

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

---

Кафедра основ радиотехники и защиты информации

А.В. Сбитнев

# ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

**Учебно-методическое пособие**  
по выполнению лабораторных работ

*для студентов IV курса  
специальности 10.05.02  
очной формы обучения*

Москва  
ИД Академии Жуковского  
2021

УДК 351.814.33  
ББК 0580.3  
С23

Рецензент:

*Петров В.И.* – канд. техн. наук, доцент

**Сбитнев А.В.**

С23 Информационное обеспечение организации и управления воздушным движением [Текст] : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ / А.В. Сбитнев. – М.: ИД Академии Жуковского, 2021. – 32 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Информационное обеспечение организации и управления воздушным движением» по учебному плану для студентов IV курса специальности 10.05.02 очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 22.04.2021 г. и методического совета 22.04.2021 г.

**УДК 351.814.33**  
**ББК 0580.3**

*В авторской редакции*

Подписано в печать 25.10.2021 г.  
Формат 60x84/16 Печ. л. 2 Усл. печ. л. 1,86  
Заказ № 794/0616-УМП08 Тираж 40 экз.

Московский государственный технический университет ГА  
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского  
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А  
Тел.: (495) 973-45-68  
E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический  
университет гражданской авиации, 2021

## Лабораторная работа №1

### Расчет временных затрат диспетчера при оперативном УВД, методы расчета интенсивности ВД

#### 1. Цель работы

Ознакомление с методами расчета интенсивности ВД и научиться рассчитывать временные затраты диспетчера при оперативном УВД с применением ЭВМ.

#### 2. Порядок выполнения работы

##### Задание 1

Рассчитать интенсивность полетов от текущего времени

$$f(t) = \frac{\beta^r t^{r-1} e^{-\beta t}}{(r-1)!}$$

(Статистический анализ ВД показывает, что поток

освобождений аэроузла подчиняется специальному распределению Эрланга).

**Расчет оформить в виде таблицы.**

*Построить график зависимости интенсивности полетов от текущего времени.*

Выполнить задание при параметре  $r$  (см. таблицу 1), для текущего времени от 0 до 15 с шагом 1 и интенсивности освобождения аэроузла  $\beta$  потока трассы  $\beta$  (см. таблицу 1).

Таблица 1

№ варианта	$r$	$\beta$	№ варианта	$r$	$\beta$
1	7	0,2	21	9	0,2
2	7	0,1	22	9	0,1
3	7	0,3	23	9	0,3
4	7	0,4	24	9	0,4
5	7	0,5	25	9	0,5
6	8	0,2	26	4	0,2
7	8	0,1	27	4	0,1
8	8	0,3	28	4	0,3
9	8	0,4	29	4	0,4
10	8	0,5	30	4	0,5
11	6	0,2	31	3	0,2
12	6	0,1	32	3	0,1
13	6	0,3	33	3	0,3

Продолжение таблицы 1

№ варианта	$r$	$\beta$	№ варианта	$r$	$\beta$
14	6	0,4	34	3	0,4
15	6	0,5	35	3	0,5
16	5	0,2	36	2	0,2
17	5	0,1	37	2	0,1
18	5	0,3	38	2	0,3
19	5	0,4	39	2	0,4
20	5	0,5	40	2	0,5

### Задание 2

Рассчитать математическое ожидание сближения ВС  $M(\rho) = r \cdot z \cdot l \cdot V \cdot \tau \cdot \Delta \cdot \rho^2$ , где  $r$  – количество эшелонов,  $z$  – ширина трассы,  $l$  – количество аэроузлов,  $\tau$  – временной интервал наблюдения,  $V$  – средняя скорость потока во всем эшелоне,  $\Delta$  – интервал безопасности,  $\rho$  – плотность потока самолетов.

**Расчет оформить в виде таблицы.**

Построить график зависимости математического ожидания сближения самолетов от плотности потока самолетов.

Выполнить задание при следующих параметрах:  $r = 45$ ,  $z = 10000$  м,  $l = 1$ ,  $\tau = 10$  с,  $V$  (см. таблицу 2),  $\Delta$  (см. таблицу 2), для плотности потока самолетов, принимающей значения:  $\rho_1 = 1,667 \cdot 10^{-6}$ ;  $\rho_2 = 6,667 \cdot 10^{-6}$ ;  $\rho_3 = 1,167 \cdot 10^{-5}$ ;  $\rho_4 = 1,667 \cdot 10^{-5}$ ;  $\rho_5 = 2,167 \cdot 10^{-5}$ ;  $\rho_6 = 2,667 \cdot 10^{-5}$ .

