



МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

Н.П. ДОБРЯКОВА, В.С. РАЙГОРОДСКАЯ

ОРГАНИЗАЦИЯ, ПЛАНИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам по курсу
«Организация, планирование и управление
в строительстве»**

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(МАДИ)

Кафедра «Экономика дорожного хозяйства»

Утверждаю
Зав. кафедрой доцент
_____ Д.В. Зайцев
« ____ » _____ 2018 г.

Н.П. ДОБРЯКОВА, В.С. РАЙГОРОДСКАЯ

ОРГАНИЗАЦИЯ, ПЛАНИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам по курсу
«Организация, планирование и управление
в строительстве»

Второе издание, исправленное и дополненное

МОСКВА
МАДИ
2018

УДК 692:334.7
ББК 38.7:65.291.8
Д574

Добрякова, Н.П.

Д574 Организация, планирование и анализ строительной деятельности: методические указания к лабораторным работам по курсу «Организация, планирование и управление в строительстве» / Н.П. Добрякова, В.С. Райгородская. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: МАДИ, 2018. – 52 с.

В методических указаниях излагаются теоретические основы, методические примеры и исходные данные для выполнения лабораторных работ.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по курсу «Организация, планирование и управление в строительстве» обучающимися по направлению 08.05.01 «Строительство», профиль «Строительство уникальных зданий и сооружений».

УДК 692:334.7
ББК 38.7:65.291.8

Учебное издание

ДОБРЯКОВА Наталья Петровна
РАЙГОРОДСКАЯ Виктория Станиславовна

**ОРГАНИЗАЦИЯ,
ПЛАНИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ
СТРОИТЕЛЬНОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам по курсу
«Организация, планирование и управление
в строительстве»

Редактор В.В. Виноградова

Редакционно-издательский отдел МАДИ. E-mail: rio@madi.ru

Подписано в печать 01.03.2018 г. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 3,25. Тираж 100 экз. Заказ . Цена 110 руб.
МАДИ, Москва, 125319, Ленинградский пр-т, 64.

© МАДИ, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Учебным планом и рабочей программой курса «Организация, планирование и управление в строительстве» для очной формы обучения по направлению 8.05.01 «Строительство», профиль «Строительство уникальных зданий и сооружений» предусмотрено выполнение лабораторных работ, которые охватывают ключевые темы курса: анализ производственно-хозяйственной деятельности строительных организаций, организация и планирование материально-технического снабжения, сетевое планирование и управление, планирование и организация работы строительных машин, нормирование затрат труда на строительные процессы.

Настоящие методические указания содержат задания к лабораторным работам, краткие пояснения к их выполнению, методические примеры расчетов, исходные данные и список литературы. Все работы предусматривают выполнение компьютерных расчетов. Лабораторные работы 1–3 (автор – доцент Добрякова Н.П.) базируются на специально разработанном программном обеспечении, лабораторные работы 4–5 (автор – доцент Райгородская В.С.) выполняются с помощью встроенных возможностей программы Microsoft Office Excel.

Отчет по каждой лабораторной работе необходимо оформить на листах формата А4.

Оформленный отчет о работе просматривается преподавателем, в результате чего обучающийся допускается к ее защите или же работа возвращается на доработку. Обучающийся, не выполнивший и не защитивший хотя бы одну лабораторную работу, не допускается к сдаче экзамена.

Лабораторная работа №1
РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ
ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Теоретические основы лабораторной работы

В большом комплексе научных дисциплин на стыке экономики с математикой и кибернетикой, именуемом экономико-математическими методами, широкое практическое применение находят методы экономико-статистического моделирования, т.е. статистического анализа экономических процессов. Содержательные результаты, имеющие как научное, так и практическое значение, достигаются на основе применения одного из направлений этих методов – исследования корреляционных зависимостей и разработки регрессионных моделей, т.е. уравнений, выражающих взаимосвязи различных производственно-экономических показателей, рассматриваемых в общем случае в качестве случайных величин. Эти модели могут быть линейные и нелинейные, парные и множественные. Разработка моделей множественной линейной регрессии и их использование для анализа производственно-экономических показателей в дорожном хозяйстве и строительстве является содержанием настоящей лабораторной работы.

Модели множественной линейной регрессии имеют вид:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n.$$

Они выражают «стохастическую» связь между несколькими случайными величинами (некоторые из них могут быть неслучайными).

Связь называется «стохастической», если одна величина Y , являясь случайной величиной, реагирует на изменение другой величины X изменением своего закона распределения.

Частные случаи стохастической формы связи – корреляционная и регрессионная связь.

Две случайные величины являются корреляционно связанными, если математическое ожидание одной из них меняется в зависимости от изменения другой. Если одна из величин – неслучайная, то такую связь называют регрессионной.

Характеристикой «тесной связи» между двумя взаимно коррелированными величинами при линейной форме связи является **коэф-**

коэффициент корреляции. Он показывает: на сколько сигма σ_y изменяется в среднем Y , если аргумент X_i отклонится от своей средней на свое среднеквадратическое отклонение σ_{x_i} .

Если в процессе проведения эксперимента мы измеряем каждый раз значения одних и тех же двух показателей (x и y), то после проведения N испытаний мы будем иметь два ряда значений величин x и y :

$$X_1, X_2, \dots, X_n,$$

$$Y_1, Y_2, \dots, Y_n.$$

Чтобы определить, оказывает ли влияние изменение величины x (например, стажа работы рабочих по специальности) на величину y (например, уровень выполнения рабочими производственных норм) (рис. 1), рассчитывают коэффициент корреляции.

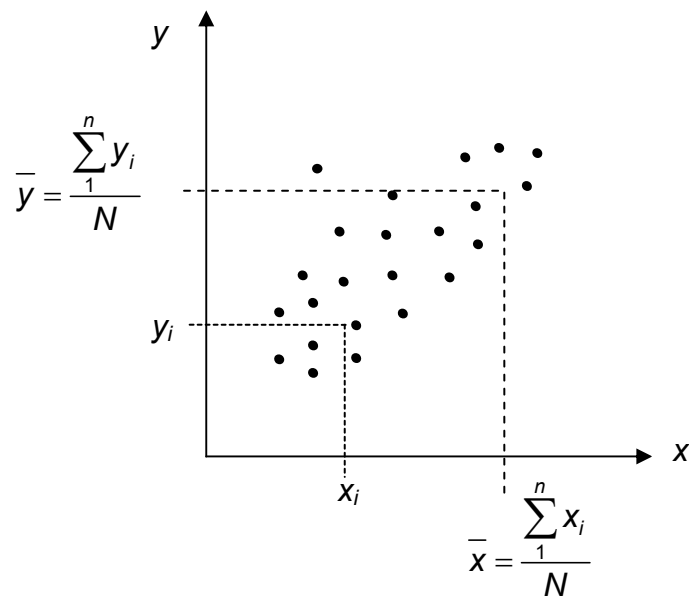


Рис. 1. Поле корреляции: N – число точек

Коэффициент корреляции рассчитывается по формуле:

$$r_{y,x} = \frac{1}{S_x \times S_y} \times \frac{1}{N-1} \times \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y}),$$

где

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N},$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N},$$

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1)$$

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2},$$

где S_x , S_y – стандартные отклонения (эмпирические стандарты) соответственно случайных величин x , y ; S_x^2 , S_y^2 – соответствующие эмпирические дисперсии.

На основании значения коэффициента корреляции судят о тесноте связи между показателями X и Y (табл. 1).

Таблица 1

Шкала значений коэффициентов корреляции

r_{xy}	0,1–0,3	0,3–0,5	0,5–0,7	0,7–0,9	Свыше 0,9
теснота связи	слабая	заметная	умеренная	высокая	весьма высокая

«Квадрат» значения коэффициента корреляции (r_{xy}^2) называется **коэффициентом детерминации**. Он показывает удельный вес анализируемого фактора в вариации (дисперсии) изучаемого признака. Величина, равная $1 - r_{xy}^2$ характеризует долю неучтенных факторов.

Теснота связи одной переменной y с совокупностью переменных (x_1, x_2, \dots, x_n) характеризует коэффициент множественной корреляции:

$$R_{y,1,2,\dots,p} = \sqrt{\beta_1 r_{y1} + \beta_2 r_{y2} + \dots + \beta_n r_{yn}},$$

где

$$\beta_i = a_i \frac{S_{xi}}{S_y}. \quad (2)$$

Параметры уравнения регрессии a_i определяется различными методами, например, методом наименьших квадратов, и другими.

В случае регрессионных связей (т.е. когда факторы-аргументы не подчиняются нормальному закону распределения, т.е. не являются случайными величинами) *значимость уравнения регрессии* оценивается методом дисперсионного анализа на основании так называемого критерия Фишера:

$$F = \frac{S_y^2}{S_{ост.}^2},$$

где

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{N-1};$$

$$S_{\text{ост.}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N-n-1};$$

где N – размер выборки; n – число факторов, вошедших в уравнение множественной регрессии; $S_{\text{ост.}}^2$ – остаточная дисперсия y_i ; \hat{y}_i – рассчитанное (по уравнению регрессии) значение y_i для соответствующего «набора» значений переменных x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, N$; $j = 1, 2, \dots, n$).

Полученное значение F – критерия сравнивается с табличными при выбранном уровне доверительной вероятности $P = 0,95$ или $P = 0,99$ и числах степени свободы $K_1 = N - 1$ и $K_2 = N - n - 1$.

Если F больше чем $F_{\text{табл}}$, то с заданной вероятностью P гипотеза о том, что выравнивание по построенному уравнению регрессии лучше, чем выравнивание по $\hat{y}_i = \bar{y}$, не отвергается.

Табличные значения F – критерия приводятся в справочниках по математической статистике.

Значимость полученных коэффициентов регрессии a_i оценивается путем проверки гипотезы о совместимости отличного от нуля коэффициента регрессии в выборочной совокупности (сделанной нами) с его нулевым значением в генеральной совокупности (т.е. $\tilde{a}_i = 0$). Для этого рассчитывается так называемый критерий Стьюдента по формуле

$$t_{ai} = \frac{a_i - \tilde{a}_i}{S_{a_i}},$$

где $\tilde{a}_i = 0$; S_{a_i} – стандартная ошибка коэффициента регрессии (выдает ЭВМ).

Табличное значение t -критерия определяется при заданной доверительной вероятности P и числе степеней свободы $K = N - n - 1$.

Если t_{ai} больше, чем $t_{\text{табл}}$, то с надежностью P гипотеза о нулевом значении коэффициента регрессии в генеральной совокупности отвергается, так как a_i выходят за пределы доверительного интервала, определенного для $\tilde{a}_i = 0$.

Методический пример

В данной работе исходной информацией явились отчетные данные 28 хозрасчетных подрядных бригад ремонтно-строительного управления объединения «Ремдормост» за 2016 год, представленные в табл. 2.

Таблица 2

**Исходные данные по хозрасчетным бригадам РСУ
объединения «Ремдормост»**

№ п/п	X ₁ тыс. руб.	X ₂ %	X ₃ чел.	X ₄ тыс. руб.	X ₅ тыс. руб.	X ₆ %	X ₇ %	X ₈	X ₉	X ₁₀ %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1520	27,6	7,0	217,1	17,1	24,7	24,7	3,5	0,875	50,6
2	2370	28,3	9,0	263,3	18,9	41,8	43,5	4,0	0,889	14,7
3	3980	3,8	19,0	209,5	19,5	69,2	18,8	3,7	0,737,	12,0
4	1490	2,0	10,0	149,0	15,0	82,4	14,2	3,3	0,900	3,4
5	2810	6,8	6,0	468,3	18,3	79,7	14,9	3,8	1,000	5,4
6	1490	4,0	15,0	114,6	19,2	10,5	69,9	3,1	1,000	19,6
7	1620	60,5	8,0	202,5	13,8	28,1	51,6	3,6	0,875	20,3
8	2230	50,2	6,0	371,8	21,7	21,6	58,6	4,9	0,833	19,8
9	2490	1,2	8,0	311,3	16,3	74,0	20,3	3,8	1,000	5,7
10	3270	2,8	18,0	181,8	18,3	62,3	27,3	3,9	0,944	10,4
11	4690	2,8	20,0	234,5	19,0	72,6	18,4	3,7	0,750	9,0
12	2800	3,8	7,0	371,4	18,6	81,2	10,8	3,8	1,000	8,0
13	740	2,7	6,0	123,3	13,3	63,9	25,0	3,6	0,833	11,1
14	2800	3,2	7,0	400,0	31,4	70,8	21,5	4,3	0,428	7,7
15	1700	4,1	7,0	242,6	17,2	81,0	13,5	3,8	1,000	5,5
16	1600	9,4	6,0	266,7	26,7	66,7	25,0	3,6	0,830	8,3
17	1700	31,8	8,0	212,5	17,5	15,5	72,4	3,5	0,875	12,1
18	2240	33,9	8,0	280,0	20,0	36,5	46,6	4,0	0,875	16,9
19	1590	22,6	14,0	113,6	20,7	34,1	42,3	3,1	1,000	23,6
20	1540	65,6	7,0	220,0	17,1	28,3	49,1	3,1	0,857	22,6
21	2250	62,2	8,0	281,3	18,8	29,4	53,0	3,0	0,875	17,6
22	4400	4,3	17,0	258,8	22,9	73,4	18,0	3,7	0,941	8,6
23	4120	10,4	9,0	457,7	14,5	86,4	11,2	3,7	1,000	2,4
24	3950	13,2	8,0	493,8	16,3	90,9	6,2	3,7	1,000	2,9
25	2310	12,1	10,0	231,0	26,0	66,5	22,2	4,2	0,400	11,3
26	1390	59,7	10,0	139,0	12,0	26,7	57,2	4,3	0,833	16,1
27	3750	12,8	8,0	468,8	12,3	87,2	10,4	3,7	0,875	2,4
28	1390	50,4	8,0	173,7	19,5	23,2	59,4	3,7	0,875	17,4

После предварительного качественного анализа и проверки исходных данных были отобраны следующие показатели:

X_1 – объем строительно-монтажных работ по сметной стоимости, выполненный бригадой за месяц, тыс. руб.;

X_2 – рентабельность, %;

X_3 – численность рабочих в бригаде, чел.;

X_4 – выработка на одного рабочего за месяц, тыс. руб.;

X_5 – средняя зарплата рабочих за месяц, тыс. руб.;

X_6 – удельный вес затрат на материалы в себестоимости работ, %;

X_7 – удельный вес затрат на эксплуатацию машин и зарплату рабочих в себестоимости работ, %;

X_8 – средний разряд рабочих;

X_9 – коэффициент однородности состава бригады;

X_{10} – накладные расходы к себестоимости работ, %.

