	230	260
22	100	50	20	150	190	250
23	90	50	20	100	180	260
24	30	35	40	250	240	230
25	10	70		300	180	

26	20	80		280	160	
27	30	90		260	140	
28	40	100		240	120	
29	50	110		220	100	
30	60	120		200	80	

1.1.2. Между пунктами ***А*** и ***В*** требуется построить автомобильную дорогу. Имеется три альтернативных варианта строительства. Требуется выбрать наиболее экономичную дорогу по приведенным в таблице 1.1.2. капитальным и эксплуатационным затратам.

Таблица 1.1.2.

Затраты вариантов строительства дорог

№ п/п	**Эксплуатационные затраты, ед./год**			**Капитальные затраты, ед.**		
	$Э_1$	**$Э_2$**	**$Э_3$**	**$К_1$**	**$К_2$**	**$К_3$**
1	2	3	4	5	6	7
1	90	95	100	330	310	300
2	95	100	105	320	300	280
3	100	110	110	300	290	260
4	105	115	120	250	280	260
5	115	120	125	280	260	220
6	120	130	130	260	300	340
7	125	135	140	280	270	250
8	135	140	145	270	250	220
9	140	150	150	250	240	230
10	145	155	160	290	260	240
11	155	160	165	235	240	260
12	160	170	170	240	215	200
13	165	175	180	270	260	230
14	175	180	185	235	230	210
15	180	190	195	230	220	210
16	185	195	200	300	220	210
17	195	200	190	220	210	230
18	200	180	160	210	230	260
19	170	150	80	140	150	310
20	140	80	75	100	310	320
21	80	75	70	310	330	340
22	70	65	60	260	300	330
23	65	60	55	300	330	340
24	60	55	50	330	350	360
25	55	45	40	290	330	350

26	45	40	35	320	350	360
27	40	35	30	350	360	370
28	35	25	20	280	350	400
29	25	20	15	350	400	420
30	20	15	10	400	410	430

1.2. Задачи на использование метода минимизации энергозатрат.

При реконструкции автомагистрали для пропуска транзитного движения планируется использовать объезд по дороге с покрытием переходного типа. Определить целесообразность уширения покрытия для обеспечения движения транспортных средств в течение заданного срока службы объезда. Исходные данные представлены в таблицах 1.2.1. – 1.2.3.

Таблица 1.2.1.

Общие сведения

№ п/п	Покрытие			Требуемый срок службы, сут.	Дальность возки (щебня, гравия), км	Коэф-т уплотнения в насыпи	Скорость движения на объезде, км/час	
	материал	толщина, см	уширение, м				до уширения	после уширения
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	щебень	20	1,0	5	60	1,26	10	30
2	щебень	21	1,5	6	50	1,26	15	32
3	щебень	22	2,0	7	40	1,26	18	34
4	гравий	18	1,0	8	50	1,15	9	25
5	гравий	20	1,5	9	40	1,15	12	30
6	гравий	22	2,0	10	30	1,15	15	40
7	щебень	23	2,5	5	30	1,26	15	40
8	щебень	24	3,0	6	20	1,26	16	40
9	щебень	25	3,5	7	15	1,26	17	40
10	щебень	26	4,0	8	10	1,26	18	40
11	гравий	24	2,5	9	30	1,15	10	25
12	гравий	26	3,0	10	25	1,15	12	30
13	гравий	28	3,5	5	20	1,15	14	35
14	щебень	24	4,5	6	60	1,26	15	30
15	щебень	25	5,0	7	55	1,26	16	35
16	щебень	26	5,5	8	50	1,26	17	40
17	щебень	27	6,0	9	20	1,26	18	45
18	щебень	28	6,5	10	15	1,26	19	50
19	гравий	18	4,0	5	30	1,15	11	20
20	гравий	20	4,5	6	25	1,15	12	25
21	гравий	22	5,0	7	20	1,15	13	30

22	щебень	20	1,0	8	70	1,26	15	45
23	щебень	22	1,5	9	60	1,26	15	50
24	щебень	24	2,0	10	50	1,26	15	55
25	щебень	26	2,5	5	40	1,26	15	60
26	щебень	28	3,0	6	30	1,26	20	50
27	гравий	18	2,0	7	70	1,15	11	28
28	гравий	19	2,5	8	50	1,15	12	30
29	гравий	20	3,0	9	30	1,15	13	32
30	гравий	21	3,5	10	10	1,15	14	34

Таблица 1.2.2.