Таблица 2

№ варианта	$V$ , м/с	$\Delta$ , м	№ варианта	$V$ , м/с	$\Delta$ , м
1	200	400	21	240	400
2	250	420	22	290	420
3	300	440	23	340	440
4	350	460	24	390	460
5	400	480	25	440	480
6	210	500	26	190	500
7	260	520	27	240	520
8	310	540	28	290	540
9	360	560	29	340	560
10	410	580	30	390	580
11	220	400	31	180	400
12	270	420	32	230	420
13	320	440	33	280	440

Продолжение таблицы 2

№ варианта	V, м/с	Δ, м	№ варианта	V, м/с	Δ, м
14	370	460	34	330	460
15	420	480	35	380	480
16	230	500	36	250	500
17	280	520	37	300	520
18	330	540	38	350	540
19	380	560	39	400	560
20	430	580	40	450	580

**Задание 3**

Рассчитать минимизацию временных затрат на обслуживание ВС в зависимости от занятости ВП

$$h(N) = \sqrt[3]{a \cdot \frac{N}{4 \cdot c} - \sqrt{\frac{(13,5 \cdot a^2 \cdot c \cdot N^2) + b^3}{216 \cdot c^3}}} + \sqrt[3]{a \cdot \frac{N}{4 \cdot c} + \sqrt{\frac{(13,5 \cdot a^2 \cdot c \cdot N^2) + b^3}{216 \cdot c^3}}},$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – постоянные коэффициенты, значения которых определяются регламентом и качеством организации УВД.

**Расчет оформить в виде таблицы.**

Построить график зависимости временных затрат на обслуживание ВС от их количества на трассе.

Выполнить задание при параметрах  $a$ ,  $b$  и  $c$  (см. таблица у),  $N$  от 0 до 100.

Таблица 3

№ варианта	$a$	$b$	$c$	№ варианта	$a$	$b$	$c$
1	4	2,1	1,1	21	4	2,3	1,4
2	5	2,2	1,2	22	5	2,4	1,5
3	6	2,3	1,3	23	6	2,5	1,1
4	7	2,4	1,4	24	7	2,5	1,2
5	8	2,5	1,5	25	8	2,1	1,3
6	4	2,5	1,1	26	4	2,2	1,4
7	5	2,1	1,2	27	5	2,3	1,5
8	6	2,2	1,3	28	6	2,4	1,5
9	7	2,3	1,4	29	7	2,1	1,1
10	8	2,4	1,5	30	8	2,2	1,2
11	4	2,1	1,5	31	4	2,3	1,1
12	5	2,2	1,1	32	5	2,1	1,2
13	6	2,3	1,2	33	6	2,2	1,3
14	7	2,4	1,3	34	7	2,1	1,3

Продолжение таблицы 3

№ варианта	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	№ варианта	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
15	8	2,5	1,4	35	8	2,2	1,4
16	8	2,1	1,1	36	8	2,3	1,5
17	4	2,2	1,2	37	4	2,4	1,3
18	5	2,3	1,3	38	5	2,5	1,4
19	6	2,4	1,4	39	6	2,4	1,1
20	7	2,5	1,5	40	7	2,5	1,6

**Задание № 4**

Рассчитать коэффициент загрузки диспетчера  $K_3 = \frac{T_{зан}}{T_{раб}}$ , где

$T_{раб}$  – общее время работ,  $T_{зан} = T_{св\ BC} + T_{св\ Д} + T_{вз} + T_{оу} + T_{пр}$  – время занятости диспетчера ( $T_{св\ BC}$  – время связи с экипажем,  $T_{св\ Д}$  – время согласования действий с диспетчерами смежных секторов,  $T_{вз}$  – время взаимодействия с ЭВМ и другими техническими средствами,  $T_{оу}$  – время обращения к органам управления,  $T_{пр}$  – время, затрачиваемое на принятие решения).

**Расчет оформить в виде таблицы.**

Выполнить задание с параметрами представленными в таблице 4.

