

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Санкт Петербургский государственный аграрный университет

Кафедра надёжности и технического сервиса машин

Методические указания для практических занятий и
самостоятельной работы
по дисциплине «Надёжность технических систем»

**Раздел 5. Оценка показателей надёжности
восстанавливаемых объектов**

*Для студентов специальности 110304.65 Технология обслуживания и
ремонта машин в АПК*

Санкт – Петербург Пушкин
2010 год.

УДК 631. 3. 004. 62

СКОВОРОДИН В.Я. Методические указания для практических занятий и самостоятельной работы по дисциплине «Надёжность технических систем»: Раздел 5. Оценка показателей надёжности восстанавливаемых объектов / Санкт Петербургский государственный аграрный университет. СПб, 2010. - 14с.

Рекомендовано к печати:

Методической комиссией инженерно – технологического факультета
(протокол № от 2010г.)

Методическим советом Санкт Петербургского государственного
аграрного университета (протокол № от 2010г.)

Рецензент канд. техн. наук, доц. Бабенко Э.П.

1. Теоретические пояснения

Восстанавливаемыми объектами считаются объекты, восстановление работоспособности которых после отказов предусмотрено в нормативно – технической и конструкторской документации на объект. Для таких объектов до достижения ими предельного состояния может быть несколько отказов.

Показателями надёжности восстанавливаемых объектов являются:

Показатели долговечности:

- средний ресурс;
- гамма – процентный ресурс.

При определении показателей долговечности наработки в моменты отказов не учитываются. В качестве исходных данных принимаются наработки объектов до достижения ими предельного состояния (ресурсы объектов). Методика расчёта среднего и гамма – процентного ресурса рассмотрена в разделе «Оценка показателей надёжности невосстанавливаемых объектов».

Показатели безотказности:

- параметр потока отказов;
- средняя наработка на отказ.

При анализе безотказности основной характеристикой восстанавливаемых объектов является поток отказов. Следующие друг за другом отказы можно рассматривать как поток однородных событий, различающихся только моментами их появления. Так как после отказа объекта требуется восстановление работоспособности, то поток требований на ремонт называют потоком восстановлений.

Поток отказов (поток восстановлений) представляет последовательность точек на числовой оси (оси наработки) через наработку t_1, t_2, \dots, t_i , соответствующих появлению отказов.

Поток событий может быть регулярным, если события следуют одно за другим через строго определённые промежутки времени. Например, если в качестве временной шкалы принять наработку машин, поток требований на проведение технического обслуживания будет регулярным. Поток событий называется случайным, если события появляются в случайное время. Для всех технических систем поток отказов является случайным.

Случайный поток событий называется стационарным, если вероятность попадания числа событий на какой - либо участок наработки зависит только от длины участка и не зависит от того, где на оси наработки расположен этот участок. Поток отказов для технических систем не будет стационарным, так как с увеличением срока службы объекта и его старением интенсивность отказов обычно увеличивается.

В качестве характеристики потока отказов используется ведущая функция потока - $\Omega(t)$ (число отказов за наработку от нуля до t). Число отказов за интервал наработки Δt - определяется по формуле:

$$r(t, t + \Delta t) = \Omega(t + \Delta t) - \Omega(t),$$

где: $r(t, t + \Delta t)$ - число отказов за интервал наработки Δt ;

$\Omega(t)$ - число отказов к моменту наработки t ;

$\Omega(t + \Delta t)$ - число отказов к моменту наработки $t + \Delta t$.

Отношение числа отказов объекта за достаточно малую величину наработки к значению этой наработки называется параметром потока отказов - $W(t)$. Это есть первая производная от ведущей функции потока отказов:

$$W(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{r(t, t + \Delta t)}{\Delta t} = \frac{d \Omega(t)}{dt}$$

Для стационарного потока отказов функция потока является линейной функцией, а параметр потока отказов есть постоянная величина, не зависящая от наработки.

Для не стационарного потока отказов функция потока является не линейной функцией, а параметр потока отказов зависит от наработки. В этом случае значение параметра потока отказов в заданные периоды наработки определяются по формуле:

$$W(t_n, t_k) = \frac{r(t_k) - r(t_n)}{n(t_k - t_n)},$$

где: t_n, t_k - наработка на начало и конец рассматриваемого периода;

$r(t_n), r(t_k)$ - число отказов к началу и концу рассматриваемого периода;

n - число объектов.