Рентабельность равна отношению прибыли, полученной бригадой, к объему работ, в процентах. Выработка на одного рабочего равна отношению объема работ, выполненных за месяц, к численности рабочих бригады.

Затраты на материалы, затраты на эксплуатацию машин и зарплату, накладные расходы взяты в процентах к себестоимости работ.

Коэффициент однородности равен отношению численности рабочих основной профессии к общей численности рабочих в бригаде.

Расчет выполняется на ЭВМ по программе «Множественная линейная регрессия» (имя запускного файла – reg3.com) с выбором существенных факторов.

Исходные данные вводятся в определенной последовательности.

Результаты расчетов выводятся на распечатку. Их анализ по критериям математической статистики позволяет определить число шагов, дающих значимые результаты, и построить уравнение регрессии, адекватно отражающее существующие закономерности.

В результате обработки исходных данных получены статистические характеристики анализируемых показателей и факторов:

$$\bar{x}_1 = 24,296,$$

$$S_{x1} = 10,71,$$

$$\bar{x}_2 = 21,15,$$

$$S_{x2} = 21,952,$$

$$\bar{x}_3 = 9,786,$$

$$S_{x3} = 4,202,$$

$$\bar{x}_4 = 2663,536,$$

$$S_{x4} = 1126,758,$$

$$\begin{aligned} \bar{x}_5 &= 186,393, & S_{x5} &= 43,183, \\ \bar{x}_6 &= 54,593, & S_{x6} &= 26,051, \\ \bar{x}_7 &= 32,357, & S_{x7} &= 19,968, \\ \bar{x}_8 &= 3,718, & S_{x8} &= 0,408 \\ \bar{x}_9 &= 0,867, & S_{x9} &= 0,149, \\ \bar{x}_{10} &= 13,05, & S_{x10} &= 9,702, \end{aligned}$$

где \bar{x}_i – среднее значение переменной x_i ; S_{xi} – стандартное отклонение переменной x_i рассчитывается по формуле (1).

Рассмотрение матрицы парных коэффициентов корреляции (табл. 3) и логической взаимосвязи факторов между собой и с анализируемыми показателями дало возможность назначить вид корреляционно-регрессионных моделей, подлежащих разработке:

$$\begin{aligned} x_1 &= f(x_3, x_6, x_8); \\ x_2 &= f(x_1, x_3, x_6); \\ x_4 &= f(x_1, x_6, x_8, x_9) \text{ – первый вариант модели;} \\ x_4 &= f(x_1, x_6, x_8, x_9) \text{ – второй вариант модели;} \\ x_5 &= f(x_2, x_4, x_6, x_9). \end{aligned}$$

В результате расчета получены следующие уравнения:

1. $x_1 = -19,230 + 0,21816x_6 + 1,30498x_3 + 5,069913x_8$.
2. $x_5 = 381,079 - 1,135x_2 + 0,012x_4 - 0,961x_6 - 17,4385x_9$.
3. $x_4 = -3245,327 + 36,251x_1 + 12,801x_6 + 849,759x_8 + 1348,926x_9$.
4. $x'_4 = -1439,081 + 22,788x_6 - 96,080x_3 + 756,806x_8 + 1135,772x_9$.
5. $x_2 = 68,179 + 0,747x_1 - 2,366x_3 - 0,770x_6$.

Таблица 3

Корреляционная матрица

Строка 1	1,000	-0,408	0,517	0,571	0,097	0,589	-0,549	0,182	-0,020	-0,453
Строка 2	-0,408	1,000	-0,324	-0,174	-0,203	-0,729	0,706	-0,019	-0,013	0,503
Строка 3	0,517	-0,324	1,000	-0,369	0,074	0,060	-0,060	-0,155	-0,020	-0,052
Строка 4	0,517	-0,174	-0,369	1,000	0,080	0,539	-0,493	0,338	0,052	-0,434
Строка 5	0,097	-0,203	0,074	0,080	1,000	0,013	-0,017	0,262	-0,581	0,001
Строка 6	0,589	-0,729	0,066	0,539	0,013	1,000	-0,945	0,128	0,204	-0,740
Строка 7	-0,549	0,706	-0,060	-0,493	-0,017	-0,945	1,000	-0,083	0,016	0,480
Строка 8	0,182	-0,019	-0,155	0,338	0,262	0,128	-0,083	1,000	-0,393	-0,173
Строка 9	-0,020	-0,013	-0,020	0,052	-0,581	0,004	0,016	-0,393	1,000	-0,044
Строка 10	-0,453	0,503	-0,052	-0,434	0,001	-0,740	-0,480	-0,173	-0,044	1,000

Статистический анализ уравнений показал, что они значимы, так как фактические значения критерия Фишера больше табличного: $F_{\text{табл}} = 3,08$ для числа степеней свободы $K_1 = 28 - 1 = 27$ и $K_2 = 28 - 4 - 1 = 23$ при $P = 0,95$; $F_1 = 12,63$; $F_5 = 5,43$; $F_4 = 5,09$; $F'_4 = 6,15$; $F_2 = 15,8$.

Теснота связи показателей и факторов определяется с помощью коэффициентов парной r_{ij} и множественной корреляции R_{ij} (табл. 4).

Таблица 4

Значения коэффициентов парной и множественной корреляции

Значения r_{ij}				
I модель (X_1)	II модель (X_5)	III модель (X_4)	IV модель (X'_4)	V модель (X_2)
$r_{1-6} = 0,589$	$r_{5-9} = -0,581$	$r_{4-1} = 0,571$	$r_{4-6} = 0,539$	$r_{2-6} = -0,729$
$r_{1-3} = 0,517$	$r_{5-2} = -0,203$	$r_{4-6} = 0,539$	$r_{4-3} = -0,369$	$r_{2-3} = -0,324$
$r_{1-8} = 0,182$	$r_{5-6} = -0,013$	$r_{4-8} = 0,338$	$r_{4-8} = 0,338$	$r_{2-1} = -0,408$
	$r_{5-4} = 0,08$	$r_{4-9} = 0,052$	$r_{4-9} = 0,052$	
$R_{1-6, 3, 8} = 0,762$	$R_{5-9, 2, 6, 4} = 0,65$	$R_{4-1, 6, 8, 9} = 0,635$	$R_{4-1, 3, 8, 9} = 0,675$	$R_{2-1, 3, 6} = 0,8$

Значения коэффициентов парной корреляции, приведенные в табл. 4, свидетельствуют о существовании умеренной связи между характеризруемыми показателями и некоторыми факторами, такими, как объем работ и материалоемкость (факторы X_1 и X_6). Первая и пятая модели характеризуются высокой теснотой множественной корреляционной связи.

При пошаговом формировании регрессионных моделей значимость коэффициентов регрессии a_i оценивается по критерию Стьюдента.

t -критерий (Стьюдента) – число, показывающее, во сколько раз a_i больше своей среднеквадратической ошибки. Если значение t превосходит величину, соответствующую принятой доверительной вероятности, то нулевая гипотеза о равенстве $\tilde{a}_i = 0$ в генеральной совокупности считается опровергнутой, a_i признается существенным.

Получены были следующие значения t -критерия (табл. 5):

Таблица 5

Значения t -критерия

I модель (X_1)	II модель (X_5)	III модель (X_4)	IV модель (X'_4)	V модель (X_2)
$t_{1-6} = 4,125$	$t_{5-9} = -4,02$	$t_{4-1} = 1,877$	$t_{4-6} = 3,583$	$t_{2-6} = -5,858$
$t_{1-3} = 3,964$	$t_{5-2} = -2,44$	$t_{4-6} = 1,572$	$t_{4-3} = -2,422$	$t_{2-3} = -3,076$
$t_{1-8} = 1,487$	$t_{5-6} = -2,1$	$t_{4-8} = 1,83$	$t_{4-8} = 1,691$	$t_{2-1} = 2,006$
	$t_{5-4} = 1,68$	$t_{4-9} = 1,079$	$t_{4-9} = 0,948$	

$t_{\text{табл}} = 1,711$ для числа степеней свободы $K = N - n - 1 = 28 - 3 - 1 = 24$ и доверительной вероятности $P = 0,9$.

Оценка коэффициентов регрессии по t -критерию показывает, что включение фактора X_9 в 3-ю и 4-ю модели не выдерживает статистической проверки, однако экономический смысл этого фактора (коэффициент однородности состава бригады) позволяет считать целесообразным (в условиях небольшого объема выборочной совокупности – 28 бригад) оставить его в рассматриваемых моделях. Информация, содержащаяся в распечатках, полученных на ЭВМ, позволяет (при желании) записать модели без этого недостаточно значимого фактора.

Наиболее надежным является пятое уравнение регрессии $x_2 = f(x_1, x_3, x_6)$:

$$x_2 = 68,179 + 0,747x_1 - 2,366x_3 - 0,770x_6.$$

Уравнение характеризует зависимость рентабельности от трех факторов: объема работ, численности рабочих и удельного веса затрат на материалы.

Связь между рентабельностью и объемом работ показывает, что при увеличении объема работ на одну тысячу рублей рентабельность увеличивается на 0,74%.

Связь между рентабельностью и численностью рабочих показывает, что при увеличении численности рабочих на 1 человека рентабельность снижается на 2,366%.

Связь между рентабельностью и затратами на материалы показывает, что при увеличении удельного веса затрат на материалы на 1% рентабельность снижается на 0,77%.

Коэффициенты эластичности, показывающие, на сколько процентов изменяется анализируемый показатель при изменении фактора на 1% при фиксированных на среднем уровне значениях остальных факторов, рассчитаны по формуле

$$\Theta_i = a_i \times \frac{\bar{x}_i}{\bar{y}_i};$$

$$\Theta_{2-1} = a_{2-1} \times \frac{\bar{x}_1}{\bar{x}_2} = 0,858;$$

$$\Theta_{2-3} = a_{2-3} \times \frac{\bar{x}_3}{\bar{x}_2} = -1,095;$$

$$\Theta_{2-6} = a_{2-6} \times \frac{\bar{x}_6}{\bar{x}_2} = -1,988.$$

При увеличении объема работ на 1% рентабельность возрастает на 0,858%.

При увеличении численности на 1% рентабельность уменьшается на 1,095%.

При изменении удельного веса затрат на материалы на 1% рентабельность изменяется на 2,00%.

Были рассчитаны β -коэффициенты, позволяющие оценить возможность изменения анализируемого показателя с учетом использования имеющихся резервов изменения каждого фактора x_{ij} по формуле (2).

$$\beta_{2-1} = a_{2-1} \times \frac{S_{x_1}}{S_{x_2}} = 0,36,$$

$$\beta_{2-3} = a_{2-3} \times \frac{S_{x_3}}{S_{x_3}} = 0,45,$$

$$\beta_{2-6} = a_{2-6} \times \frac{S_{x_6}}{S_{x_2}} = -0,91.$$

Множественный коэффициент корреляции $R = 0,8$ определяет меру совместного действия всех вошедших в модель факторов на уровень характеризуемого показателя.

В том случае, если бы рентабельность зависела только от трех факторов, входящих в модель, то коэффициент множественной корреляции равнялся бы единице. Остаток до единицы отражает действие тех факторов, которые не приняты в расчет. Их совместное влияние оценивается величиной $1 - R^2 = 1 - 0,8^2 = 0,36$.

Коэффициенты эластичности и β -коэффициенты показывают сильное влияние на рентабельность в первую очередь материалоемкости работ. Большие резервы увеличения рентабельности имеются в снижении затрат на материальные ресурсы, в осуществлении режима экономии при производстве работ.