Таблица 4

	$T_{св\ BC}, с$	$T_{св\ Д}, с$	$T_{вз}, с$	$T_{оу}, с$	$T_{пр}, с$	$T_{раб}, с$
1	9320	9960	9375	см. табл. 5	4905	24 часа
2	9320	9960	9375	см. табл. 5	2435	24 часа
3	9320	9960	9375	см. табл. 5	5905	24 часа
4	9320	9960	9375	см. табл. 5	4005	24 часа
5	9320	9960	9375	см. табл. 5	4105	24 часа

Таблица 5

№ варианта	$T_{оу}, с$					№ варианта	$T_{оу}, с$				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	9500	7500	8800	7700	8850	21	9505	7505	8805	7910	9050
2	9510	7510	8820	7710	8860	22	9515	7515	8825	7920	9060
3	9520	7520	8840	7720	8870	23	9525	7525	8845	7930	9070
4	9530	7530	8860	7730	8880	24	9535	7535	8865	7940	9080

Продолжение таблицы 5

№ варианта	$T_{oy}, c$					№ варианта	$T_{oy}, c$				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
5	9540	7540	8880	7740	8890	25	9545	7545	8885	7950	9090
6	9550	7550	9000	7750	8900	26	9555	7555	9005	7960	9100
7	9560	7560	9020	7760	8910	27	9565	7565	9025	7970	9110
8	9570	7570	9040	7770	8920	28	9575	7575	9045	7980	9120
9	9580	7580	9060	7780	8930	29	9585	7585	9065	7990	9130
10	9590	7590	9080	7790	8940	30	9595	7595	9085	8000	9140
11	9600	7600	9100	7800	8950	31	9605	7605	9105	8010	9150
12	9610	7610	9120	7810	8960	32	9615	7615	9125	8020	9160
13	9620	7620	9140	7820	8970	33	9625	7625	9145	8030	9170
14	9630	7630	9160	7830	8980	34	9635	7635	9165	8040	9180
15	9640	7640	9180	7840	8990	35	9645	7645	9185	8050	9190
16	9650	7650	9200	7850	9000	36	9655	7655	9205	8060	9200
17	9670	7670	9220	7860	9010	37	9675	7675	9225	8070	9210
18	9680	7680	9240	7870	9020	38	9685	7685	9245	8080	9220
19	9690	7690	9260	7880	9030	39	9695	7695	9265	8090	9230
20	9700	7700	9280	7900	9040	40	9705	7705	9285	8100	9240

### 3. Содержание отчета

1. Условия поставленных задач с решением (графики, формулы, таблицы), номер варианта.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Выводы по каждому заданию.

#### Контрольные вопросы

1. Дайте определение «Воздушному пространству».
2. Как классифицируются полеты по времени суток?
3. Как классифицируются полеты по физико-географическим условиям?
4. Дайте определение понятию «Минимальная высота снижения».
5. Дайте определение понятию «Высота нижней границы облаков».
6. Что понимается под горной местностью по классификации полетов?
7. Какие параметры устанавливаются для обеспечения безопасных полетов ВС?
8. Запишите формулу расчета безопасной высоты круга полетов над аэродромом.
9. Дайте определение «Воздушному движению».
10. Дайте определение «Воздушной трассе».
11. Как классифицируются полеты по правилам выполнения?

12. Как классифицируются полеты по использованию элементов структуры ВП?
13. Дайте определение понятию «Видимость на ВПП».
14. Дайте определение понятию «Видимость (дальность видимости)».
15. Какие полеты относят к трассовым?
16. Дайте определение «Организация воздушного пространства».
17. Дайте определение «Организация воздушного движения».
18. Как классифицируются полеты по количеству воздушных судов?
19. Дайте определение понятию «Высота принятия решения».
20. Какие полеты относят к дневным?
21. Какие полеты относят к смешанным?
22. Что понимается под равнинной местностью по классификации полетов?
23. Какие полеты относят к маршрутным?
24. Какие полеты относят к аэродромным?
25. Что понимается под холмистой местностью по классификации полетов?