Средняя наработка на отказ (T) – это отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к числу отказов в течение этой наработки.

Определение средней наработки на отказ по одному объекту производится по формуле:

$$T = \frac{t}{r(t)},$$

Где $r(t)$ - число отказов за наработку t .

Определение средней наработки на отказ по нескольким (n) объектам производится по формуле:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} t_i}{\sum_{i=1}^{i=n} r_i},$$

где $\sum_{i=1}^{i=n} t_i$, $\sum_{i=1}^{i=n} r_i$ суммарная наработка и суммарное количество отказов.

2. Рекомендации для самостоятельной работы

2.1 Вопросы для самостоятельного изучения

Для освоения материала по теме необходимо дополнительно изучить следующие вопросы по учебникам:

- понятия потока отказов и потока восстановлений;
- понятие ведущей функции потока отказов;
- классификация потока отказов;
- показатели безотказности восстанавливаемых объектов;
- методика расчёта наработки на отказ;
- методика расчёта параметра потока отказов;
- зависимость показателей безотказности от наработки объекта;
- исходные данные для расчёта показателей безотказности.

2.2. Литература

1. ГОСТ 27.002 – 89 Надёжность в технике Основные понятия. Термины и определения – М: Издательство стандартов.

2. Надёжность и ремонт машин : учебник для вузов / В. В. Курчаткин [и др.] ; под ред. В. В. Курчаткина. - М. : Колос, 2000. - 775с. - (Учебники и учеб. пособия для студ. высш. учеб. заведений).

3. Атапин В.Г. Основы работоспособности технических систем. Автомобильный транспорт: Учебник.- Новосибирск: НГТУ, 2007.-313с.

4. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надёжности: Санкт-Петербург-БХВ,2008.-704с.

5. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: Учебник.- М: Академия, 2009.-208с.

3. Методика выполнения расчётов

3.1. Задание.

Определить показатели безотказности автомобилей по данным наблюдений при обычной эксплуатации. Данные об отказах 40 автомобилей приведены в таблице 5 задания к практической работе. В таблице 5 указана наработка к моменту отказов по каждому автомобилю.

3.2. Выбор индивидуального задания.

При расчёте показателей статистическими методами для получения оценок с надёжностью 0,9 – 0,95 необходим объём выборки 80 -100 значений.

Так как по каждому автомобилю имеется до 30 отказов, для получения исходного массива такого объёма достаточно 4 - 5 автомобилей. Эти автомобили должны быть выбраны случайным образом.

Для случайного отбора некоторого количества объектов n из выборки объёма N необходимо создать массив чисел (номера выбираемых объектов), случайно распределённых в диапазоне $1 \dots N$.

Для этого необходимо в ленте инструментов Excel 2007 войти на вкладку **Данные** (в Excel 2003 в меню **Сервис**) выбрать **Анализ данных**, а в диалоговом окне **Анализ данных** из инструментов анализа выбрать **Генерация случайных чисел**. В поле **Генерация случайных чисел** нужно указать следующие параметры:

- число переменных – вводится число массивов, которые предполагается создать (в данном случае один массив);

- число случайных чисел – вводится число случайных значений, соответствующее числу отбираемых объектов (n);

- распределение – в раскрывающемся списке выбирается тип распределения (для случайного отбора выбирается **равномерное** распределение);

- параметры между – задаётся диапазон, в котором будут находиться случайные числа (диапазон $1 \dots N$);

- случайное рассеивание – вводится стартовое число для генерации последовательности случайных чисел;

- выходной интервал – активизируется поле, в которое необходимо ввести ссылку на верхнюю ячейку выходного диапазона.

В результате (после округления до целых чисел) получают номера объектов, которые представляют случайную выборку n объектов из большого массива объектов N .

Пример исходных данных наблюдений за работой пяти случайно отобранных автомобилей приведён в таблице 1.

Таблица 1. Нарботка автомобилей в моменты отказов (тыс. км. пробега).