Третья модель описывается уравнением:

$$x_4 = -3245,327 + 36,252x_1 + 12,801x_6 + 849,759x_8 + 1348,926x_9.$$

При увеличении объема работ на 1 тыс. руб. выработка на одного рабочего в месяц увеличивается на 36,251 тыс. руб.

При увеличении удельного веса затрат на материалы на 1% выработка увеличивается на 12,8 тыс. руб.

При увеличении среднего разряда рабочих на 1 единицу выработка увеличивается на 849 руб.

При увеличении коэффициента однородности состава бригады на 0,1 выработка увеличивается на 134,9 руб.

Значения коэффициентов эластичности и β -коэффициентов:

$$\varepsilon_{4-1} = 0,33, \quad \beta_{4-1} = 0,34,$$

$$\varepsilon_{4-6} = 0,26, \quad \beta_{4-6} = 0,3,$$

$$\varepsilon_{4-8} = 1,2, \quad \beta_{4-8} = 0,31,$$

$$\varepsilon_{4-9} = 0,45, \quad \beta_{4-8} = 0,18$$

свидетельствуют о том, что наибольшие резервы повышения выработки на одного рабочего содержатся в увеличении объема работ, а также в увеличении среднего разряда рабочих. Существенное влияние на выработку оказывает материалоемкость выполняемых работ.

Для четвертой модели получено уравнение

$$x'_4 = -1439,081 + 22,788x_6 - 96,080x_3 + 756,806x_8 + 1135,772x_9.$$

Уравнение представляет собой второй вариант зависимости выработки на одного рабочего от удельного веса затрат на материалы, численности рабочих, среднего разряда рабочих, коэффициентов однородности, т.е. в это уравнение вместо объема работ входит численность рабочих.

Связь выработки на одного рабочего с численностью рабочих показывает, что при увеличении численности бригады на одного человека выработка уменьшается на 96 тыс. руб.

Значения коэффициентов эластичности и β -коэффициентов:

$$\varepsilon_{4-6} = 0,47, \quad \beta_{4-6} = 0,52,$$

$$\varepsilon_{4-3} = -0,35, \quad \beta_{4-3} = -0,36,$$

$$\varepsilon_{4-8} = 1,1, \quad \beta_{4-8} = 0,27,$$

$$\varepsilon_{4-9} = 0,37, \quad \beta_{4-9} = 0,15$$

подтверждают полученный выше вывод о том, что на выработку оказывает наиболее сильное влияние средний разряд рабочих и материалоемкость выполняемых работ. Большие резервы повышения выработки содержатся в сокращении численности рабочих.

Регрессионное уравнение первой модели:

$$x_1 = -19,230 + 0,21816x_6 + 1,30498x_3 + 5,069913x_8.$$

Уравнение характеризует зависимость объема работ от численности бригады, удельного веса затрат на материалы в себестоимости, среднего разряда рабочих.

Связь между объемом работ и соответствующими факторами показывает, что при увеличении численности рабочих на одного человека, удельного веса затрат на материалы на 1%, среднего разряда рабочих на одну позицию объем работ, который может выполнить бригада, увеличивается соответственно на 1305 руб., 218 руб. и 5069 руб.

Значения коэффициентов эластичности и β -коэффициентов:

$$\varepsilon_{1-3} = 0,52, \quad \beta_{1-3} = 0,51,$$

$$\varepsilon_{1-6} = 0,49, \quad \beta_{1-6} = 0,53,$$

$$\varepsilon_{1-8} = 0,78, \quad \beta_{1-8} = 0,19$$

свидетельствуют о том, что на размер объема работ оказывает наиболее сильное влияние средний разряд рабочих, однако наибольшие резервы увеличения этого показателя содержатся в росте численности рабочих и материалоемкости работ.

Уравнение для второй модели:

$$x_5 = -381,079 - 1,135x_2 - 0,12x_4 - 0,961x_6 - 17,4385x_9.$$

Уравнение характеризует зависимость между средней заработной платой рабочих и рентабельностью, выработкой на одного рабочего, удельным весом затрат на материалы в себестоимости, коэффициентом однородности состава бригады.

Связь между средней заработной платой рабочих и выработкой за месяц показывает, что при увеличении выработки на одного рабочего на 1 тыс. руб. увеличивается средняя зарплата на 0,12 тыс. руб.

Связь между средней заработной платой и рентабельностью, материалоемкостью, коэффициентом однородности показывает, что при увеличении рентабельности на 1%, материалоемкости на 1% и коэффициента однородности на 0,1 средняя заработная плата рабочих снижается соответственно на 1,14 тыс. руб., 0,96 тыс. руб., 17,44 тыс. руб.

Значения коэффициентов эластичности и β -коэффициентов:

$$\varepsilon_{5-2} = -0,13, \quad \beta_{5-2} = -0,58,$$

$$\varepsilon_{5-4} = 0,17, \quad \beta_{5-4} = 0,31,$$

$$\varepsilon_{5-6} = -0,28, \quad \beta_{5-6} = -0,58,$$

$$\varepsilon_{5-9} = -0,81, \quad \beta_{5-9} = -0,6$$

свидетельствуют о том, что наиболее существенное влияние на среднюю заработную плату рабочих оказывает коэффициент однородности состава бригады.

Большие резервы увеличения средней зарплаты рабочих содержатся также в снижении материалоемкости. Гораздо меньшее значение имеет рост выработки. Иными словами, повышение средней заработной платы рабочих в хозрасчетных бригадах достигается не только увеличением выработки, но в более значительной степени снижением затрат на материальные ресурсы и расширение профессионального состава бригад (т.е. уменьшением коэффициента однородности состава бригад). Однако повышение средней заработной платы не обусловлено ростом рентабельности, что связано с материальным стимулированием труда главным образом из фонда заработной платы, т.е. за счет себестоимости работ.

Выводы и предложения

1. Полученные в результате анализа работы 28 хозрасчетных бригад корреляционно-регрессионные модели отражают влияние важнейших производственно-экономических факторов на основные показатели работы бригады: объем строительно-монтажных работ, выполняемый бригадой за месяц, рентабельность, стоимостная выработка на 1 рабочего за месяц, средняя зарплата на 1 рабочего.

2. Эти модели могут использоваться для критической оценки сложившихся пропорций и отношений на производстве, установления их адекватности задачам перестройки производственно-хозяйственного механизма. В частности, они позволяют сделать выводы о нецелесообразности продолжения экстенсивного роста производства, поскольку увеличение численности рабочих на 1% приводит к увеличению объема работ только на 0,52% (см. коэффициент эластичности \mathcal{E}_{1-3} в модели X_1), при этом одновременно выработка снижается на 0,35% (коэффициент \mathcal{E}_{4-3} в модели X_4 второго варианта), рентабельность снижается на 1,095% от своего исходного уровня (коэффициент \mathcal{E}_{2-3} в модели X_2).

Можно также отметить отсутствие стимулирующего влияния такого производственного результата как рентабельность на формирование средней заработной платы рабочих (коэффициент \mathcal{E}_{5-2} в модели X_5).

3. Вместе с тем можно сделать вывод о наличии положительного влияния на основные показатели работы бригад таких факторов, как повышение квалификации рабочих (Θ_{1-8} в модели X_1 , Θ_{4-8} в модели X_4), расширение профессионального состава бригад (коэффициент Θ_{5-9} в модели X_5), увеличение объемов работ (коэффициент Θ_{4-1} в модели X_4).

4. Получены также количественные оценки влияния некоторых объективных факторов на производственные показатели: материалоемкость работ (коэффициент Θ_{1-6} в модели X_1 , Θ_{4-6} в модели X_4) объем работ (коэффициент Θ_{4-1} в модели X_4 , Θ_{2-1} в модели X_2).

После дополнительного уточнения по данным выборочной совокупности большого объема подобные модели могли бы использоваться при перспективном и годовом планировании работы хозрасчетных бригад на ремонте городских инженерных сооружений в особенности в условиях отсутствия или неполного обеспечения проектно-сметной документацией.

Исходные данные для выполнения лабораторной работы

На основе табл. 2 преподавателем задаются регрессионные модели для самостоятельного расчета и анализа.

Список литературы

1. Соколов, Г.А. Основы математической статистики: учебник / Г.А. Соколов. – 2-е изд. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 368 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=405699#>

2. Хуснутдинов, Р.Ш. Математическая статистика: учеб. пособие / Р.Ш. Хуснутдинов. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 205 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=445667#>

Лабораторная работа №2
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ О ЗАКРЕПЛЕНИИ
ПОСТАВЩИКОВ ПРОДУКЦИИ ЗА ПОТРЕБИТЕЛЯМИ

Теоретические основы лабораторной работы

Многие задачи в области развития производственной базы строительства, материально-технического снабжения, организации перевозок строительных материалов и другие сводятся в своей экономико-математической постановке к так называемой «транспортной задаче линейного программирования», решение которой по соответствующему алгоритму позволяет получить вариант, оптимальный по заданному критерию.

Формулировка задачи: в данных M пунктах производится некоторый однородный продукт в количествах соответственно: a_1, a_2, \dots, a_m единиц. Этот продукт необходимо доставить в каждый из N заданных пунктов потребления, где он необходим в количествах: b_1, b_2, \dots, b_n . Известны затраты (денег, горючего, рабочего времени и т.д.) на перевозку единицы продукта из пункта i в пункт потребления j , которые обозначаем c_{ij} . В наиболее общем случае под c_{ij} можно понимать стоимость единицы продукции в пункте j (франко-пункт потребления), изготовленной в пункте i . Неизвестные нам пока объемы перевозок продукции из каждого пункта производства в каждый пункт потребления обозначим x_{ij} ($i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N$).

Условия задачи удобно изобразить в виде двумерной сбалансированной матрицы (табл. 1) «Производство-потребление». Поставщики располагаются по вертикали матрицы, потребители – по горизонтали. В каждой клетке матрицы приводится значение c_{ij} соответственно данной паре поставщик-потребитель.

Совокупность (m, n) чисел x_{ij} , т.е. матрицу $\|x_{ij}\|$ называют планом перевозок, матрицу $\|c_{ij}\|$ – матрицей транспортных издержек.

План, т.е. возможный вариант решения – матрица значений x_{ij} , является допустимым по условиям задачи, если числа x_{ij} удовлетворяют следующим ограничениям:

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N). \quad (1)$$

Матрица «Производство-потребление»

$a_i \backslash b_j$	b_1	b_2	...	...	...	...	b_n
a_1	C_{11} X_{11}	C_{12} X_{12}	...	...	...	...	C_{1n} X_{1n}
a_2	C_{21} X_{21}	C_{22} X_{22}	...	...	...	...	C_{2n} X_{2n}
...
a_m	C_{m1} X_{m1}	C_{m2} X_{m2}	...	...	...	...	C_{mn} X_{mn}

Ограничение (1) вытекает из того положения, что отрицательных объемов перевозок быть не может.

$$x_{i1} + x_{i2} + x_{i3} + \dots + x_{in} = a_i \quad (i = 1, 2, \dots, M). \quad (2)$$

Ограничение (2) отражает требование полного вывоза из каждого пункта производства всего произведенного там продукта.

$$x_{1j} + x_{2j} + x_{3j} + \dots + x_{mj} = b_j \quad (j = 1, 2, \dots, N). \quad (3)$$

Ограничение (3) выражает требование полного удовлетворения потребности каждого пункта потребления.

Кроме того, должно быть выполнено условие баланса объема производства и потребления:

$$\sum_{i=1}^{i=M} a_i = \sum_{j=1}^{j=N} b_j. \quad (4)$$

Если ограничение (4) не соблюдается, т.е. либо производственные мощности превышают потребности в продукте в пунктах потребления

($\sum_{i=1}^{i=M} a_i > \sum_{j=1}^{j=N} b_j$), либо потребность превышает производственные

возможности ($\sum_{i=1}^{i=M} a_i < \sum_{j=1}^{j=N} b_j$), то поступают следующим образом.

Если $\sum_{i=1}^{i=M} a_i > \sum_{j=1}^{j=N} b_j$ то вводят в рассмотрение $N + 1$ -й, так называемый

«фиктивный» пункт потребления с потребностью $b_{n+1} = \sum_{i=1}^{i=M} a_i - \sum_{j=1}^{j=N} b_j$,

и принимают, что затраты по доставке единицы груза в этот пункт из любого пункта производства равны нулю, т.е. $C_{i,n+1} = 0$ ($i = 1, 2, \dots, M$).

Если $\sum_{i=1}^{i=M} a_i < \sum_{j=1}^{j=N} b_j$, то вводят в рассмотрение $M + 1$ -й, называемый «фиктивный» пункт производства с производственной мощностью $a_{m+1} = \sum_{j=1}^{j=N} b_j - \sum_{i=1}^{i=M} a_i$ и со стоимостью доставки единицы продукта из второго пункта в любой пункт потребления равной нулю, т.е. $C_{m+1,j} = 0$ ($j = 1, 2, \dots, N$).