### **Литература**

1. Ахмедов Р.М., Бибутов А.А., и др.; Под ред. Пятко С.Г. и Красов А.И. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации: Учеб. пособие – СПб.: Политехника, 2004.
2. Кизько В.Г. Технология управления воздушным движением. Основы управления в зонах УВД. Учебное пособие – Л.: ОЛАГА, 2010.
3. Сбитнев А.В., Бунин А.В. Информационное обеспечение организации и управления воздушным движением. Учебное пособие – М.: ИД Академии Жуковского, 2018.

## Лабораторная работа №2

### Методы расчета пропускной способности сектора УВД. Вероятностный подход при оценке возникновения конфликтных ситуаций.

#### 1. Цель работы

Освоить методы расчета пропускной способности сектора УВД. Научиться прогнозировать возникновение конфликтных ситуаций.

#### 2. Порядок выполнения работы

##### Задание 1

*Рассчитать плотность вероятности столкновения от величины нормированного расстояния между ВС и количества занятых эшелонов:*

$$f(y, K3) = K3 \cdot e^{-0,3 \cdot y^2}.$$

*Построить трехмерный график зависимости плотности вероятности столкновения от величины нормированного расстояния между ВС и количества занятых эшелонов.*

Выполнить задание при следующих параметрах: количество занятых эшелонов  $y$  от 0 до 25 с шагом 1, величины нормированного расстояния между воздушными судами  $K3$  от 0,7 до 2 с шагом 0,1.

*Построить график зависимости плотности вероятности столкновения от величины нормированного расстояния между ВС.*

Выполнить задание при следующих параметрах: количество занятых эшелонов  $y$  (см. таблицу 6), величины нормированного расстояния между воздушными судами  $K3$  от 0,7 до 2 с шагом 0,1.

*Построить график зависимости плотности вероятности столкновения от количества занятых эшелонов.*

Выполнить задание при следующих параметрах: количество занятых эшелонов  $y$  от 0 до 25 с шагом 1, величины нормированного расстояния между воздушными судами  $K3$  (см. таблицу 6).

**Расчеты оформить в виде таблиц.**

Таблица 6

№ варианта	$K3$	$y$	№ варианта	$K3$	$y$
1	0,7	3	21	1,3	23
2	0,8	4	22	1,4	24
3	0,9	5	23	1,5	25
4	1,0	6	24	1,6	13
5	1,1	7	25	1,7	14
6	1,2	8	26	1,8	15
7	1,3	9	27	1,9	16

Продолжение таблицы 6

№ варианта	КЗ	у	№ варианта	КЗ	у
8	1,4	10	28	2,0	17
9	1,5	11	29	0,7	18
10	1,6	12	30	0,8	19
11	1,7	13	31	0,9	20
12	1,8	14	32	1,0	21
13	1,9	15	33	1,1	22
14	2,0	16	34	1,2	23
15	0,7	17	35	1,3	24
16	0,8	18	36	1,4	25
17	0,9	19	37	1,5	5
18	1,0	20	38	1,6	6
19	1,1	21	39	1,7	7
20	1,2	22	40	1,8	8

**Задание 2**

Рассчитать среднее число ПКС за определенный период для ситуации догона ( $n$  – число групп ВС, объединенных по скорости  $M$  полета,  $\lambda$  – интенсивность полета,  $L$  – норма продольного эшелонирования,  $l$  – ширина коридора).

Построить трехмерный график зависимости среднего числа ПКС от скоростей ВС

$$X(V_1, V_2) = \frac{(L+1 \cdot l) \cdot \lambda}{V_1} \cdot (V_1 - V_2).$$

Выполнить задание при следующих параметрах:  $\lambda=3$ ,  $L=700$ ,  $l=20$ ,  $V_1$  от 600 км/ч до 900 км/ч с шагом 1,  $V_2$  от 400 км/ч до 600 км/ч с шагом 1.

Построить график зависимости среднего числа ПКС от скорости 1-го ВС

$$X(V_1, V_2) = \frac{(L+2 \cdot l) \cdot \lambda}{V_1} \cdot |V_1 - V_2|.$$

Выполнить задание при следующих параметрах:  $\lambda=3$ ,  $L=300$ ,  $l=15$ ,  $V_1$  от 200 км/ч до 1000 км/ч с шагом 1,  $V_2$  (см. таблицу 7).