Номер отказа	Автомобиль №1	Автомобиль №2	Автомобиль №3	Автомобиль №4	Автомобиль №5
1	1	43	34	13	1
2	27	56	43	43	9
3	36	70	46	43	10
4	44	94	66	67	19
5	53	95	97	72	48
6	63	96	133	99	92
7	72	123	149	125	105
8	101	129	163	147	134
9	119	133	182	169	155
10	120	155	213	193	174
11	127	168	237	203	201
12	129	183	239	224	215
13	136	186	245	229	224

14	155	187	245	245	243
15	171	203	257	271	264
16	173	226	272	283	279
17	177	235	293	291	280
18	196	247	294	299	293
19	198		296	300	296
20	202		296		314
21	209		303		317
22	216		314		338
23	222		326		346
24	229		337		348
25	237		339		349
26	238		340		
27	239				
28	239				

3.3. Построение ведущей функции потока отказов

Анализ безотказности начинается с анализа функции потока отказов. Прежде всего, нужно определить, является ли поток отказов стационарным. Это можно сделать по виду функции.

Ведущую функцию потока отказов можно определить непосредственно по данным наблюдений, приведённых в таблице 1. Для этого нужно построить график зависимости числа отказов от наработки. Так как для анализа потока отказов желательно иметь более длительную наработку объекта, целесообразно выбрать автомобиль с наибольшим пробегом за время наблюдений - (в рассматриваемом примере это №5).

Для этого необходимо в ленте инструментов Excel 2007 войти на вкладку **Данные** ⇒ **Вставка** и выбрать вставку диаграммы **Точечная с маркёрами**. В качестве исходных данных выделяется сначала столбец наработки автомобиля (ось абсцисс) и затем столбец числа отказов (ось ординат).

Для получения математической зависимости числа отказов от наработки необходимо в группе **Работа с диаграммами** включить **Макет** ⇒ **Анализ** ⇒ **Линия тренда** ⇒ **Дополнительные параметры линии тренда** и выбрать линию тренда (в данном случае подходит **Полиномиальная**), указать степень полинома (в данном случае достаточно 2), установить флажок в опции **показывать уравнение на диаграмме**.

Построенный по умолчанию график необходимо отформатировать.

1. Отформатировать область диаграммы (убрать заливку поля и границы). Для этого выделить область диаграммы (щелчком мыши на диаграмме за пределами осей графика) и в группе **Работа с диаграммами** включить **макет** ⇒ **формат выделенного фрагмента** и в разделе **формат области диаграммы** установить:

Заливка – нет заливки

Цвет границы – нет линий

2. Отформатировать область построения. Для этого щелчком мыши на поле графика выделить область построения.

2.1 Ограничить линиями область построения. В группе **Работа с диаграммами** включить **макет** ⇒ **Область построения** ⇒ **Удалить заливку** ⇒ **Дополнительные параметры области построения**, и в разделе **Формат области построения** в опции **Цвет границы** установить сплошная линия, цвет чёрный.

2.2 Установить линии сетки. В группе **Работа с диаграммами** включить **макет** ⇒ **Сетка** ⇒ **горизонтальные линии сетки** ⇒ **основные линии сетки** ⇒ **Дополнительные параметры линий сетки** и в опции **Формат основных линий сетки** ⇒ **цвет линии** - сплошная линия, цвет чёрный, **тип линии** – установить ширину (например, 0,75 пт.).

2.3 Установить название осей. В группе **Работа с диаграммами** включить **макет** ⇒ **название осей** ⇒ **название основной горизонтальной оси** (например, пробег тыс. км.). Аналогично установить параметры вертикальной оси.

2.4 Установить формат линии графика. В группе **Работа с диаграммами** включить **макет** ⇒ **формат выделенного фрагмента** ⇒ **формат ряда данных** и изменить следующие настройки:

- **Параметры маркёра** – встроенный, тип (например, прямоугольник). Размер (например, 5 пт.), заливка – нет;
- **Цвет линии** – сплошная линия, цвет чёрный;
- **Тип линии** – установить ширину линии (например, 2 пт.);
- **Тип линии маркёра** – сплошная линия, цвет чёрный.

3. Установить размеры графика. Для этого выделить график, в группе **Работа с диаграммами** включить **макет** ⇒ **формат** и установить размеры графика в сантиметрах (обычно ширина– 8-10см., высота – 6-8 см.).

График ведущей функции потока отказов показан на рис.1.

3.4. Рассчёт параметра потока отказов.

Из графика рис. 1. видно, что ведущая функция потока отказов не линейная, следовательно, поток отказов не стационарный и параметр потока отказов зависит от пробега автомобиля.