Строительная техника

№ п/п	Виды строительной техники											
	автомобиль			экскаватор			автогрейдер			каток		
	кол-во, шт	мощ-ность, л.с.	V^*, $м^3$	кол-во, шт	мощ-ность, л.с.	$П^*$, $м^3/ч$	кол-во, шт	мощ-ность, л.с.	$П^*$, $м^3/ч$	кол-во, шт	мощ-ность, л.с.	$П^*$, $м^2/ч$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	130	2,5	1	120	25	2	200	80	1	185	75
2	3	130	2,5	1	120	25	2	200	80	1	185	75
3	4	130	2,5	1	120	25	2	200	80	1	185	75
4	5	130	2,5	1	120	25	2	200	80	1	185	75
5	2	150	3,0	2	100	20	1	180	65	1	170	70
6	3	150	3,0	2	100	20	1	180	65	1	170	70
7	4	150	3,0	2	100	20	1	180	65	1	170	70
8	5	150	3,0	2	100	20	1	180	65	1	170	70
9	2	180	3,5	3	90	15	2	160	60	1	155	60
10	3	180	3,5	3	90	15	2	160	60	1	155	60
11	4	180	3,5	3	90	15	2	160	60	1	155	60
12	5	180	3,5	3	90	15	2	160	60	1	155	60
13	2	220	4,0	1	150	35	1	200	80	2	130	50
14	3	220	4,0	1	150	35	1	200	80	2	130	50
15	4	220	4,0	1	150	35	1	200	80	2	130	50
16	5	220	4,0	1	150	35	1	200	80	2	130	50
17	1	180	3,5	2	120	25	2	180	65	2	130	50
18	2	180	3,5	2	120	25	2	180	65	2	130	50
19	3	180	3,5	2	120	25	2	180	65	2	130	50
20	4	180	3,5	2	120	25	2	180	65	2	130	50
21	5	180	3,5	2	120	25	2	180	65	2	130	50
22	1	150	3,0	3	100	20	1	160	60	2	170	70
23	2	150	3,0	3	100	20	1	160	60	2	170	70
24	3	150	3,0	3	100	20	1	160	60	2	170	70
25	4	150	3,0	3	100	20	1	160	60	2	170	70
26	5	150	3,0	3	100	20	1	160	60	2	170	70
27	1	130	2,5	1	120	25	2	180	65	1	185	75
28	2	130	2,5	1	120	25	2	180	65	1	185	75

29	3	130	2,5	1	150	35	1	200	80	1	185	75
30	4	130	2,5	1	150	35	1	200	80	1	185	75

* **V** – вместимость кузова, $м^3$;
П – производительность, $м^3$/час, $м^2$/час.

Таблица 1.2.3.

Состав транзитного транспорта

№ п/п	Виды транзитного транспорта с грузоподъемностью									
	до 2т		(2-5)т		(5-8)т		(8-11)т		св. 11т	
	кол-во, шт	мощ-ность, л.с.	кол-во, шт	мощ-ность, л.с.	кол-во, шт	мощ-ность, л.с.	кол-во, шт	мощ-ность, л.с.	кол-во, шт	мощ-ность, л.с.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	200	95	100	130	300	180	200	210	300	240
2	400	95	200	130	280	180	190	210	310	240
3	600	95	300	130	260	180	180	210	320	240
4	800	95	400	130	240	180	170	210	330	240
5	1000	95	500	130	220	180	160	210	340	240
6	1200	95	600	130	200	180	150	210	350	240
7	1400	95	700	130	180	180	140	210	250	240
8	1600	95	800	130	160	180	130	210	240	240
9	2000	95	900	130	140	180	120	210	230	240
10	2200	95	1000	130	120	180	110	210	220	240
11	2400	95	1100	130	1000	180	100	210	210	240
12	2600	95	1200	130	800	180	200	210	200	240
13	2800	95	1300	130	600	180	190	210	190	240
14	3000	95	1400	130	400	180	180	210	180	240
15	200	95	1500	130	200	180	170	210	350	240
16	400	95	1600	130	300	180	160	210	340	240
17	600	95	1700	130	280	180	150	210	330	240
18	800	95	1800	130	260	180	140	210	320	240
19	1000	95	1900	130	220	180	130	210	310	240
20	1200	95	2000	130	200	180	120	210	300	240
21	1400	95	2100	130	190	180	110	210	290	240
22	1600	95	2200	130	180	180	100	210	280	240
23	1800	95	2300	130	170	180	200	210	270	240
24	2000	95	2400	130	160	180	190	210	260	240
25	2200	95	2500	130	150	180	180	210	250	240
26	2400	95	2600	130	140	180	170	210	240	240
27	2600	95	2700	130	130	180	160	210	230	240
28	2800	95	2800	130	120	180	150	210	220	240

29	3000	95	2900	130	110	180	140	210	210	240
30	4000	95	3000	130	100	180	130	210	200	240

1.3. Задачи на использование метода минимизации капитальных затрат.