Построить график зависимости среднего числа ПКС от скорости 2-го ВС

$$X(V_1, V_2) = \frac{(L+2 \cdot l) \cdot \lambda}{V_1} \cdot |V_1 - V_2|$$

Выполнить задание при параметрах:  $\lambda=3$ ,  $L=300$ ,  $l=20$ ,  $V_2$  от 400 км/ч до 1000 км/ч с шагом 1,  $V_1$  (см. таблицу 7).

**Расчеты оформить в виде таблиц.**

Таблица 7

№ варианта	$V_1$ , км/ч	$V_2$ , км/ч	№ варианта	$V_1$ , км/ч	$V_2$ , км/ч
1	400	500	21	405	505
2	410	510	22	415	515
3	420	520	23	425	525
4	430	530	24	435	535
5	440	540	25	445	545
6	450	550	26	455	555
7	460	560	27	465	565
8	470	570	28	475	575
9	480	580	29	485	585
10	490	590	30	495	595
11	500	600	31	505	605
12	510	610	32	515	615
13	520	620	33	525	625
14	530	630	34	535	635
15	540	640	35	545	645
16	550	650	36	555	655
17	560	660	37	565	665
18	570	670	38	575	675
19	580	680	39	585	685
20	590	690	40	595	695

### Задание 3

*Рассчитать абсолютную частоту словоформ радиообмена от ранга словоформ по принятой шкале и объема статистической выборки*

$$p(r, N) = k \cdot N \cdot (r + V)^{-\alpha},$$

где  $p$  – абсолютная частота словоформ радиообмена;  $r$  – ранг словоформ по принятой шкале;  $N$  – объем статистической выборки;  $k$ ,  $V$ ,  $\alpha$  – параметры, характеризующие геометрическое распределение.

*Построить трехмерный график зависимости абсолютной частоты словоформ радиообмена от ранга словоформ по принятой шкале и объема статистической выборки.*

Выполнить задание при следующих параметрах:  $r$  от 1 до 10 с шагом 1;  $N$  от 1000 до 2000 с шагом 100;  $k=3,2$ ;  $V=10$ ;  $\alpha=1,7$ .

*Построить график зависимости абсолютной частоты словоформ радиообмена от объема статистической выборки.*

Выполнить задание при следующих параметрах:  $r$  (см. таблицу 8);  $N$  от 1000 до 2000 с шагом 100;  $k=3,2$ ;  $V=10$ ;  $\alpha=1,7$ .

*Построить график зависимости абсолютной частоты словоформ радиообмена от ранга словоформ по принятой шкале.*

Выполнить задание при следующих параметрах:  $r$  от 1 до 10 с шагом 1;  $N$  (см. таблицу 8);  $k=3,2$ ;  $V=10$ ;  $\alpha=1,7$ .

**Расчеты оформить в виде таблиц.**

Таблица 8

№ варианта	$r$	$N$	№ варианта	$r$	$N$
1	1	1310	21	1	1510
2	2	1320	22	2	1520
3	3	1330	23	3	1530
4	4	1340	24	4	1540
5	5	1350	25	5	1550
6	6	1360	26	6	1560
7	7	1370	27	7	1570
8	8	1380	28	8	1580
9	9	1390	29	9	1590
10	10	1400	30	10	1600
11	1	1410	31	1	1610
12	2	1420	32	2	1620
13	3	1430	33	3	1630
14	4	1440	34	4	1640
15	5	1450	35	5	1650
16	6	1460	36	6	1660
17	7	1470	37	7	1670
18	8	1480	38	8	1680
19	9	1490	39	9	1690
20	10	1500	40	10	1700

#### Задание 4

*Рассчитать вероятность опасного сближения двух ВС*

$$P_{ос} = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^a e^{-t^2/2} dt - \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^b e^{-t^2/2} dt,$$

при  $a = \frac{\Delta M - \Delta V \cdot t + 15}{\sqrt{G_1^2 + G_2^2}}$  и  $b = \frac{\Delta M - \Delta V \cdot t - 15}{\sqrt{G_1^2 + G_2^2}}$ , где  $\Delta M$  – разность

математических ожиданий местоположений ВС,  $\Delta V$  – разность средних скоростей ВС,  $t$  – время,  $G_1$  и  $G_2$  – среднеквадратическое отклонение положений ВС в продольном направлении.