Для определения параметра потока отказов в разные периоды наработки общую наработку необходимо разбить на интервалы.

Величина интервала определяется по формуле Старджесса:

$$\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{1 + 3,3 \lg r}, \quad \Delta t = 51,$$

где r - общее количество отказов.

Для удобства дальнейших расчётов принимаем величину интервала, равную 50 тыс. км. пробега автомобиля.

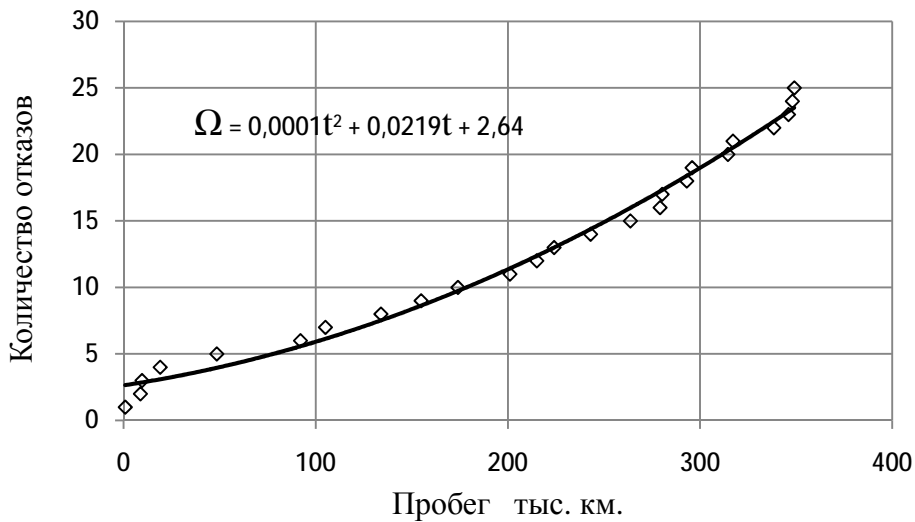


Рис. 1. Ведущая функция потока отказов для автомобиля №5.

Затем определяется количество отказов в каждом интервале для каждого автомобиля и рассчитывается значение параметра потока отказов в каждом интервале. При этом следует иметь в виду, что количество автомобилей в каждом интервале может изменяться по мере увеличения пробега. Результаты расчётов сводят в таблицу следующего вида.

Таблица 2. Результаты расчёта показателей безотказности автомобилей

Интервал	Средина интервала	Число автомобилей в интервале	Число отказов для автомобилей					Общее число отказов	Параметр потока отказов	Наработка на отказ
			№1	№2	№3	№4	№5			
0 - 50	25	5	4	1	3	3	5	16	0,064	15,6
50 - 100	75	5	3	5	2	3	1	14	0,056	17,9
101- 150	125	5	6	3	2	2	2	15	0,060	16,7
151- 200	175	5	6	5	2	2	2	17	0,068	14,7
201- 250	225	4		4	5	4	4	17	0,085	11,8
251- 300	275	3			6	5	5	16	0,107	9,4
301- 350	325	1					6	6	0,120	8,3
Среднее значение									0,08	13,5

Для анализа показателей безотказности строят графики зависимости параметра потока отказов и наработки на отказ от пробега автомобилей. Для этого необходимо выделить столбцы данных середины интервалов и параметра потока отказов, войти на вкладку **Данные** ⇒ **Вставка** и выбрать вставку диаграммы **Точечная с маркёрами**. Затем графики форматируются как указано выше.