Задача заключается в том, чтобы среди допустимых (т.е. удовлетворяющих ограничениям (2)–(4) планов найти оптимальный, такой, по которому общая стоимость перевозок – минимальная:

$$z = c_{11}x_{11} + c_{12}x_{12} + \dots + c_{ij}x_{ij} + \dots + c_{mn}x_{mn} \rightarrow \min. \quad (5)$$

Или в сокращенной записи:

$$z = \sum_{i=1}^{i=M} \sum_{j=1}^{j=N} c_{ij}x_{ij} \rightarrow \min. \quad (5^*)$$

Таким образом, транспортная задача линейного программирования имеет следующую специфику:

1. Все ограничения имеют вид уравнений.
2. Уравнения разбиваются на две группы (ограничения 2 и 3), причем в каждой из этих групп каждая переменная входит только в одно уравнение.
3. Все коэффициенты при переменных в уравнениях равны единице.

Ввиду простого вида системы ограничений симплекс-метод в применении к транспортной задаче существенно упрощается и сводится к так называемому распределительному методу и его модификации – методу потенциала.

Алгоритм метода рассматривается на лекциях. В условиях лабораторной работы задача решается на ЭВМ с использованием программы ОРТО, аннотированной в «Методических указаниях по использованию в учебном процессе пакета прикладных программ «ЕCON» для решения задач в области экономики, организации и планирования производства». Имя программы – «treleks.bas».

Запуск программы осуществляется в следующей последовательности:

1. Загружается оперативная память машины

2. Запускается среда языка Бейсик (файл «gwbasic.exe»)
3. С помощью команды «LOAD» загружается файл «treleks.bas».

Методический пример

Требуется определить оптимальную схему закрепления четырех песчаных карьеров (A_1, A_2, A_3 и A_4) за четырьмя строительными площадками (B_1, B_2, B_3 и B_4). Запасы песка в карьерах и потребности в нем строительных площадок, а также стоимость 1 м³ песка франко-строительная площадка представлены в табл. 2.

Так как общий запас материалов ($\sum_{i=1}^{i=4} a_i = 110 + 60 + 18 + 32 = 120$) превышает общую потребность ($\sum_{j=1}^{j=4} b_j = 20 + 11 + 30 + 39 = 100$), вводим «фиктивного» пятого потребителя с объемом потребления $b_5 = \sum_{i=1}^{i=4} a_i - \sum_{j=1}^{j=4} b_j = 120 - 100 = 20$.

Таблица 2

Матрица исходных данных

Карьеры		Стройплощадки				Фиктивный потребитель $b_5 = 20$
№	Запас материалов	$b_1 = 20$	$b_2 = 11$	$b_3 = 30$	$b_4 = 39$	
I	$a_1 = 10$	12 X_{11}	14 X_{12}	20 X_{13}	17 X_{14}	0 X_{15}
II	$a_2 = 60$	6 X_{21}	21 X_{22}	24 X_{23}	19 X_{24}	0 X_{25}
III	$a_3 = 18$	16 X_{31}	10 X_{32}	11 X_{33}	14 X_{34}	0 X_{35}
IV	$a_4 = 32$	10 X_{41}	17 X_{42}	20 X_{43}	11 X_{44}	0 X_{45}

В верхних углах каждой клетки матрицы (см. табл. 2.) указываем значение себестоимости 1 м³ песка «франко – пункт потребления» c_{ij} ($i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3, 4, 5$).

Требуется определить значения x_{ij} ($i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3, 4, 5$), при которых минимизируется следующая линейная функция многих переменных:

$$z = 12x_{11} + 14x_{12} + 20x_{13} + 17x_{14} + 6x_{21} + 21x_{22} + 24x_{23} + 19x_{24} + 16x_{31} + 10x_{32} + 11x_{33} + 14x_{34} + 10x_{41} + 17x_{42} + 20x_{43} + 11x_{44} \rightarrow \min.$$

Исходные данные набираются в следующей последовательности.

Строка №1. На ней в формате 3 | 4 набирается последовательно три целых числа:

$M = 4$ – число поставщиков (карьеров);

$N = 5$ – число пунктов потребления (включая «фиктивного»);

$IT = 10$ – максимальное количество итераций ($IT > 2M$).

Строки № 2, 3, 4. На них в формате 12 | 4 набивается один за другим, без промежутков, три массива чисел: $MA(I)$, $MB(J)$ и $MC(IJ)$, где $MA(I) = \{10, 60, 18, 32\}$ – количество продукции, производимое каждым поставщиком, размерность массива $M = 4$; $I = 1, 2, 3, 4$; $MB(J) = \{20, 11, 30, 39, 20\}$ – количество продукции, потребляемое каждым потребителем, размерность массива $N = 5$; $MC(IJ) = \{12, 6, 16, 10, 14, 21, 10, 17, 20, 24, 11, 20, 24, 11, 20, 17, 19, 14, 11, 0, 0, 0, 0\}$ – массив размерности $M \times N$ – матрица затрат на единицу продукции при ее производстве в пункте i и потреблении в пункте j «франко-пункт потребления», записанная в векторной форме, т.е. в виде одномерного массива, по столбцам.

Результат решения задачи на ЭВМ: из первого карьера весь песок (10 единиц) направляется на площадку № 2; из второго карьера песок направляется на все площадки и «фиктивному» потребителю в количествах соответственно 20, 1, 12, 7, 20. Из третьего карьера весь песок (18 единиц) направляются на третью площадку; из четвертого карьера весь песок (32 единицы) направляются на четвертую площадку. Таким образом, вывозится весь песок, кроме карьера № 2, где остаются невостребованные 20 ед., (объем для «фиктивного» потребителя).

Общая сумма затрат при этом составляет 1252, которая представлена на распечатке и может быть проверена контрольным расчетом по формуле (5):

$$z = 10 \times 14 + 20 \times 6 + 1 \times 21 + 12 \times 24 + 7 \times 19 + 20 \times 0 + 18 \times 11 + 32 \times 11 = 1252.$$

Исходные данные для выполнения лабораторной работы

Для самостоятельного выполнения лабораторной работы предлагается следующая задача.

Требуется определить оптимальную схему закрепления четырех карьеров за четырьмя строительными площадками. Запасы в каждом карьере и потребности стройплощадок в песке принимаются в соответствии с условиями, изложенными в методическом примере. Для каждой пары поставщик-потребитель известны три значения показателя c_{ij} :

- 1) расстояние перевозки, км;
- 2) время доставки, мин;
- 3) стоимость доставки, руб.

Задача решается последовательно по трем критериям: по критерию минимума суммарного расстояния перевозки, по критерию минимума суммарного времени перевозки, по критерию минимума стоимости перевозки.

Исходные данные представлены в табл. 3, где в каждой клетке указаны:

- в верхнем левом углу – расстояние, км;
- в середине – время, мин;
- в нижнем правом углу – стоимость, руб.

Таблица 3

Исходные данные для самостоятельного решения

Поставщики $\sum_{i=1}^{i=4} a_i = 120$	Потребители $\sum_{j=1}^{j=5} b_j = 120$				
	I $b_1 = 20$	II $b_2 = 11$	III $b_3 = 30$	IV $b_4 = 39$	V $b_5 = 20$
$a_1 = 10$	60 55 120	30 40 90	15 30 60	20 48 100	0 0 0
$a_2 = 60$	65 60 130	45 60 135	30 60 120	25 60 145	0 0 0
$a_3 = 18$	70 65 140	60 80 180	45 90 180	40 96 200	0 0 0
$a_4 = 32$	75 70 150	75 100 225	60 120 240	50 120 250	0 0 0

Для расчета на ЭВМ вводятся следующие данные:

$$M = 4; N = 5; IT = 10;$$

$$MA(I) = \{10, 60, 18, 32\};$$

$$MB(J) = \{20, 11, 30, 39, 20\}.$$

Массив $MC(I)$ в трех вариантах:

I вариант

$MC(I) = \{60, 65, 70, 75, 30, 45, 60, 75, 15, 30, 45, 60, 20, 25, 40, 50, 0, 0, 0, 0\};$

II вариант

$MC(I) = \{55, 60, 65, 70, 40, 60, 80, 100, 30, 60, 90, 120, 48, 60, 96, 120, 0, 0, 0, 0\};$

III вариант

$MC(I) = \{120, 130, 140, 150, 90, 135, 180, 225, 60, 120, 180, 240, 100, 145, 200, 250, 0, 0, 0, 0\}.$

Список литературы

1. Гарманов, Е.Н. Методические указания по использованию в учебном процессе пакета прикладных программ "ECON" для решения задач в области экономики, организации и планирования производства / Е.Н. Гарманов. – М.: МАДИ, 1987. – 24 с.

2. Хуснутдинов, Р.Ш. Экономико-математические методы и модели: учеб. пособие / Р.Ш. Хуснутдинов. – М.: НИЦ Инфра-М, 2013. – 224 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=363775#>

Лабораторная работа №3 **СОСТАВЛЕНИЕ И РАСЧЕТ СЕТЕВОГО ГРАФИКА** **НА СТРОИТЕЛЬСТВО МОСТА**

Теоретические основы лабораторной работы

Методы составления, расчета и оптимизации сетевых графиков достаточно подробно изложены в учебной литературе, поэтому в настоящей методической разработке они не рассматриваются.

Методический пример

В качестве методического примера рассмотрим расчет сетевого графика с применением ЭВМ. Сетевым графиком изображен на рис. 1. Продолжительность выполнения каждой работы указана под соответствующей стрелкой.

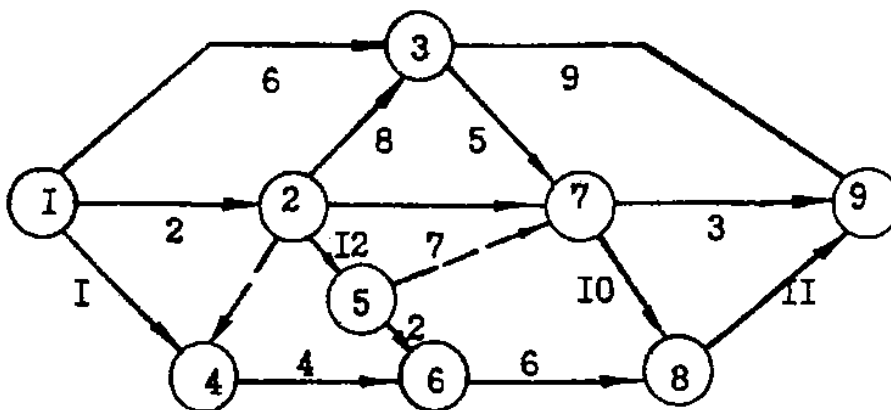


Рис. 1. Пример сетевого графика

Для расчета графика можно воспользоваться готовой программой, имеющей имя "SETI", написанной на языке *Фортран-4* и записанной в виде загрузочного модуля в библиотеку "ECON", находящуюся на магнитном диске *OVT III*. Общие правила оформления «Задания» для выполнения расчета в пакетном режиме даны в «Методических указаниях по использованию в учебном процессе пакете прикладных программ "ECON", для решения задач в области экономики, организации и планирования производства (МАДИ, 1987, Гарманов Е.Н.). При использовании программы "SETI" (ее описание отсутствует в упомянутых в

«Методических указаниях») следует руководствоваться следующими правилами. Имя программы "Seti.exe".

Программа допускает использование только массивов целых чисел. Первое событие должно иметь порядковый номер 1, последнее событие – не более 50 (в соответствии с объявленными в программе размерами обрабатываемых массивов переменных). При этом в карте *JOB* должна быть сделана заявка на увеличенный по сравнению со стандартным объем используемой оперативной памяти ЭВМ (указать параметр "*REGION = 18Ø K*").

Исходные данные набиваются в следующем порядке.

Первая строка. Набивается одно целое число, определяемое по формуле

$$S = (N_p \times 3) + 1,$$

где N_p – число работ (стрелок) на сетевом графике, включая пунктирные.

В нашем примере $S = 16 \times 3 + 1 = 49$.

Строки 2, 3, 4. В том же формате сначала набивается номер последнего события на сетевом графике (в нашем примере он равен 9). Затем последовательно, с соблюдением формата 18 | 4 набиваются тройки чисел. Первое число в каждой тройке – номер предшествующего события i , второе число – номер последнего события j , третье число – продолжительность данной работы. Таким образом, каждая работа характеризуется тремя целыми числами. Работы рассматриваются в порядке возрастания номеров предшествующих им событий.

Работы, выходящие из одного и того же события, т.е. имеющие одинаковые номера предшествующих событий, рассматриваются в порядке возрастания номеров последующих событий.

В каждой строке набивается 18 целых чисел. Набивка последней строки заканчивается с последней рассмотренной работой. Последняя строка может содержать менее 18 чисел.

В нашем примере информация о работах размещается на второй, третьей и четвертой строках.

Ниже представлены исходные данные и результаты расчета.

49

9 1 2 2 1 3 6 1 4 1 2 3 8 2 4 0 2 5

12 2 7 7 3 7 5 3 9 9 4 6 4 5 6 2 5 7

0 6 8 6 7 8 10 7 9 3 8 9 11

Результатами расчета являются следующие характеристики работ:

- время раннего начала (t^{PH});
- время раннего окончания (t^{PO});
- время позднего начала ($t^{ПН}$);
- время позднего окончания ($t^{ПО}$);
- общий резерв времени (R);
- частный резерв времени (r).