*Построить график зависимости вероятности опасного сближения двух ВС от времени.*

Выполнить задание при параметрах:  $\Delta M = 40000$  м (см. таблицу 9),  $\Delta V = 125$  м/с (см. таблицу 9),  $G_1 = 15$  м/с,  $G_2 = 10$  м/с, при  $t$  от нуля до 1000 секунд.

Найти максимальное значение вероятности опасного сближения двух ВС от времени.

**Расчеты оформить в виде таблиц.**

Таблица 9

№ варианта	$\Delta M$ , м	$\Delta V$ , м/с	№ варианта	$\Delta M$ , м	$\Delta V$ , м/с
1	30500	131	21	40500	151
2	31000	132	22	41000	152
3	31500	133	23	41500	153
4	32000	134	24	42000	154
5	32500	135	25	42500	155
6	33000	136	26	43000	156
7	33500	137	27	43500	157
8	34000	138	28	44000	158
9	34500	139	29	44500	159
10	35000	140	30	45000	160
11	35500	141	31	45500	161
12	36000	142	32	46000	162
13	36500	143	33	46500	163
14	37000	144	34	47000	164
15	37500	145	35	47500	165
16	38000	146	36	48000	166
17	38500	147	37	48500	167
18	39000	148	38	49000	168
19	39500	149	39	49500	169
20	40000	150	40	50000	170

### 3. Содержание отчета

1. Условия поставленных задач с решением (графики, формулы, таблицы), номер варианта.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Выводы по каждому заданию.

### Контрольные вопросы

1. Средства систем управления П и ВД в районе аэродрома.
2. Возможности неавтоматизированных систем управления П и ВД.
3. Возможности систем управления П и ВД малой автоматизации.
4. Возможности автоматизированных систем управления П и ВД.
5. Задачи возлагаемые на центры ЕС ОрВД.
6. Состав средств управления П и ВД во внеаэродромном ВП.
7. Предварительное долгосрочное планирование ВД.
8. Предварительное суточное планирование ВД.

9. Текущее планирование ВД.
10. Непосредственное управление ВД.
11. Радиолокационное управление ВД.
12. Как определяется вероятность лётного происшествия и предпосылки к лётному происшествию с ВС по вине СУ?
13. Как определяется безопасность полета, обеспечиваемая СУ?
14. Выражения связывающие географическую и прямоугольную системы координат.

### **Литература**

1. Ахмедов Р.М., Бибутов А.А., и др.; Под ред. Пятко С.Г. и Красов А.И. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации: Учеб. пособие – СПб.: Политехника, 2004.
2. Кизько В.Г. Технология управления воздушным движением. Основы управления в зонах УВД. Учебное пособие – Л.: ОЛАГА, 2010.
3. Сбитнев А.В., Бунин А.В. Информационное обеспечение организации и управления воздушным движением. Учебное пособие – М.: ИД Академии Жуковского, 2018.

## Лабораторная работа №3

### Исследование характеристик систем навигации в процессе определения координат

#### 1. Цель работы

Приобрести навыки исследования точностных характеристик систем навигации при управлении воздушным движением.

#### 2. Порядок выполнения работы

##### Задание 1

*Рассчитать необходимый временной интервал корректировки от путевой скорости*

$$T(V) = \frac{\sqrt{M(V)^2 + N \cdot L(V)} - M(V)}{N},$$

при следующих характеристиках навигационной системы:

$$L(V) = \frac{\left(\frac{f}{K_z}\right)^2 - G_\alpha \frac{R_m^2}{4} - \left(b \cdot \frac{R_m}{2} + C\right)^2 - G_\theta^2}{V^2},$$

$$N = G_\psi + G_\beta + b,$$

$$M(V) = \left(\tau_\psi \cdot G_\psi\right) + \left(\tau_\beta \cdot G_\beta\right) + \tau_V \cdot \frac{G_V}{V},$$

где  $G_\psi$ ,  $G_\beta$ ,  $G_V$ ,  $\tau_\psi$ ,  $\tau_\beta$ ,  $\tau_V$  – дисперсии и времена погрешностей изменения курса, скорости и угла сноса, обусловленные шумами измерения;  $V$  – путевая скорость;  $G_\psi$ ,  $G_\beta$ ,  $b$  – дисперсии инструментальных погрешностей в определении курса, угла сноса и навигационного вычислителя;  $G_\theta$ ,  $G_\alpha$  – дисперсии измерения азимута и бокового отклонения;  $R_m$  – боковое отклонение между маяками РСБН;  $K_z$  – коэффициент эшелонирования;  $f$  – норма эшелонирования.