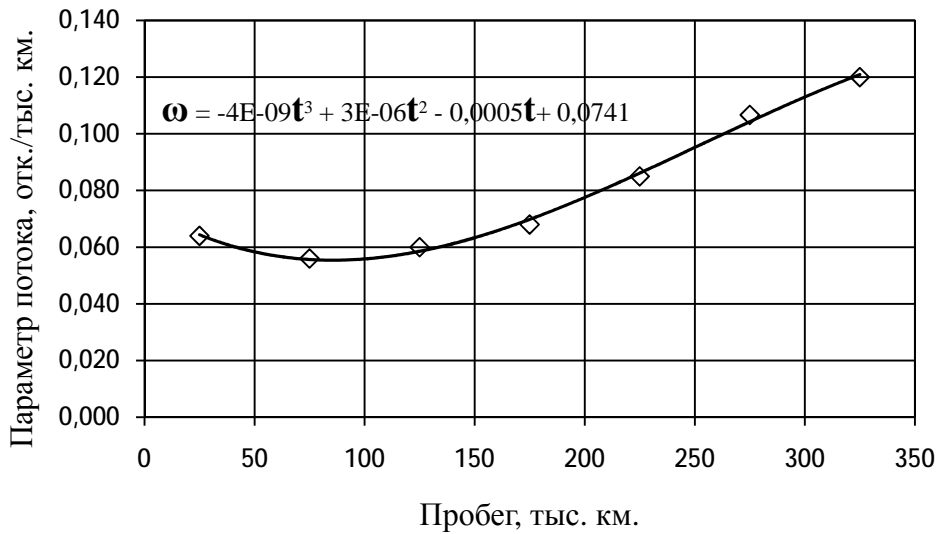


Рис 2. Зависимость параметра потока отказов от наработки автомобилей.

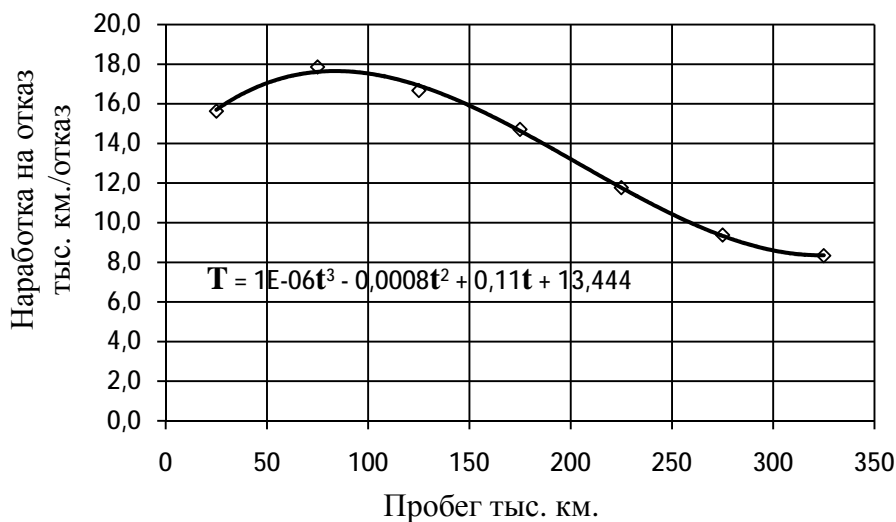


Рис. 3. Зависимость наработки на отказ от пробега автомобилей.

3.5 Расчёт статистических характеристик наработки на отказ.

Для анализа наработки между отказами необходимо произвести первичную обработку данных наблюдений (таблица 1) – вычислить наработку автомобилей между отказами (T_i) по формуле:

$$T_i = t_{i+1} - t_i,$$

где t_{i+1} - наработка (пробег автомобиля) к моменту ($i+1$)-го отказа;

t_i - наработка (пробег автомобиля) к моменту (i)-го (предыдущего) отказа.

Результаты заносит в таблицу 3, представляющую исходные данные наработки (пробега) от отказа до отказа за период наблюдений для каждого автомобиля. Полученная таблица по размеру аналогична таблице исходных данных.

Таблица 3. Нарботка автомобилей между отказами (тыс. км. пробега).

Номер отказа	Автомобиль №1	Автомобиль №2	Автомобиль №3	Автомобиль №4	Автомобиль №5
1	1	43	34	13	1
2	26	13	9	30	8
3	9	14	3	0	1
4	8	23	20	25	9
5	9	2	31	5	29
6	10	0	36	27	44
7	9	27	16	26	13
8	29	6	14	22	29
9	18	5	19	22	21
10	2	22	31	25	19
11	7	12	24	10	27
12	2	15	2	21	14
13	7	3	6	5	9
14	20	1	0	16	19
15	15	16	12	26	21
16	3	23	15	12	15
17	3	9	21	8	1
18	19	12	1	8	13
19	2		3	1	3
20	4		0		19
21	7		6		3
22	7		11		21
23	6		12		8
24	7		11		2
25	8		2		1
26	1		1		
27	1				
28	0				

Далее необходимо информацию объединить в один общий массив. Для этого нужно данные по каждому автомобилю скопировать последовательно в один столбец.