Прохождение критического пути на графике (рис. 1) определяется работами, имеющими нулевые общие резервы времени (1–2; 2–3; 3–7; 7–8; 8–9). Длина критического пути равна максимальной величине времени раннего окончания (36).

Таблица 1

Результаты расчета

$i-j$	t	t^{PH}	t^{PO}	$t^{ПН}$	$t^{ПО}$	R	r	Критические работы
1–2	2	0	2	0	2	0	0	КП
1–3	6	0	6	4	10	4	4	
1–4	1	0	1	14	15	14	1	
2–3	8	2	10	2	10	0	0	КП
2–4	0	2	2	15	15	13	0	
2–5	12	2	14	3	15	1	0	
2–7	7	2	9	8	15	6	6	
3–7	5	10	15	10	15	0	0	КП
3–9	9	10	19	27	36	17	17	
4–6	4	2	6	15	19	13	10	
5–6	2	14	16	17	19	3	0	
5–7	0	14	14	15	15	1	1	
6–8	6	16	22	19	25	3	3	
7–8	10	15	25	15	25	0	0	КП
7–9	3	15	18	33	36	18	18	
8–9	11	25	36	25	36	0	0	КП

Исходные данные для выполнения лабораторной работы

Требуется составить и рассчитать исходный сетевой график на строительство четырехпролетного сборного железобетонного моста балочной разрезной конструкции. Характеристики мостов:

- число береговых опор – 2;
- число промежуточных опор – 3;
- число пролетных строений – 4;

- количество балок в каждом пролетном строении – 7;
- величина пролета балок – 30 м;
- тип основания опор – свайное;
- тип опор – сборные бетонные, из привозных блоков.

Изготовление балок пролетных строений предполагается осуществить на припостроечном полигоне. Монтаж сборных опор и сборных железобетонных пролетных строений предполагается осуществлять двумя козловыми кранами, перемещающимися по подкрановой эстакаде (на свайном основании), перекрывающей все отверстие мостов.

При вычерчивании сетевого графика необходимо учитывать следующие организационно-технологические особенности производства работ.

1. Сразу после освоения строительной площадки могут быть начаты следующие виды работ:

- строительство полигона для изготовления сборных пролетных строений;
- монтаж козловых кранов;
- возведение подкрановой эстакады;
- забивка свай под опору №1 (береговую).

2. После завершения строительства полигона на нем изготавливаются балки последовательно для первого, второго, третьего и четвертого пролетных строений. В таком же порядке осуществляется и их установка на опоры.

3. Сборка опор может осуществляться после монтажа кранов, возведения подкрановой эстакады и забивки свай в основание соответствующей опоры.

4. Забивка свай в основание опор начинается с опоры № 1 и ведется последовательно к опоре № 5.

5. Работы по возведению опор и установке на них балок пролетных строений ведутся поточным методом. При этом предполагается, что установка балок в каждом пролете может быть выполнена, если смонтированы две соответствующие этому пролету опоры.

Перечень работ, которые должны быть отражены сетевым графиком, и сроки их выполнения представлены в пяти вариантах в табл. 2.

Работы по ликвидации стройплощадки выполняются после завершения всех других работ.

Таблица 2

Исходные данные для построения и расчета сетевого графика

№ п/п	Виды работ	Сроки выполнения работ по вариантам, дн.				
		I	II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6	7
1	Освоение строительной площадки	25	20	15	30	36
2	Строительство полигонов	30	28	26	32	34
3	Монтаж козловых кранов	50	50	50	50	50
4	Возведение подкрановой эстакады	40	35	30	45	47
5	Изготовление на полигоне балок пролетных строений:					
	для I пролета	7	7	7	7	7
	для II пролета	7	7	7	7	7
	для III пролета	7	7	7	7	7
6	Забивка свай в основание опор:					
	опоры №1	10	8	12	9	11
	опоры №2	5	6	7	4	6
	опоры №3	6	8	5	7	7
7	Сборка опор из готовых бетонных блоков:					
	опора №1	10	9	8	11	12
	опора №2	15	14	12	10	16
	опора №3	17	18	16	14	19
8	Установка на опоры балок пролетных строений:					
	пролет №1	7	7	7	7	7
	пролет №2	7	7	7	7	7
	пролет №3	7	7	7	7	7
9	Устройство проезжей части	20	20	20	20	20
10	Демонтаж полигона	10	8	6	12	11
11	Разработка подкрановой эстакады	15	14	12	16	15
12	Ликвидация стройплощадки	5	6	4	8	7

Список литературы

1. Гарманов, Е.Н. Методические указания по использованию в учебном процессе пакета прикладных программ "ECON" для решения задач в области экономики, организации и планирования производства / Е.Н. Гарманов. – М.: МАДИ, 1987. – 24 с.

2. Экономика дорожного хозяйства: учебник / А.И. Авраамов, А.А. Авсеенко, Е.Н. Гарманов [и др.]; под ред. Е.Н. Гарманова. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 400 с.

3. Строительство мостов. Организация, планирование и управление: учебник / Е.Н. Гарманов, Э.В. Дингес, Г.А. Клигман [и др.]. – М.: Транспорт, 1983. – 358 с.

Лабораторная работа №4
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ЗАКРЕПЛЕНИЮ ПАРКА
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ
ЗА ОБЪЕКТАМИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Теоретические основы лабораторной работы

Данные задачи являются разновидностью задач по оптимизации производственной программы. **Производственная программа** – один из основных разделов плана деятельности строительной организации, в котором указываются сроки выполнения работ, объёмы работ и их распределение по объектам и исполнителям. Ресурсные, временные или иные ограничения обуславливают необходимость оптимизации производственной программы. **Оптимизация** – процесс приведения системы в наилучшее состояние (оптимальное), которое должно соответствовать некоторому критерию при соблюдении ряда ограничений. **Критерий оптимизации (оптимальности)** – количественный показатель, который выражает предельную меру экономического, научно-технического или другого эффекта принимаемого решения для сравнительной оценки возможных альтернатив и выбора наилучшей. Критерий оптимальности описывается **целевой функцией**, которая может принимать максимальное или минимальное значение.

В качестве критериев оптимизации производственной программы могут выступать:

- минимальные затраты на выполнение работ;
- максимальная прибыль;
- минимальная продолжительность выполнения работ;
- максимальная выработка и другие.

Рассматриваемые в данной работе задачи решаются по критерию минимальных затрат.

Ограничениями могут выступать имеющееся количество ресурсов и объемы работ, которые необходимо выполнить за определенный период.

Машины и механизмы – один из видов производственных ресурсов, достигающий в себестоимости строительных работ значительно-

го удельного веса (15–20%), а наиболее существенную долю – при выполнении земляных работ, где почти отсутствует применение строительных материалов.

В качестве искомых величин в рассматриваемых в настоящей работе оптимизационных задачах могут выступать:

- 1) затраты времени работы машин на тех или иных объектах в маш.-ч;
- 2) количество машин для работы на тех или иных объектах;
- 3) объем продукции (работ) того или иного вида, которые необходимо выполнить на разных объектах.

Постановку задачи для первых двух случаев можно сформулировать сходным образом: имеется некоторый парк взаимозаменяемых машин (комплектов машин). Необходимо распределить их количество или время работы так, чтобы объемы работ на каждом из объектов были выполнены, максимальные возможные фонды времени работы (максимально доступное количество единиц) по каждому типоразмеру машин (комплекта машин) не были превышены, а суммарные затраты на выполнение работ были бы минимальны.

Математическую модель задачи в этом случае можно представить следующим образом:

Критерий оптимизации (целевая функция) – минимальная себестоимость выполнения работ:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} \times X_{ij} \rightarrow \min. \quad (1)$$

Ограничения:

- 1) требуемый объем работ на каждом объекте должен быть выполнен:

$$\sum_{i=1}^n P_{ij} \times X_{ij} = V_j; \quad (2)$$

- 2) фонд рабочего времени машины (комплекта машин) каждого типоразмера не должен быть превышен или же в другом случае: суммарное количество машин (комплектов машин) каждого типоразмера не должно быть превышено:

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} \leq F_i; \quad (3)$$

3) переменные должны быть не отрицательными.

$$X_{ij} \geq 0, \quad (4)$$

где X_{ij} – количество машино-часов работы (количество единиц) машины (комплекта машин) i на объекте j ; C_{ij} – себестоимость машино-часа работы машины (комплекта машин) i на объекте j ; P_{ij} – эксплуатационная производительность работы машины (комплекта машин) i на объекте j ; V_j – объем работ на объекте j ; F_i – фонд рабочего времени машины (комплекта машин) или: предельно доступное количество единиц машины i , маш.-ч; n – общее количество типоразмеров машин (комплектов машин); m – общее количество объектов производства работ.

Несколько иначе формулируются постановка и математическая модель задачи в 3-м случае: необходимо распределить объемы работ между машинами (комплектами машин) таким образом, чтобы объемы работ каждого вида были выполнены, а фонды времени (количество машин) не были превышены. Математическая модель задачи:

Критерий оптимизации (целевая функция) – минимальная себестоимость выполнения работ:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij}^o \times X_{ij}^o \rightarrow \min. \quad (5)$$

Ограничения:

1) требуемый объем работ на каждом объекте должен быть выполнен:

$$\sum_{i=1}^n X_{ij}^o = V_j; \quad (6)$$

2) фонд рабочего времени машины (комплекта машин) каждого типоразмера не должен быть превышен.

$$\sum_{j=1}^m t_{ij} \times X_{ij}^o \leq F_i; \quad (7)$$

3) переменные должны быть не отрицательными

$$X_{ij}^o \geq 0, \quad (8)$$

где C_{ij}^o – себестоимость выполнения единицы объема работ машиной (комплексом машин) i на объекте j ; X_{ij}^o – объем работ, который необходимо выполнить машиной (комплексом машин) i на объекте j ; V_j – объем работ на объекте j ; t_{ij} – необходимые (нормативные, плановые) затраты машинного времени на единицу объема при работе машины

(комплекта машин) i на объекте j , маш.-ч; F_i – фонд рабочего времени машины (комплекта машин) i , маш.-ч; n – общее количество типоразмеров машин (комплектов машин); m – общее количество объектов производства работ.

Задача относится к классу задач линейного программирования и решается симплекс-методом.

В общем случае, решение задачи включает в себя три этапа:

- 1) подготовка матрицы исходных данных;
- 2) решение задачи на ЭВМ;
- 3) анализ результатов решения.

В общем виде, матрица исходных данных имеет следующий вид (табл. 1).

Таблица 1

Матрица исходных данных

Машины (комплекты машин)	Объекты производства работ						Фонд рабочего времени, маш.-ч.
	1	2	...	j	...	m	
1	$C_{11} P_{11}$	$C_{12} P_{12}$	...	$C_{1j} P_{1j}$	...	$C_{1m} P_{1m}$	F_1
2	$C_{21} P_{21}$	$C_{22} P_{22}$	...	$C_{2j} P_{2j}$	...	$C_{2m} P_{2m}$	F_2
...
i	$C_{i1} P_{i1}$	$C_{i2} P_{i2}$	...	$C_{ij} P_{ij}$	...	$C_{im} P_{im}$	F_i
...
n	$C_{n1} P_{n1}$	$C_{n2} P_{n2}$	...	$C_{nj} P_{nj}$	...	$C_{nm} P_{nm}$	F_n
Объем работ на объекте, физ. ед.	V_1	V_2	...	V_j	...	V_m	

Таблица 2

Таблица результатов решения задачи

Машины (комплекты машин)	Объекты производства работ						Фонд рабочего времени, маш.-ч.
	1	2	...	j	...	m	
1	$C_{11} P_{11}$ X_{11}	$C_{12} P_{12}$ X_{12}	...	$C_{1j} P_{1j}$ X_{1j}	...	$C_{1m} P_{1m}$ X_{1m}	F_1
2	$C_{21} P_{21}$ X_{21}	$C_{22} P_{22}$ X_{22}	...	$C_{2j} P_{2j}$ X_{2j}	...	$C_{2m} P_{2m}$ X_{2m}	F_2
...
i	$C_{i1} P_{i1}$ X_{i1}	$C_{i2} P_{i2}$ X_{i2}	...	$C_{ij} P_{ij}$ X_{ij}	...	$C_{im} P_{im}$ X_{im}	F_i
...
n	$C_{n1} P_{n1}$ X_{n1}	$C_{n2} P_{n2}$ X_{n2}	...	$C_{nj} P_{nj}$ X_{nj}	...	$C_{nm} P_{nm}$ X_{nm}	F_n
Объем работ на объекте, физ. ед.	V_1	V_2	...	V_j	...	V_m	

Решать задачу удобно с помощью опции «Поиск решения» в программе Microsoft Excel. Результаты для наглядности целесообразно оформить в табл. 2.

Если в качестве искомых величин выступают объемы работ, в табл. 1–2 вместо параметра P_{ij} будет t_{ij} .

Методический пример

Земляные работы выполняются на нескольких объектах взаимозаменяемыми комплектами экскаваторов с автосамосвалами.