Установить оптимальную высоту насыпи, при которой суммарная стоимость возведения земляного полотна и дорожного покрытия будет минимальна.

Таблица 1.3.

Исходные данные

№ п/п	Толщина дорожного покрытия, см		Дальность доставки, км		Тип местности по увлажнению
	щебень	гравий	щебня	гравия	
1	2	3	4	5	6
1	15	10	50	40	1
2	18	10	45	35	2
3	21	10	40	30	3
4	24	10	35	25	1
5	27	10	30	20	2
6	30	10	25	15	3
7	10	15	60	50	1
8	10	18	50	45	2
9	10	21	40	40	3
10	10	24	30	35	1
11	10	27	20	30	2
12	10	30	10	25	3
13	12	14	21	30	1
14	13	17	22	29	2
15	14	21	23	28	3
16	15	24	24	27	1
17	16	27	25	26	2
18	17	30	26	25	3
19	15	15	27	31	1
20	18	15	28	32	2
21	21	15	29	33	3
22	24	15	30	34	1
23	27	15	31	35	2
24	30	15	32	36	3
25	8	25	50	37	1
26	10	30	45	38	2

27	12	35	40	39	3
28	35	12	35	40	1
29	30	10	30	41	2
30	25	8	25	42	3

1.4. Задачи на использование метода экстремального анализа.

Определить высоту насыпи, при которой стоимость возведения дорожной конструкции будет минимальна.

Таблица 1.4.

Исходные данные

№ п/п	Коэффициенты функций, тыс.руб.		Показатели степени	
	$a_1/10^3$	$a_2/10^3$	p	q
1	2	3	4	5
1	100	400	12	20
2	120	380	6	10
3	140	360	2	10
4	160	320	1	7
5	180	300	1	5
6	200	280	1	3
7	220	260	1	2
8	240	240	14	18
9	260	220	2	14
10	280	200	2	10
11	300	180	2	6
12	320	160	2	4
13	340	140	2	2
14	360	120	1	1
15	380	100	18	14
16	400	120	4	12
17	380	140	3	9
18	360	160	1	7
19	340	180	4	2
20	320	200	3	1
21	300	220	2	1
22	280	240	2	4
23	260	260	4	4
24	240	280	6	2
25	220	300	6	6
26	200	320	8	4
27	180	340	10	2

28	160	360	10	6
29	140	380	22	10
30	120	400	26	6

2. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

2.1. Вероятности наступления события.

2.1.1. Определить вероятность безотказной работы всех механизмов: бульдозера, экскаватора и асфальтоукладчика.

2.1.2. Определить вероятность безотказной работы какого-либо механизма.

2.1.3. Определить вероятность отказа какого-либо механизма.

2.1.4. Определить вероятность безотказной работы экскаватора и асфальтоукладчика и отказа бульдозера.

Таблица 2.1.

Исходные данные

№	Вероятность безотказной работы			Вероятность отказа		
п/п	*Р(Б)*	*Р(Э)*	*Р(А)*	$P(\overline{Б})$	$P(\overline{Э})$	$P(\overline{A})$
1	2	3	4	5	6	7
1	0,9	0,8	0,7	-	-	-
2	0,85	0,8	0,9	-	-	-
3	0,8	-	0,6	-	0,3	-
4	0,7	0,9	-	-	-	0,4
5	0,6	0,7	0,8	-	-	-
6	0,9	0,5	-	-	-	0,5
7	-	0,7	0,8	0,2	-	-
8	-	-	0,7	0,1	0,2	-
9	-	-	-	0,3	0,1	0,4
10	-	0,8	-	0,2	-	0,3
11	0,5	0,9	0,9	-	-	-
12	0,8	0,7	0,4	-	-	-
13	0,9	-	-	-	0,2	0,6
14	-	0,5	-	0,4	-	0,1
15	-	-	0,8	0,2	0,2	-
16	0,8	0,6	-	-	-	0,3
17	0,8	0,9	-	-	-	0,1
18	0,7	0,8	0,9	-	-	-
19	-	-	0,8	0,3	0,4	-
20	-	0,7	-	0,2	-	0,4
21	0,9	0,9	0,9	-	-	-
22	0,7	0,6	0,5	-	-	-

23	0,8	0,9	0,7	-	-	-
24	-	0,5	-	0,5	-	0,5
25	-	-	0,8	0,2	0,1	-
26	0,7	-	0,7	-	0,3	-
27	0,9	0,4	0,5	-	-	-
28	-	-	-	0,9	0,4	0,5
29	-	-	0,7	0,6	0,3	-
30	-	-	-	0,2	0,3	0,4

2.2. Законы распределения случайных величин.