После этого производится обычная статистическая обработка.

В Excel 2007 нужно войти на вкладку **Данные** (в Excel 2003 в меню **Сервис**) выбрать **Анализ данных**, а в диалоговом окне **Анализ данных** из инструментов анализа выбрать **Описательная статистика**. В поле **Описательная статистика** нужно указать следующие параметры:

- входной интервал - вводится ссылка на ячейки, содержащие анализируемые данные;

- группирование - переключатель устанавливается в положение по столбца м или по строкам, в зависимости от расположения данных во входном диапазоне;

- метки - флажок в первой строке устанавливается, если в диапазоне результатов расчёта заранее вписаны заголовки. Для простоты расчётов флажок лучше не устанавливать, в этом случае заголовки будут созданы автоматически;

- параметры вывода - переключатель нужно установить в положение «выходной интервал» и указать ячейку, начиная с которой вниз и вправо будут размещаться результаты расчёта, а флажок установить в «итоговая статистика».

Результаты расчёта представлены в таблице 4.

Таблица 4. Статистические показатели наработки автомобилей между отказами.

Показатель	Значение
Среднее	12,3
Стандартная ошибка	0,97
Стандартное отклонение	10,0
Дисперсия выборки	100
Эксцесс	0,26
Асимметричность	0,83
Минимум	0
Максимум	44

Гистограмма распределения наработки автомобилей до отказа показана на рис. 4.

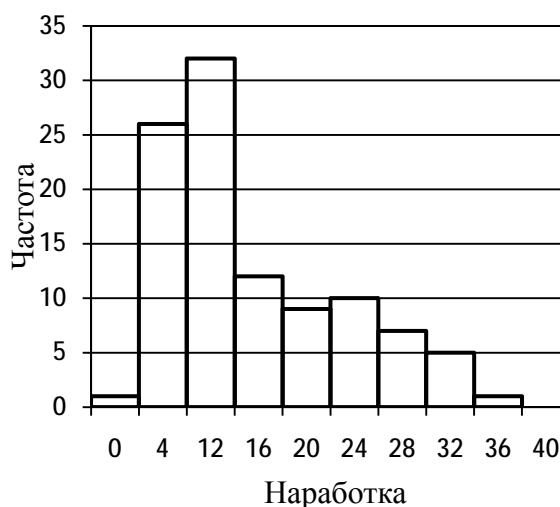


Рис. 4. Гистограмма распределения наработки автомобилей до отказа.

4. Отчёт

Отчёт о выполненных расчётах выполняется в программе Word и должен включать:

- титульный лист;
- исходные данные для расчёта;
- расчёт, включающий расчётные формулы и результаты ;
- графики (отформатированные).

Отчёт представляется на бумажном носителе.

5 .Индивидуальные задания

Таблица 5. Нарботка автомобилей в моменты отказов (в тысячах километров пробега).

№ авт.	Варианты заданий													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	31	1	19	20	18	11	1	1	46	34	13	1	11	18
2	40	10	21	40	45	15	12	5	56	43	42	9	24	36
3	44	12	40	61	63	26	39	6	70	46	43	10	66	60
4	93	14	88	66	77	46	44	12	94	66	67	12	96	101
5	107	51	91	66	83	77	66	61	95	67	72	48	101	104
6	121	55	114	108	105	91	81	63	96	133	76	76	110	112
7	200	90	164	109	113	102	88	65	123	149	113	109	117	114
8	204	99	167	111	131	106	110	115	129	185	113	134	138	129
9	205	114	172	111	152	127	113	119	133	185	169	155	166	143
10	220	122	179	125	160	128	117	120	155	213	193	174	183	152
11	246	129	181	126	165	140	117	127	168	237	203	201	195	181
12	246	130	213	127	176	169	121	129	183	239	204	221	197	190
13	249	148	225	135	184	172	124	136	186	245	224	228	197	206
14	253	180	244	147	184	173	124	155	187	245	229	234	212	224
15	260	196	269	149	188	176	161	171	203	257	245	264	231	229
16	261	197	296	163	194	180	161	173	208	272	247	279	237	232
17	264	199	298	179	198	183	165	177	211	293	271	280	243	261
18	265	202	324	184	203	192	183	196	226	294	283	293	250	262
19	273	220	382	197	206	202	194	198	231	296	291	296	280	274
20	279	279	390	206	207	206	206	202	232	296	299	314	285	274
21	281	281	402	212	207	209	214	204	233	303	300	317	289	289
22	282	283	420	223	211	212	247	204	235	304	301	338	301	290
23	295	285	429	226	216	220	250	205	240	305		346	303	298
24	300	287	432	231	217	220	259	207	240	309		351	304	301
25		287	434	238	219	242		211	247	313		360	305	307
26		296	441		226	251		220		317		380		
27		298	445		227	256		221				381		