Исходные данные (в левом верхнем углу ячеек – себестоимость, руб./маш.-ч., в правом – эксплуатационная производительность, м²/ч) представлены в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные к задаче

Машины (комплекты машин)	Объекты производства работ										Фонд ра- бочего времени, маш.-ч.
	1		2		3		4		5		
ЖСВ JS220, 4 комплекта	12878	85	23413	98	41852	242	12877	104	28681	107	2800
ЭО 5126, 3 комплекта	18834	106	31994	122	53066	303	18824	130	37262	134	2100
Твэкс ЕК 14, 2 комплекта	14851	86	25387	103	22753	113	14850	109	30655	109	1400
ЭО 3323, 3 комплекта, 3 комплекта	8325	45	16227	55	13593	58	8325	59	16227	57	2100
Экскаватор- погрузчик ЖСВ 4СХ, 2 комплекта (собств.)	5942	7,2	5942	8,4	5942	8,3	5942	8,8	5942	9,1	1400
Экскаватор- погрузчик ЖСВ 4СХ, 2 комплекта (взяты в лизинг)	5521	7,2	5521	8,4	5521	8,3	5521	8,8	5521	9,1	1400
Объем работ на объекте, м ³	180000		135000		190000		245000		175000		

Математическая модель этой задачи соответствует формулам (1)–(4) и может быть представлена следующим образом.

Целевая функция:

$$\begin{aligned}
 &12878X_{11} + 23413X_{12} + 41852X_{13} + 12877X_{14} + 28681X_{15} + 18834X_{21} + \\
 &+ 31994X_{22} + 53066X_{23} + 18824X_{24} + 37262X_{25} + 14851X_{31} + 25387X_{32} + \\
 &+ 22753X_{33} + 14850X_{34} + 30655X_{35} + 8325X_{41} + 16227X_{42} + 13593X_{43} + \\
 &+ 8325X_{44} + 16227X_{45} + 5942X_{51} + 5942X_{51} + 5942X_{52} + 5942X_{53} + \\
 &+ 5942X_{54} + 5942X_{55} + 5521X_{61} + 5521X_{62} + 5521X_{63} + 5521X_{64} + \\
 &+ 5521X_{65} \rightarrow \min.
 \end{aligned}$$

Ограничения:

$$\begin{aligned}
 &85X_{11} + 106X_{21} + 86X_{31} + 45X_{41} + 7,2X_{51} + 7,2X_{61} = 180000; \\
 &98X_{12} + 122X_{22} + 133X_{32} + 55X_{42} + 8,4X_{52} + 8,4X_{62} = 135000; \\
 &242X_{13} + 303X_{23} + 113X_{33} + 58X_{43} + 8,3X_{53} + 8,3X_{63} = 190000; \\
 &104X_{14} + 130X_{24} + 109X_{34} + 59X_{44} + 8,8X_{54} + 8,8X_{64} = 245000; \\
 &107X_{15} + 134X_{25} + 109X_{35} + 57X_{45} + 9,1X_{55} + 9,1X_{65} = 175000; \\
 &X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} \leq 2800; \\
 &X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} \leq 2100; \\
 &X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} \leq 1400; \\
 &X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} \leq 2100; \\
 &X_{51} + X_{52} + X_{53} + X_{54} + X_{55} \leq 1400; \\
 &X_{61} + X_{62} + X_{63} + X_{64} + X_{65} \leq 1400.
 \end{aligned}$$

Решение задачи осуществляется по следующему алгоритму:

1. Подготовка к решению задачи в Excel. Для этого необходимо на листе в Excel подготовить следующие таблицы:

– матрица значений производительности для каждого комплекта машин при работе на каждом из объектов (P_{ij}), табл. 4;

– матрица с будущими значениями переменных (искомых величин, в математической модели, означаемых «X») и ограничениями, табл. 5 (Для ограничений типа (3) или (6) можно воспользоваться арифметической функцией СУММ, а для расчета ограничений типа (2), (7) целесообразно применить функцию СУММПРОИЗВ. Также рядом указываются заданные значение ограничений);

– матрица себестоимости эксплуатации комплектов машин по объектам (табл. 6);

В табл. 4–6 жирным шрифтом выделены номера строк и граф на листе Excel.

В отдельной ячейке рассчитывается значение целевой функции. Для этого можно использовать функцию СУММПРОИЗВ.

Таблица 4

Матрица значений производительности комплектов машин
на листе Excel

	B	C	D	E	F	G
1	Производительность комплектов машин, м ³ /ч					
2	Комплекты машин	Объекты				
3		1	2	3	4	5
4	1	85	98	242	104	107
5	2	106	122	303	130	134
7	3	86	103	113	109	109
8	4	45	55	58	59	57
9	5	8,20	8,4	8,3	8,8	9,1
10	6	8,20	8,4	8,3	8,8	9,1

Таблица 5

Матрица с переменными значениями и ограничениями на листе Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Переменные и ограничения							
2	Комплекты машин	Расчетные значения фонда времени, маш.-ч	Объекты					Заданный фонд времени, маш.-ч.
3	1	5	1	1	1	1	1	2800
4	2	5	1	1	1	1	1	2100
5	3	5	1	1	1	1	1	1400
6	4	5	1	1	1	1	1	2100
7	5	5	1	1	1	1	1	1400
8	6	5	1	1	1	1	1	1400
9	Заданные значения объема работ, м ³		180000	135000	190000	245000	175000	
10	Расчетные значения объемов работ, м ³		338,4	394,8	732,6	419,6	425,2	

Таблица 6

Матрица значений себестоимости эксплуатации комплектов машин
на листе Excel

	B	C	D	E	F	G
1	Комплекты машин	Себестоимость эксплуатации комплекта, руб./маш.-ч. (C _{ij})				
2		Объекты				
3		1	2	3	4	5
4	1	12878	23413	41852	12877	28681
5	2	18834	31994	53066	18824	37262
6	3	14851	25387	22753	14850	30655
7	4	8325	16277	13593	8325	16227
8	5	5942	5942	5942	5942	5942
9	6	5521	5521	5521	5521	5521

2. Выполнение расчета. Для этого открывается окно «Поиск решения» в меню «Данные» (рис. 1).

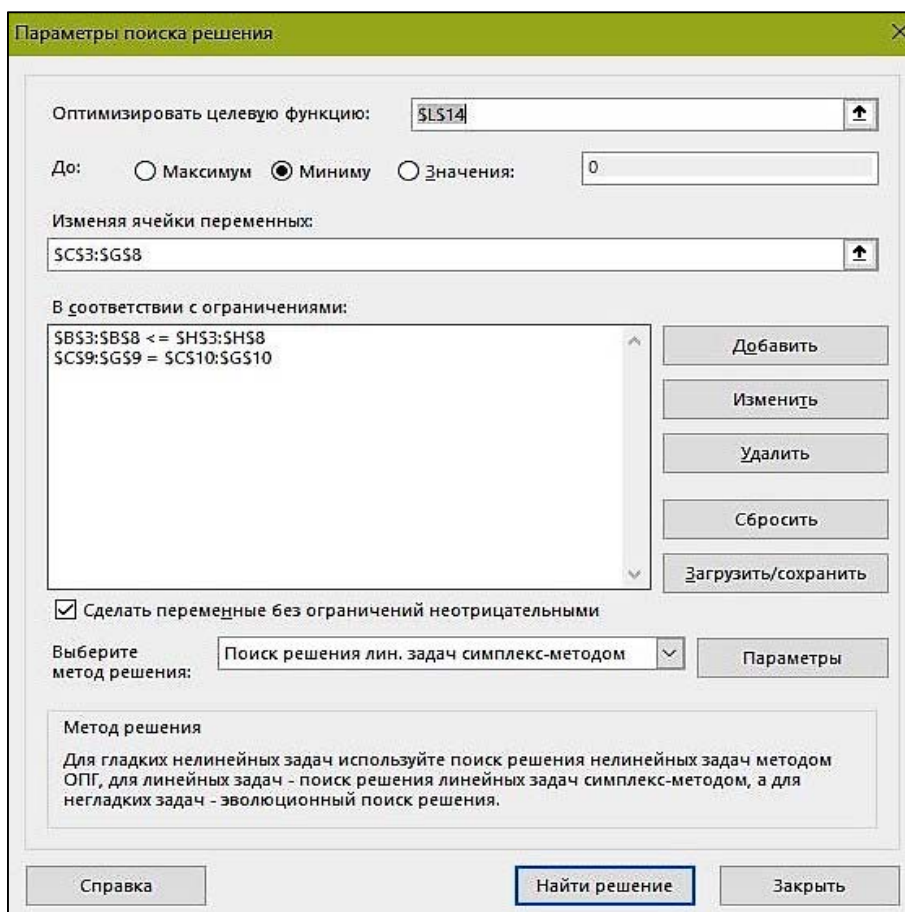


Рис. 1. Окно «Поиск решения»

В строке «**Оптимизировать целевую функцию**» показывается ссылка на ячейку со значением целевой функции. Для этого нужно кликнуть на соответствующую ячейку. Отмечается, что функция стремится к минимуму.

В строке «**Изменяя ячейки переменных**» выделяются соответствующие ячейки в табл. 5, то есть те значения, которые предварительно были приняты равными единице.

Задаются ограничения путем выделения ячейки с расчетными и заданными значениями ограничений, между ними ставится соответствующий знак. Ограничения добавляются через кнопку «**Добавить**». При необходимости для внесения исправлений в ограничениях следует нажать кнопку «**Изменить**».

Ставится галочка рядом со словами «**Сделать переменные без ограничений неотрицательными**» (ограничения(4) и (6)).

Выбирается метод решения «Поиск решения лин. задач симплекс-методом».

Нажимается кнопка «Найти решение». Если решение у задачи есть, то появляется следующее окно (рис. 2):

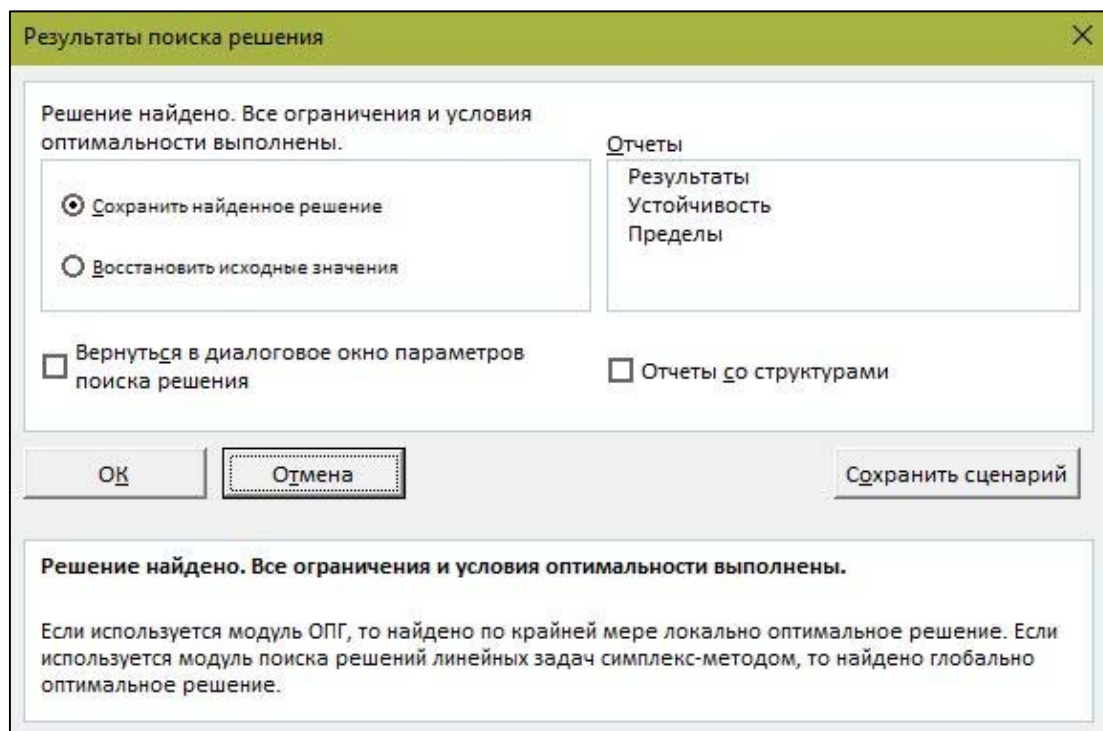


Рис. 2. Результаты «Поиска решения»

Табл. 5. автоматически заполняется оптимальным решением. Она будет иметь следующий вид с учетом округлений (табл. 7).

Таблица 7

Оптимальное решение задачи

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Переменные и ограничения							
2	Комплекты машин	Расчетные значения фонда времени, маш.-ч.	Объекты					Заданный фонд времени, маш.-ч.
3	1	2800	2118	0	0	682	0	2800
4	2	2100	0	0	627	311	1162	2100
5	3	1400	0	1310	0	90	0	1400
6	4	2100	0	0	0	2100	0	2100
7	5	719	0	0	0	0	719	1400
8	6	1400	0	0	0	0	1400	1400
9	Заданные значения объема работ, м ³		180000	135000	190000	245000	175000	
10	Расчетные значения объемов работ, м ³		180030	134930	189981	245068	174990,9	

Значение целевой функции, соответствующее оптимальному решению – 182 560 476 руб.