Имеются данные наблюдений за длительностью выполнения дорожной работы на объектах.

N_i: *2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 4,5 5,0 5,5 6,0 6,5 7,0 7,5*

Определить характеристики случайных величин, построить график и выдвинуть гипотезу о законе распределения если задана частота (f_i) повторений данной длительности дорожной работы.

Таблица 2.2.

Частота повторений длительности дорожной работы

№ п/п	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2	5	11	18	24	20	15	9	3	1	-	-
2	3	11	19	22	18	14	10	5	3	1	-	-
3	5	7	6	5	6	7	6	5	6	6	-	-
4	4	18	24	21	14	12	9	6	3	1	-	-
5	4	5	7	11	14	17	20	22	15	3	-	-
6	29	7	2	6	10	15	22	29	-	-	-	-
7	30	20	14	11	8	5	2	7	30	-	-	-
8	-	2	5	11	18	24	20	15	9	3	1	-
9	-	1	5	12	17	19	18	13	5	3	2	-
10	-	8	7	8	9	7	8	7	8	9	8	-
11	-	3	15	22	20	17	14	11	7	5	4	-
12	-	1	3	6	9	12	15	17	24	16	4	-
13	-	21	3	6	9	12	16	21	-	-	-	-
14	-	40	30	22	14	11	8	5	2	8	40	-
15	-	-	2	5	11	18	24	20	15	9	3	1
16	-	-	2	6	11	16	19	17	12	8	4	1
17	-	-	10	11	10	12	10	11	10	11	12	10
18	-	-	4	16	24	17	15	12	9	6	3	1
19	-	-	1	3	5	8	12	16	21	24	20	5
20	-	-	30	7	2	5	8	11	14	20	30	-

21	-	-	29	22	15	10	6	2	7	29	-	-
22	4	9	14	20	28	22	16	11	5	2	-	-
23	3	10	15	22	20	16	11	6	3	1	-	-
24	12	13	12	11	12	13	12	11	12	11	-	-
25	5	20	24	21	16	12	8	5	3	1	-	-
26	1	3	6	9	12	14	21	24	18	4	-	-
27	40	8	2	5	8	11	14	22	30	40	-	-
28	21	16	12	9	6	3	21	-	-	-	-	-
29	-	-	4	9	14	20	28	22	16	11	5	2
30	-	-	5	10	15	25	22	17	14	10	6	3

2.3. Статистическая проверка гипотез.

Имеются данные наблюдений количества автомашин, прошедших через сечение дороги за минутный период.

N_i: 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Доказать гипотезу (или опровергнуть ее) что распределение случайной величины подчинено закону Пуассона.

Таблица 2.3.

Частота повторений данных наблюдений

№ п/п	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	21	34	24	13	5	3	0						
2	14	26	28	19	10	5	2	1	0				
3	9	22	27	21	13	7	3	2	1	0			
4	5	15	20	23	17	11	6	3	2	1	0		
5	3	11	17	22	19	14	10	6	4	2	1	0	
6	1	7	15	20	22	17	12	7	4	2	1	1	0
7	1	5	11	17	19	17	13	9	5	3	2	1	1
8	1	6	13	19	23	18	14	10	6	4	2	1	0
9	4	10	16	21	18	14	10	7	4	3	1	0	
10	5	14	19	22	16	12	7	4	2	1	0		
11	8	21	26	20	13	8	4	1	1	0			
12	13	25	27	18	9	5	2	1	0				
13	22	35	24	14	6	3	0						
14	20	33	25	15	7	4	0						
15	12	24	26	17	10	6	3	1	0				
16	7	20	26	19	14	7	3	2	1	0			
17	3	11	17	22	18	13	10	7	4	2	0		
18	2	7	14	20	25	17	14	8	5	3	1	0	

19	2	4	12	18	22	17	13	8	5	3	2	1	0
20	1	4	11	19	23	18	14	10	6	4	2	1	1
21	1	6	16	20	24	19	12	8	6	4	2	1	0
22	2	10	16	22	19	15	11	7	4	2	1	0	
23	4	14	19	24	18	12	7	4	2	1	0		
24	8	21	28	22	16	11	6	3	1	0			
25	12	25	29	20	12	6	3	1	0				
26	20	35	27	18	9	4	0						
27	20	32	24	16	8	3	0						
28	14	24	30	22	14	6	3	1	0				
29	9	20	27	22	15	8	3	2	1	0			
30	5	15	21	26	19	12	6	3	2	1	0		

3. ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

3.1. Транспортная задача.