№ авт.	Варианты заданий													
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	2	21	1	64	19	11	31	13	3	45	1	24	2	32
2	5	26	4	65	45	94	43	14	20	45	12	33	39	34
3	8	48	13	129	63	153	74	26	54	84	15	58	61	66
4	8	51	24	172	125	154	96	39	68	88	18	90	67	75
5	16	53	45	208	135	161	107	46	92	117	51	104	67	102
6	58	55	100	242	140	169	159	59	105	147	57	108	144	104
7	92	87	100	272	145	188	172	70	107	204	71	113	149	118
8	99	112	125	296	163	208	176	74	109	211	87	176	159	132
9	118	115	164	316	166	249	205	81	125	213	108	221	191	148
10	121	160	170	330	184	268	208	100	137	229	207	235	207	215
11	133	161	171	346	198	293	209	169	144	279	212	240	235	251
12	137	171	173	377	201	297	227	179	158	286	232	264	237	252
13	159	179	177	421	218	312	229	186	162	295	255	288	263	280
14	189	185	194	432	221	355	231	187	180	311	276	305	267	281
15	191	194	203	437	223	366	234	199	200	318	278	314	279	289
16	208	194	204	439	224	396	239	216	206	327	284	315	281	318
17	212	218	205	446	228	437	245	242	212	347	287	317	315	336
18	217	231	207	450	238	441	248	253	214	358	294	339	325	348
19	228	240	225	462	250	441	251	271	217	359	297	341	325	348
20	230	251	226	468	250	446	255	273	231	367	299	347	329	355
21	242	261	231	471	251	454	258	277	243	371	301	352	337	359
22	242	264	233	479	262	455	261	315	243	372	303	354	343	362
23	249	273	241	480	265	458	265	324	252	375	314	360		374
24	251	280	249		269	459	269	327		380		366		378
25	256	285			276	467	271	329		388		368		387
26	259					469	278	334		395		376		390
27	276						280	336				377		404

№ авт.	Варианты заданий												
	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
1	9	18	15	4	44	58	12	18	18	17	7	1	
2	44	19	19	67	45	92	38	24	27	20	40	6	
3	53	38	34	88	49	92	49	42	75	38	48	16	
4	53	38	48	100	52	94	73	52	77	42	57	16	
5	71	57	71	102	52	123	91	63	89	50	95	35	
6	79	61	71	115	60	139	95	66	103	75	96	35	
7	105	72	96	124	104	167	111	73	155	88	123	92	
8	131	120	108	128	111	167	115	98	155	92	137	113	
9	135	137	154	132	117	171	117	127	170	105	138	119	
10	143	147	191	143	132	178	124	142	176	157	150	127	
11	151	149	211	197	145	186	130	157	180	197	155	136	
12	210	154	217	204	156	208	139	173	194	199	166	156	
13	233	168	228	233	172	229	146	178	197	217	181	156	
14	268	172	235	248	181	231	150	186	205	218	203	176	
15	284	201	257	259	197	253	154	186	211	252	209	183	
16	307	229	257	294	205	265	155	214	214	260	217	210	
17	332	246	258	307	209	270	178	244	217	261	223	211	
18	350	270	274	312	215	275	180	282	218	279	227	213	
19	364	291	279	313	221	299	209	286	219	285	227	226	
20	365	298	285	319	221	310	210	299	221	298	230	237	
21	369	308	287	319	226	310	217	300	228	301	232	241	
22	374	312	296	319	232	314	225	302	231		235	241	
23	383	312	299	326	238		230	302	235		237	249	
24	390	323	312	333			247	316	239		240	250	
25		325	316	339				329			255	261	
26		326	326					330			264	273	