Отклонение в отдельных случаях расчетных значений объемов работ от заданных не значительно и может быть компенсировано более высокой производительностью работ или иными организационно-техническими решениями.

Анализ табл. 7 позволяет сделать вывод, что один из двух комплектов машин 5-й типоразмерной группы останется неиспользованным, его можно задействовать на других работах или сдавать в аренду.

Исходные данные для выполнения лабораторной работы

Для самостоятельного выполнения лабораторной работы предлагается решение следующих задач.

Задача 1

Известны следующие данные о производительности и себестоимости работы автомобилей-самосвалов (табл. 8, 9).

Таблица 8

Технико-экономические показатели работы автомобилей-самосвалов

Автомобили-самосвалы	Зависимость производительности от дальности возки груза, т/смена	Зависимость себестоимости от дальности возки груза (при дальностях от 13 до 24 км), руб./т	Максимально возможное количество самосвалов
1	$P = \frac{64,2}{\frac{L}{10} + 0,2}$	$92 + 11,2 \cdot (L - 12)$	30
2	$P = \frac{91,8}{\frac{L}{10} + 0,2}$	$118 + 24 \cdot (L - 12)$	20
3	$P = \frac{47,6}{\frac{L}{10} + 0,2}$	$142 + 16,8 \cdot (L - 12)$	10

Таблица 9

Характеристика объектов

Объекты	1	2	3	4
Объем перевозки груза, т	700	400	620	200
Дальность перевозки груза (L), км	23	20	15	13

Необходимо закрепить автомобили-самосвалы за объектами по критерию минимальных транспортных затрат в смену.

Задача 2

Строительная организация должна выполнить установку железобетонных пролетных строений на опоры с помощью консольных кранов. Необходимые затраты машинного времени в маш.-ч. на одну конструкцию представлены в табл. 10.

Таблица 10

Данные о работе консольных кранов

Пролетные строения длиной, м	Марка крана		Количество конструкций, которое необходимо смонтировать, шт.
	ГЭПК-130	ГЭК-180	
	Необходимые затраты времени, маш.-ч./шт.		
– 18	11	13,2	130
– 24	13,09	15,7	90
– 34,3	14,76	17,7	50
Максимально возможный фонд времени, маш.-ч.	2250	1600	
Себестоимость эксплуатации, руб./маш.-ч.	6975	3235	

Необходимо распределить железобетонные строения по маркам кранов так, чтобы затраты на выполнение работ были бы минимальными.

Список литературы

1. Экономика дорожного хозяйства: учебник / А.И. Авраамов, А.А. Авсеенко, Е.Н. Гарманов [и др.]; под ред. Е.Н. Гарманова. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 400 с.

2. Гарманов, Е.Н. Строительство мостов. Организация, планирование и управление: учебник / Е.Н. Гарманов, Э.В. Дингес, Г.А. Климман [и др.]. – М.: Транспорт, 1983. – 358 с.

3. Дингес, Э.В. Оптимальное планирование производственной программы дорожной организации в сложных конъюнктурных условиях: учеб. пособие / Э.В. Дингес, С.А. Гужов. – М.: МАДИ, 2013. – 96 с.

4. Орлова, И.В. Экономико-математическое моделирование: практическое пособие по решению задач / И.В. Орлова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Вузовский учебник: НИЦ ИНФРА-М, 2018. – 140 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=648503#>

Лабораторная работа №5
ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ
ХРОНОМЕТРАЖНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Теоретические основы работы

Хронометраж – один из основных видов нормативных наблюдений (наряду с фотоучетом), применяемый для проектирования и проверки норм затрат труда.

Нормативное наблюдение – выборочное исследование строительного, монтажного или ремонтно-строительного процессов, состоящее в учете затрат труда (времени) рабочих или времени использования машин, в замерах первичной и законченной продукции, в описании условий, характеризующих технику, технологию, организацию исследуемого процесс, охрану труда.

Хронометраж – вид наблюдений, применяемый для сплошных или выборочных замеров времени при изучении кратковременных элементов или циклических процессов с точностью учета времени от 0,2 сек до 1 сек.

В табл.1 представлены сравнительные характеристики хронометража и фотоучета.

Проектирование норм затрат труда аналитически-исследовательским методом включает в себя проведение и обработку результатов нормативных наблюдений. В силу того, что хронометраж предусматривает проведение ряда замеров, обработка соответствующих результатов требует наибольшее количество вычислительных операций. Цель обработки хронометражных рядов – проверка ряда на устойчивость и исключение при необходимости ошибочных замеров. Причины ошибочных замеров:

- человеческий фактор (то есть ошибки нормировщика или рабочих, выполняющих процесс);
- ошибки измерительных приборов.

Результаты некоторых замеров могут быть исключены уже сразу, если об этом имеются соответствующие пометки нормировщика.

Особенности хронометража и фотоучета

Вид нормативного наблюдения	Область применения	Количество наблюдений	Количество замеров	Особенности учета
Хронометраж	Наблюдение за циклическими процессами (продолжительность цикла не превышает 5 минут, а доля нециклических элементов не превышает 20% трудоемкости)	2–10 (зависит от уровня механизации процесса и категории проектируемой нормы)	5–21 (в зависимости от средней продолжительности элемента цикла)	Сплошной и выборочный; индивидуальный; точность учета 0,2–1 сек.
Фотоучет	Наблюдение за нециклическими процессами, а также за циклическими, если продолжительность цикла свыше 5 минут	2–10 (зависит от уровня механизации процесса и категории проектируемой нормы)	–	сплошной; групповой и индивидуальный; точность учета – 5–60 сек.

Обработка хронометражного ряда проводится по алгоритму, представленному на рис. 1. Алгоритм отражает методику, разработанную НИИ экономики строительства.

Суть этого алгоритма сводится к следующему:

1) определяется коэффициент разбросанности ряда как отношение максимального значения к минимальному в ряду (блок 1);

2) если коэффициент разбросанности ряда не превышает 1,3 (блок 2), то ряд считается устойчивым, и определяется среднее значение в ряду (блок 3);

3) если коэффициент разбросанности ряда больше 1,3, но меньше 2 (блок 4), то дальнейшая проверка осуществляется **методом предельных значений**: для этого рассчитываются величины A_1 и A_2 (блоки 5 и 6);

4) если максимальное значение в ряду больше A_1 (блок 7), то максимальное значение исключается (блок 10);

5) если минимальное значение в ряду меньше A_2 (блок 9), то исключается минимальное значение (блок 10);

5) если оба условия (блоки 7 и 9) выполняются, то не одно из значений исключать не надо, можно определять среднее значение в ряду (блок 3);

7) если условие в блоке 4 не выполняется, то есть коэффициент разбросанности больше 2, то дальнейшая проверка ряда на устойчивость осуществляется **методом среднеквадратической относительной ошибки**; для этого рассчитывается относительная ошибка (блок 11), сравнивается с допустимым значением (блок 12), если рассчитанное значение не превышает допустимого, то ряд считается устойчивым, ни одно из значений исключать не надо, рассчитывается среднее значение в ряду (блок 3), если рассчитанное значение больше допустимого, то рассчитываются величины K_1 и K_2 (блоки 13 и 14), если K_1 больше или равно K_2 (блок 15), исключается максимальное значение, если наоборот, то минимальное;

8) после исключения одного из значений хронометражного ряда (в независимости от применяемого метода), заново определяется коэффициент разбросанности оставшегося ряда (блок 1), действия алгоритма необходимо повторять до тех пор, пока не будет достигнуто одно из условий устойчивости ряда.

Исключение из ряда одновременно нескольких одинаковых его значений не допускается.

Не рекомендуется исключать из ряда более 10% его значений.

Условные обозначения на рис. 1: a_{\min} и a_{\max} – минимальное и максимальное значение в ряду, соответственно; $a_{\min+1}$ – значение, следующее за минимальным в ряду; $a_{\max-1}$ – значение, предшествующее максимальному в ряду; n – количество значений в хронометражном ряду (за вычетом исключенных); K – коэффициент, зависящий от числа членов в ряду, его значение определяется в соответствии с табл. 2; $E_{\text{отн}}^{\text{доп}}$ – допустимая величина средней относительной квадратической ошибки, значение определяется в соответствии с табл. 3.

Таблица 2

Число значений в ряду ($n - 1$)	K
9–10	1,0
11–15	0,9
16–30	0,8

Таблица 3

Число циклических элементов в исследуемом процессе	$E_{\text{отн}}^{\text{доп}}$
до 5	$\pm 7\%$
до 10	$\pm 10\%$
более 10	$\pm 12\%$

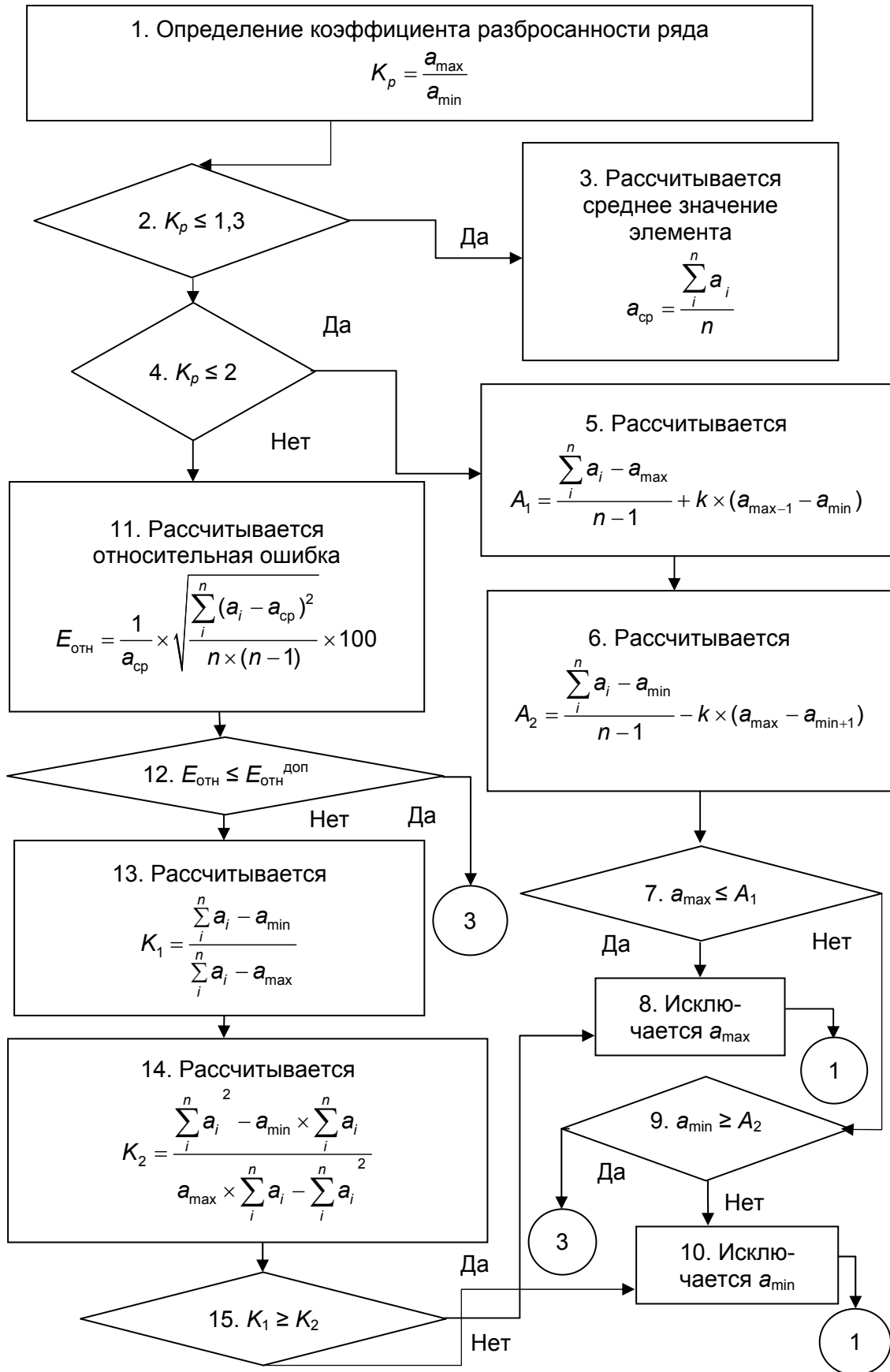


Рис. 1. Алгоритм обработки результатов хронометражных наблюдений

Методический пример

Необходимо по результатам хронометражных наблюдений определить средние значения продолжительности элементов цикла работы бульдозера, предварительно осуществив соответствующую обработку. Наименование процесса – «Разработка и перемещение грунта бульдозером Б10м на расстояние 60 м».

Основные элементы цикла работы:

- 1) копание и набор грунта;
- 2) перемещение грунта;
- 3) поворот бульдозера;
- 4) обратный ход.

Как было показано в табл. 1, для расчёта норм требуется как минимум два наблюдения. Однако в условиях примера будут разобраны результаты только по одному наблюдению. Аналогичным образом обрабатываются результаты остальных наблюдений.