3.1.1. Имеются три карьера, в которых заготовлено $a_i(i = 1 \div 3)м^3$ щебня. Имеются три строительных объекта, в которых требуется $b_j(j=1 \div 3)м^3$ данного строительного материала. Известна стоимость перевозки 1м^3 щебня из каждого пункта заготовки в каждый пункт потребления $c_{ij}(i=1 \div 3;\ j=1 \div 3)$.

а) Определить опорный план перевозок диагональным методом и методом минимума стоимости по строке.

б) Определить опорный план перевозок методом минимума стоимости по строке при условии, что потребитель b_2 получит, как минимум, ½ своей потребности в щебне.

в) Определить оптимальный план закрепления потребителей к поставщикам.

Таблица 3.1.1.

Поставщики и потребители

№ п/п	**Поставщики**			**Потребители**		
	Наличие щебня, м^3			Потребность в щебне, м^3		
	a_1	a_2	a_3	$в_1$	$в_2$	$в_3$
1	2	3	4	5	6	7
1	2 000	20 000	8 000	10 000	12 000	14 000
2	2 500	19 000	6 000	9 000	8 000	7 000
3	3 000	18 000	4 000	8 000	10 000	8 000
4	3 500	17 000	2 000	7 000	9 000	7 000
5	4 000	16 000	-	6 000	9 000	8 000
6	4 500	15 000	8 000	5 000	14 000	9 000

7	5 000	14 000	6 000	4 000	18 000	6 000
8	5 500	13 000	4 000	3 000	15 000	3 000
9	6 000	12 000	2 000	8 000	6 000	5 000
10	6 500	11 000	-	7 000	5 000	4 000
11	7 000	10 000	8 000	9 000	9 000	9 000
12	7 500	9 000	6 000	8 000	8 000	5 000
13	8 000	8 000	4 000	7 000	7 000	7 000
14	8 500	7 000	2 000	6 000	9 000	6 000
15	9 000	6 000	-	6 000	6 000	6 000
16	9 500	5 000	8 000	5 000	7 000	8 000
17	10 000	4 000	6 000	6 000	7 000	8 000
18	10 500	3 000	4 000	7 000	4 000	6 000
19	11 000	2 000	2 000	7 000	4 000	4 000
20	11 500	12 000	-	8 000	8 000	8 000
21	12 000	11 000	8 000	9 000	10 000	10 000
22	12 500	10 000	6 000	9 000	9 000	9 000
23	13 000	9 000	4 000	9 000	8 000	10 000
24	13 500	8 000	2 000	8 000	6 000	10 000
25	14 000	7 000	-	7 000	8 000	7 000
26	14 500	6 000	8 000	6 000	10 000	14 000
27	15 000	5 000	6 000	6 000	9 000	13 000
28	15 500	4 000	4 000	5 000	8 000	12 000
29	16 000	3 000	2 000	4 000	7 000	11 000
30	16 500	2 000	-	4 000	6 000	10 000

Таблица 3.1.2.

Матрица транспортных издержек

№ п/п	Стоимость перевозки единицы продукта от поставщиков к потребителям, руб/м^3								
	$a_1в_1$	$a_1в_2$	$a_1в_3$	$a_2в_1$	$a_2в_2$	$a_2в_3$	$a_3в_1$	$a_3в_2$	$a_3в_3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	60	90	120	160	100	40	190	70	130
2	65	95	125	155	105	45	185	75	135
3	70	100	130	150	110	50	180	80	140
4	75	105	135	145	115	55	175	85	120
5	80	110	140	140	120	60	170	90	125
6	85	115	145	135	125	65	165	95	130
7	90	120	150	130	130	70	160	100	135
8	95	125	145	125	135	75	155	105	140
9	100	130	140	120	140	80	150	110	170
10	105	135	135	115	145	85	145	115	175

11	110	140	130	110	150	90	190	120	180
12	115	145	125	105	155	95	185	125	160
13	120	150	120	100	160	100	180	130	165
14	125	145	115	95	165	105	175	135	170
15	130	140	110	90	170	110	170	140	175
16	135	135	105	85	175	115	165	145	180
17	140	130	100	80	180	120	160	150	110
18	145	125	95	75	185	125	155	70	115
19	150	120	90	70	190	130	150	75	110
20	145	115	85	65	195	135	200	80	105
21	140	110	80	60	200	140	195	85	100
22	135	105	75	65	205	145	190	90	120
23	130	100	70	70	210	150	185	95	115
24	125	95	65	75	215	155	180	100	110
25	120	90	60	80	220	160	175	105	105
26	115	85	55	85	110	165	170	110	100
27	110	80	50	90	115	170	165	115	130
28	105	75	45	95	120	175	160	120	135
29	100	70	40	100	125	180	155	125	140
30	95	65	35	105	130	185	150	130	145

3.1.2. Имеются две базы, в которых сосредоточено $a_i(i=1\div2)$ штук погрузчиков. Имеются пять строительных объектов, в которых требуется $в_j(j=1\div5)$ штук данной техники для проведения погрузочных работ. Известна производительность погрузчиков на каждом строительном объекте, прибывших с обеих баз. Определить количество механизмов, которые должны поступить на каждый строительный объект, чтобы был достигнут максимум суточного производства работ. При расчетах использовать метод минимума по строке.

Таблица 3.1.3.

Базы и строительные объекты

№ п/п	**Базы**		**Строительные объекты**				
	Наличие погрузчиков, шт.		Потребность в погрузчиках, шт.				
	a_1	a_2	$в_1$	$в_2$	$в_3$	$в_4$	$в_5$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	30	16	10	10	8	12	7
2	29	19	8	12	10	6	9
3	28	22	9	9	9	9	9
4	27	25	10	11	12	13	10
5	26	28	11	10	9	11	15

6	25	31	12	14	16	10	8
7	24	17	8	7	6	5	13
8	23	20	4	8	18	16	5
9	22	23	5	8	14	12	9
10	21	26	6	9	13	10	11
11	20	29	7	10	12	11	7
12	25	32	16	14	12	10	8
13	24	18	14	12	10	3	2
14	23	21	12	10	8	5	7
15	22	24	12	8	6	12	10
16	21	27	10	6	14	15	2
17	20	30	8	13	9	7	11
18	19	33	7	15	11	9	8
19	18	19	7	9	10	4	10
20	17	22	6	12	8	6	8
21	16	25	6	12	8	10	4
22	15	28	5	10	13	9	8
23	30	12	5	8	12	9	6
24	29	15	4	6	10	12	14
25	28	18	4	7	9	16	12
26	27	21	3	5	14	15	9
27	26	24	3	4	20	14	11
28	25	10	2	3	11	10	10
29	24	13	10	10	9	9	8
30	23	16	10	9	8	7	6

Таблица 3.1.4.

Матрица суточной производительности погрузчиков

№ п/п	Суточная производительность погрузчиков, поступивших от базы на строительный объект *(a_ib_j)*, м^3/сут.									
	$a_1в_1$	$a_1в_2$	$a_1в_3$	$a_1в_4$	$a_1в_5$	$a_2в_1$	$a_2в_2$	$a_2в_3$	$a_2в_4$	$a_2в_5$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	25	30	35	40	45	50	40	30	20	10
2	26	29	32	35	38	27	30	33	36	39
3	27	25	23	21	19	21	23	25	27	29
4	28	21	50	23	25	20	22	24	26	28
5	29	17	46	25	31	19	21	23	25	27
6	30	13	42	27	37	18	23	28	33	38
7	31	9	38	29	43	17	24	31	38	45
8	32	50	36	31	49	16	23	30	37	44
9	33	47	32	33	55	48	42	36	30	24

10	34	44	28	35	12	47	43	39	35	31
11	35	41	24	37	18	46	44	42	40	38
12	36	38	20	39	24	45	41	37	33	29
13	37	35	16	41	30	44	40	36	32	28
14	38	32	12	43	36	43	42	41	40	39
15	39	29	17	45	42	42	38	34	30	26
16	40	26	22	47	48	41	39	37	35	33
17	41	23	27	49	54	40	42	44	30	20
18	42	20	32	51	50	39	43	52	40	30
19	43	17	37	53	46	38	45	52	50	40
20	44	50	42	20	42	37	43	49	55	48
21	45	48	47	23	38	36	40	44	48	52
22	46	46	52	26	34	35	41	47	53	16
23	47	44	48	29	30	34	39	44	49	54
24	48	42	44	32	28	33	43	53	40	35
25	49	40	40	35	24	32	37	42	47	52
26	50	38	36	38	20	31	35	39	43	47
27	51	36	32	41	16	30	34	38	42	46
28	52	34	28	44	12	19	25	31	42	53
29	53	32	24	47	14	22	26	30	34	38
30	54	30	20	50	16	25	31	37	43	49

3.2. Симплексный метод.