В рамках одного наблюдения было произведено по 25 замеров для каждого из элементов. Результаты представлены в табл. 4.

Обработка рядов осуществляется по алгоритму, приведённому на рис. 1.

Расчеты удобно производить в программе Microsoft Excel. Для расчетов используется ряд математических и статистических формул (функций), встроенных в эту программу:

- 1) СУММ (расчет суммы значений);
- 2) СУММКВ (вычисление суммы квадратов чисел);
- 3) НАИМЕНЬШИЙ и НАИБОЛЬШИЙ (вместо использования этих функций возможна сортировка ряда по возрастанию или убыванию);
- 4) СРЗНАЧ (вычисление среднего арифметического);
- 5) ДИСП.В (вычисление дисперсии).

Результаты удобно оформить в форме, приведенной в табл. 5.

Ряд 1 (результаты хронометражных наблюдений по элементу «Копание и набор грунта»)

1. Максимальное значение в ряду – 18, минимальное – 9,8, следовательно – коэффициент разбросанности (блок 1, рис. 5):

$$\frac{18}{9,8} = 1,84.$$

Таблица 4

Результаты хронометражных наблюдений за работой бульдозера Б10м, сек

Наименование элемента цикла	Номер замера																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Копание и набор грунта	14	13	12	13	14	15	18	12	13	13,5	14,5	13	13	12	12	15	14	15	13	13,7	14,1	15,3	9,8	10,1	10,9
Перемещение грунта	60	65	70	80	77	50	45	47	51	48	61	62	68	59	58	57	68	66	67	56	59	58	63	60	61
Поворот бульдозера	9	10	11	10,5	9	7	15	17	12,5	13	12	15	14	11	14	12,6	13	16	12	13	14	16	9	10,5	11
Обратный ход	49	67	27	65	29	49	28	66	68	29	29	68	34	64	33	32	65	65	33	31	65	35	31	65	65

Таблица 5

Результаты обработки хронометражных рядов

№ ряда	a_{\max}	a_{\min}	K_p	K	$a_{\max-1}$	$a_{\min+1}$	A_1	A_2	Дис- пер- сия	Среднее	$E_{\text{отн}},$ %	$E_{\text{отн}}^{\text{доп}}$ %	K_1	K_2	Вывод	$a_{\text{ср}}$
1	18	9,8	1,84	0,8	15,3	10,1	17,5	7,1	–	–	–	–	–	–	Исключается $a_{\max} = 18$	–
	15,3	9,8	1,56	0,8	15	10,1	17,3	9,2	–	–	–	–	–	–	Ряд устойчивый	13,2
2	80	45	1,78	0,8	77	47	85,4	34,9	–	–	–	–	–	–	Ряд устойчивый	60,7
3	17	7	2,43	–	–	–	–	–	6,33	12,3	4,1	7	–	–	Ряд устойчивый	12,3
4	68	27	2,52	–	–	–	–	–	293,6	47,68	7,2	7	1,03	1,8	Исключается $a_{\min} = 27$	–
	68	28	2,43	–	–	–	–	–	287	48,54	7,1	7	1,03	1,9	Исключается $a_{\min} = 28$	–
	68	29	2,34	–	–	–	–	–	280,1	49,4	7,06	7	1,03	2	Исключается $a_{\min} = 29$	–
	68	29	2,34	–	–	–	–	–	272,6	50,4	6,99	7	–	–	Ряд устойчивый	50,4

2. Коэффициент разбросанности больше 1,3, но меньше 2, следовательно, дальнейшая проверка осуществляется по *методу предельных значений* (блоки 5–10 рис. 5).

$$3. \text{ Параметр } A_1 = \frac{332,9 - 18}{24} + 0,8 \times (15,3 - 9,8) = 17,5. \text{ Значение } K$$

принято в соответствии с табл. 5 равным 0,8, так как число значений в ряду 25, то есть находится в интервале от 16 до 30.

$$4. \text{ Параметр } A_2 = \frac{332,9 - 9,8}{24} - 0,8 \times (18 - 10,1) = 7,1.$$

5. a_{\max} больше чем предельное значение A_1 , a_{\min} не превышает предельное значение A_2 , следовательно, необходимо исключить максимальное значение в ряду (18).

6. Таким образом, в ряду осталось 24 значения, необходимо заново найти коэффициент разбросанности ряда: $\frac{15,3}{9,8} = 1,567$.

7. И вновь, коэффициент разбросанности больше 1,3, но меньше 2, вновь используется проверка методом предельных значений:

$$8. A_1 = \frac{317,6 - 15,3}{23} + 0,8 \times (15 - 9,8) = 17,3.$$

$$9. A_2 = \frac{317,6 - 9,8}{23} - 0,8 \times (15,3 - 10,1) = 9,2.$$

10. Таким образом, и максимальное, и минимальное значение ряда не превышают своих пределов, следовательно, ряд можно считать устойчивым и рассчитать среднее значение продолжительности элемента (блок 3): $\frac{317,6}{24} = 13,2$.

Ряд 2 (результаты хронометражных наблюдений по элементу «Перемещение грунта»)

$$1. a_{\max} = 80, a_{\min} = 45. \text{ Коэффициент разбросанности } (K_p): \frac{80}{45} = 1,78.$$

2. Так как K_p находится в пределах от 1,3 до 2, то для дальнейшей проверки применяется метод предельных значений.

$$3. A_1 = \frac{1516 - 80}{24} + 0,8 \times (77 - 45) = 75,4.$$

$$4. A_2 = \frac{1516 - 45}{24} - 0,8 \times (80 - 47) = 34,9.$$

5. И максимальное, и минимальное значения в ряду не превышают своих пределов, следовательно, ряд устойчив, и можно рассчитать его среднюю продолжительность: $\frac{1516}{25} = 60,7$.

Ряд 3 (результаты хронометражных наблюдений по элементу «Поворот бульдозера»)

1. $a_{\max} = 17, a_{\min} = 7, K_p = \frac{17}{7} = 2,43$.

2. Так как коэффициент разбросанности (K_p) больше 2, то для дальнейшей проверки используется метод среднеквадратической относительной ошибки (блоки 11–15, рис. 5.1).

3. Среднеквадратическая ошибка определяется по формуле в блоке 11 алгоритма. Трудоемкость соответствующих расчетов можно снизить, используя встроенную в Excel функцию по расчёту дисперсии. В этом случае относительную ошибку можно рассчитать по формуле (1):

$$E_{\text{отн}} = \frac{1}{a_{\text{cp}}} \times \sqrt{\frac{D}{n}} \times 100, \quad (1)$$

где D – дисперсия, для ее расчета применяется встроенная в Excel функция ДИСП.В.

Таким образом, $E_{\text{отн}} = \frac{1}{12,3} \times \sqrt{\frac{6,33}{25}} \times 100 = 4,1\%$.

4. Значение относительной ошибки сравнивается с допустимым значением (блок 12). В данном случае допустимое значение равно 7%, так как число циклических элементов в процессе не превышает пяти. Легко видеть, что расчетное значение средней квадратической ошибки не превышает допустимое значение, следовательно, ряд можно считать устойчивым. Среднее значение продолжительности элемента: $\frac{307,1}{25} = 12,3$.

Ряд 4 (Результаты хронометражных наблюдений по элементу «Обратный ход»)

1. $a_{\max} = 68, a_{\min} = 27, K_p = \frac{68}{27} = 2,52$.

2. Так как K_p больше 2, то дальнейшая проверка осуществляется методом среднеквадратической относительной ошибки.

$$3. E_{\text{отн}} = \frac{1}{47,68} \times \sqrt{\frac{293,6}{25}} \times 100 = 7,2\%.$$

4. Для данного ряда расчетное значение ошибки превышает допустимое (7,2 больше 7), следовательно, необходимо рассчитать коэффициенты K_1 и K_2 (блоки 13 и 14 рис. 1).

$$5. K_1 = \frac{1192 - 27}{1192 - 68} = 1,03.$$

$$6. K_2 = \frac{63882 - 27 \times 1192}{68 \times 1192 - 63882} = 1,8.$$

7. K_2 больше K_1 , следовательно, необходимо исключить минимальное значение в ряду (27).

8. Вновь рассчитывается коэффициент разбросанности:
 $K_p = \frac{68}{28} = 2,43.$

9. Так как K_p больше 2, то дальнейшая проверка осуществляется методом среднеквадратической относительной ошибки.

$$10. E_{\text{отн}} = \frac{1}{48,54} \times \sqrt{\frac{287}{24}} \times 100 = 7,1\%.$$

11. По-прежнему расчетное значение относительной ошибки превышает допустимое (7,1 больше 7,2), необходимо рассчитать параметры K_1 и K_2 .

$$12. K_1 = \frac{1165 - 28}{1165 - 68} = 1,04.$$

$$13. K_2 = \frac{63153 - 28 \times 1165}{68 \times 1165 - 63153} = 1,9.$$

14. K_2 больше K_1 , следовательно, надо исключить $a_{\text{min}} = 28$.

15. Следующая итерация начинается с расчета K_p , следующие этапы аналогичны предыдущим, но ряд по-прежнему не становится устойчивым: $E_{\text{отн}}$ больше расчетного значения – исключается $a_{\text{min}} = 29$ (табл. 5).

16. На последней итерации расчетная ошибка не превысила 7%, следовательно, ряд можно считать устойчивым, $a_{\text{cp}} = 50,4$.

17. Таким образом, в данном примере были рассмотрены варианты в соответствии с алгоритмом (рис. 1). Полученные результаты можно свести в табл. 6.

Таблица 6

Средняя продолжительность элементов цикла работы бульдозера

Наименование элемента цикла	Средняя продолжительность элемента, сек (по результатам обработки хронометражных наблюдений)
Копание и набор грунта	13,2
Перемещение грунта	60,7
Поворот бульдозера	12,3
Обратный ход	50,4

Исходные данные для выполнения лабораторной работы**Задача 1**

Определить среднее время на выполнение элементов цикла работы самоходного скрепера МоАЗ-6014. Наименование процесса – разработка и перемещение грунта на расстояние 500 м.

Исходные данные представлены в табл. 7.

Таблица 7

Продолжительность элементов цикла работы скрепера, сек

Номер замера	Наименования элемента цикла			
	Копание и набор грунта	Перемещение грунта	Разгрузка грунта	Обратный ход
1	2	3	4	5
1	33	60	6,8	49
2	31	62	5,9	52
3	33	60	5,6	47
4	33	59	6,2	48
5	30	61	5,9	42
6	34	61	6,4	43
7	35	59	6,2	44
8	30	59	6,3	48
9	33	59	5,9	49
10	31	59	5,2	41
11	36	60	5,9	54
12	36	60	6,1	47
13	34	59	6,1	50
14	45	62	6,0	44
15	32	60	6,1	43
16	33	58	6,4	48
17	37	61	5,7	52
18	42	61	6	48
19	30	61	5	37
20	34	61	5,9	51
21	31	58	5	49
22	33	59	5,7	51

Продолжение табл. 7

1	2	3	4	5
23	37	61	6,5	42
24	20	59	6,7	51
25	31	59	5,8	45
26	45	60	6,2	36
27	32	59	6,4	45
28	35	60	5,9	44
29	36	60	6,2	48
30	33	62	6,5	42
31	35	59	6,3	61
32	33	60	6,8	51
33	38	61	6,5	48
34	28	59	6,4	47
35	35	60	6	46

Задача 2

Определить среднее время на выполнение элемента (продолжительность одного прохода уплотнения) цикла работы самоходного катка. Результаты хронометражных наблюдений в сек:

332 250 273 284 291 278 278 279 267 280 268 258
287 276 275

Задача 3

Определить среднее время на выполнение цикла работы одноковшового экскаватора. Результаты хронометражных наблюдений в сек:

45 19 22 19 24 22 18 30 26 19 18 32
24 17 26 24 24 24 27 13

Список литературы

1. Нормирование труда рабочих в строительстве / Е.Ф. Балова, Р.С. Бекерсан, Р.Н. Евтушенко [и др.]; под ред. Е.Ф. Баловой. – М.: Стройиздат, 1985. – 440 с.

2. Экономика дорожного хозяйства: учебник / А.И. Авраамов, А.А. Авсеенко, Е.Н. Гарманов [и др.]; под ред. Е.Н. Гарманова. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 400 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
<i>Лабораторная работа №1</i> РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.....	4
<i>Лабораторная работа №2</i> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ О ЗАКРЕПЛЕНИИ ПОСТАВЩИКОВ ПРОДУКЦИИ ЗА ПОТРЕБИТЕЛЯМИ.....	18
<i>Лабораторная работа №3</i> СОСТАВЛЕНИЕ И РАСЧЕТ СЕТЕВОГО ГРАФИКА НА СТРОИТЕЛЬСТВО МОСТА	25
<i>Лабораторная работа №4</i> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ЗАКРЕПЛЕНИЮ ПАРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ЗА ОБЪЕКТАМИ СТРОИТЕЛЬСТВА	30
<i>Лабораторная работа №5</i> ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ХРОНОМЕТРАЖНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ.....	41