Распределить имеющиеся ресурсы дорожных материалов по объектам, чтобы достигался максимальный экономический эффект при наличии условий в виде системы линейных уравнений:

$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 \leq a_1$

$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 \leq a_2$

$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 \leq a_3$

и целевой функции

$Z = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \rightarrow max$

Таблица 3.2.1.

Коэффициенты при переменных

№ п/п	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{31}	a_{32}	a_{33}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	6	3	0	2	2	1	1	6
2	1	5	4	0	1	3	2	1	5
3	1	4	5	1	2	4	3	1	4
4	1	3	6	1	3	3	4	1	3
5	1	2	7	1	4	2	5	1	2

6	1	1	8	1	5	1	1	2	1
7	2	6	1	2	0	1	2	2	6
8	2	5	2	2	0	3	3	2	5
9	2	4	3	2	1	4	4	2	4
10	2	3	4	2	2	3	5	2	3
11	2	2	5	2	3	2	1	3	2
12	2	1	6	2	4	1	2	3	1
13	3	6	1	3	1	0	3	3	6
14	3	5	2	3	4	0	4	3	5
15	3	4	3	3	5	4	5	3	4
16	3	3	4	3	6	3	1	4	3
17	3	2	5	3	7	2	2	4	2
18	3	1	6	3	8	1	3	4	1
19	4	6	1	4	1	5	4	4	3
20	4	5	2	4	2	4	5	5	2
21	4	4	3	4	3	3	1	0	1
22	4	3	4	4	4	2	2	0	3
23	4	2	5	4	5	1	3	6	2
24	4	1	6	5	1	4	4	6	1
25	0	2	4	5	2	3	5	7	3
26	0	4	2	5	3	2	1	7	2
27	3	0	1	5	4	1	2	8	1
28	2	0	3	5	5	2	3	8	3
29	1	3	0	6	1	3	4	9	2
30	4	2	0	6	2	4	5	9	1

Таблица 3.2.2.

Ресурсы и экономическая оценка переменных

№ п/п	Ресурсы			Целевая функция		
	a_1	a_2	a_3	$в_1$	$в_2$	$в_3$
1	2	3	4	5	6	7
1	500	2 000	3 000	10	15	20
2	600	1 800	2 000	15	20	10
3	700	1 600	1 000	20	10	15
4	800	1 400	2 900	9	14	18
5	900	1 200	1 900	14	18	9
6	1 000	1 000	900	18	9	14
7	1 100	800	2 800	8	12	16
8	1 200	600	1 800	12	16	8
9	1 300	1 900	800	16	8	12
10	1 400	1 700	2 700	7	10	13

11	1 500	1 500	1 700	10	13	7
12	1 600	1 300	700	13	7	10
13	1 700	1 100	2 600	6	8	10
14	1 800	900	1 600	8	10	6
15	1 900	700	600	10	6	8
16	2 000	500	2 500	5	15	30
17	500	2 000	1 500	15	30	5
18	600	1 800	500	30	5	15
19	700	1 600	2 400	10	20	30
20	800	1 400	1 400	20	30	10
21	900	1 200	400	30	10	20
22	1 000	1 000	2 300	10	8	6
23	1 100	800	1 300	8	6	10
24	1 200	600	300	6	10	8
25	1 300	1 900	2 200	9	7	5
26	1 400	1 700	1 200	7	5	9
27	1 500	1 500	200	5	9	7
28	1 600	1 300	2 100	6	5	4
29	1 700	1 100	1 100	5	4	6
30	1 800	900	100	4	6	5

3.3. Графический метод решения.

Решить графическим путем задачу с двумя неизвестными при линейных ограничениях

$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \quad \leq, \geq a_1$

$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 \quad \leq, \geq a_2$

$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 \quad \leq, \geq a_3$

$a_{41}x_1 + a_{42}x_2 \quad \leq, \geq a_4$

и целевой функции

$$Z = в_1x_1 + в_2x_2 + c \rightarrow \frac{\max}{\min}$$

Таблица 3.3.1.

Коэффициенты при переменных

№ п/п	a_{11}	a_{12}	a_{21}	a_{22}	a_{31}	a_{32}	a_{41}	a_{42}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,5	1	2	3	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	2	1,5	1
3	1	0,5	0	0	0	0	2	1,5
4	1	-0,5	-3	2	2	2	2,5	2

5	-1	1	2	-3	1	3	2	2,5
6	0,5	2	0	0	3	1	1,5	3
7	2	1	3	-2	2	3	1	3,5
8	2	-1	0	0	3	2	0,5	4
9	-2	1	2	1	1	4	0	0
10	-1	2	0	0	4	1	1,5	-1
11	2	-2	2	-1	2	4	-2	1,5
12	2	0,5	0	0	4	2	2	-1,5
13	0,5	3	0	0	3	4	1,5	-2
14	-0,5	3	0	0	4	3	1,5	2
15	1	3	1	-2	1	5	2	3
16	-1	3	-1	-2	5	1	2	-3
17	2	3	0,5	2	2	5	0	0
18	0	0	-0,5	2	5	2	3	-2
19	3	0,5	2	0,5	3	5	3	-1,5
20	0	0	-2	0,5	5	3	3	3
21	3	1	0,5	-2	4	5	0	0
22	-3	1	0	0	5	4	4,5	1,5
23	3	2	1	4	1	6	0	0
24	-3	2	-1	4	6	1	0	0
25	0,5	-0,5	0	0	2	6	0,5	4,5
26	0,5	-1	4	1	6	2	1,5	4,5
27	0,5	-2	-4	1	3	6	2,5	4,5
28	0,5	-3	0	0	6	3	3,0	4,5
29	1	2	4	2	4	6	4	-1,0
30	0	0	4	-4	6	4	3,5	-2,0

Таблица 3.3.2.

Ресурсы и экономическая оценка переменных

№ п/п	Ресурсы				Значения переменных		Целевая функция		
	a_1	a_2	a_3	a_4	x_1	x_2	$в_1$	$в_2$	c
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	≤2	≥2	-	-	≥0	≥0	1	2	0
2	-	-	≥5	≤8	≥0	≥1	2	1	0
3	≥2	-	-	≤9	≥1	≥2	3	1	1
4	≤3	≥5	≥3	≤10	≥1	≥2	1	2	1
5	≥3	≤6	≥2	≤10	≥2	≥0	1	3	0
6	≤3	-	≥1	≤12	≥2	≥0	2	3	0
7	≥4	≤8	≥0	≤14	≥1	≥2	4	2	1
8	≤4	-	≥6	≤8	≥0	≥1	1	4	0

9	≥4	≤10	≥5	-	≥0	≤3	4	3	0
10	≥5	-	≥4	≤7,5	≤9	≥2	2	1	1
11	≤5	≤6	≥3	≥3	≥0	≥1, ≤4	1	2	2
12	≤5	-	≥2	≤3	≥0,5	≥3	2	4	2
13	≤6	-	≥1	≤4	≥0	≥0	3	4	0
14	≤6	-	≥0	≤5	≥0	≥0	2	3	2
15	≤6	≤4	≥6	≥6	≥0,5	≥1	3	1	0
16	≥7	≥2	≥5	≤15	≤5	≥-2	2	4	0
17	≤7	≤3	≥4	-	≥0,5	≥0	4	3	1
18	-	≥4	≥3	≤13	≥0,5	≥-0,5	1	4	1
19	≤8	≥5	≥2	≤12	≥1	≥-2	2	1	2
20	-	≥6	≥1	≤12	≥-0,5	≥1,5	1	3	1
21	≤8	≤7	≥0	-	≥1	≥-1	4	2	0
22	≥9	-	≥6	≤9	≤0	≥3	2	4	1
23	≤9	≤9	≥5	-	≥0	-	3	4	2
24	≥9	≤10	≥4	-	≥0, ≤3	≤7	2	3	1
25	≤2	-	≥3	≤4,5	≥0	≥0	3	1	2
26	≤6	≤12	≥2	≤4,5	≥0	≤0,5	4	3	2
27	≤3	≥8	≥1	≤10	≥-1	≥0	4	2	2
28	≤3	-	≥0	≤9	≥1	-	3	4	1
29	≤11	≤12	≥6	≤8	≥0	≥0	1	3	2
30	-	≤16	≥5	≥7	≤6	≥-1	1	4	2

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Методические указанию к выполнению
курсовой работы по дисциплине
«Экономико-математические методы проектирования
городских улиц и дорог»
для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01
«Строительство», профиль «Автомобильные дороги»
дневной и заочной формы обучения

Составители: Мавлиев Л.Ф., Вдовин Е.А.

Редактор Л.З. Ханафиева

Издательство
Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать		Формат60х84/16
Заказ №	Печать ризографическая	Усл.-печ. л.
Тираж	Бумага офсетная	Уч.-изд. л.

Отпечатано в полиграфическом секторе
Издательства КГАСУ
420043, г. Казань, ул. Зеленая, д.1