*Построить график зависимости интервала корректировки от путевой скорости.*

Выполнить задание при параметрах:  $V$  (см. таблицу 10),  $G_\psi=0,224$ ;  $G_\beta=0,141$ ;  $G_V=0,1$ ;  $G_\theta=0,283$ ;  $G_\alpha=0,224$ ;  $K_z=0,2$ ;  $b=0,224$ ;  $R_m=300$ ;  $\tau_\psi=20$ ;  $\tau_\beta=50$ ;  $\tau_V=100$ ;  $C=1$ ;  $f=100$

**Расчеты оформить в виде таблицы.**

Таблица 10

№ варианта	V, км/ч	№ варианта	V, км/ч
1	200, 300...800	21	300, 400...900
2	205, 305...800	22	305, 405...900
3	210, 310...800	23	310, 410...900
4	215, 315...800	24	315, 415...900
5	220, 320...800	25	320, 420...900
6	225, 325...800	26	325, 425...900
7	230, 330...800	27	330, 430...900
8	235, 335...800	28	335, 435...900
9	240, 340...800	29	340, 440...900
10	245, 345...800	30	345, 445...900
11	250, 350...800	31	350, 450...900
12	255, 355...800	32	355, 455...900
13	260, 360...800	33	360, 460...900
14	265, 365...800	34	365, 465...900
15	270, 370...800	35	370, 470...900
16	275, 375...800	36	375, 475...900
17	280, 380...800	37	380, 480...900
18	285, 385...800	38	385, 485...900
19	290, 390...800	39	390, 490...900
20	295, 395...800	40	395, 495...900

### Задание 2

*Рассчитать зависимость ширины полосы обзора от поля обзора искусственного спутника земли*

$$b(\varepsilon, h) = h \cdot \operatorname{tg}(\varepsilon),$$

где  $\varepsilon$  – угол обзора спутника на Земле,  $h$  – высота орбиты спутника.

*Построить график зависимости полосы пропускания от поля обзора искусственного спутника земли.*

Выполнить задание при следующих параметрах:  $h$  (см. таблицу 11), при углах обзора от нуля до 10 градусов, с шагом один.

*Построить график зависимости полосы пропускания от высоты орбиты спутника.*

Выполнить задание при следующих параметрах: углах обзора (см. таблицу 11), высота орбиты спутника от 20 до 400 километров с шагом 50.

**Расчеты оформить в виде таблицы.**

Таблица 11

№ варианта	$h$ , км	$\varepsilon$ , град	№ варианта	$h$ , км	$\varepsilon$ , град
1	100	1	21	100	2
2	150	2	22	150	3
3	200	3	23	200	4
4	250	4	24	250	5
5	300	5	25	300	6
6	350	6	26	350	7
7	400	7	27	400	8
8	450	8	28	450	9
9	500	9	29	500	10
10	550	10	30	550	1
11	600	1	31	600	2
12	650	2	32	650	3
13	700	3	33	700	4
14	750	4	34	750	5
15	800	5	35	800	6
16	850	6	36	850	7
17	900	7	37	900	8
18	950	8	38	950	9
19	1000	9	39	1000	10
20	1050	10	40	1050	1

### 3. Содержание отчета

1. Условия поставленных задач с решением (графики, формулы, таблицы), номер варианта.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Выводы по каждому заданию.

### Контрольные вопросы

1. Дайте определение динамической модели движения ВС.
2. Какие силы действуют на ВС в полете?
3. Какие составляющие входят в вектор полной аэродинамической силы?
4. Критерий для оценки взаимного положения ВС с целью недопущения конфликтных ситуаций.
5. Дайте определение кинематической модели движения ВС.
6. Уравнения, описывающие кинематическую модель движения ВС в горизонтальной плоскости.
7. Уравнения, описывающие кинематическую модель движения ВС в вертикальной плоскости.

8. Какая основная задача воздушной навигации?
9. На чем основаны методы независимых определений места?
10. На чем основаны методы счисления пути?
11. Принцип действия аэрометрических систем счисления пути.
12. Принцип действия доплеровских систем счисления пути.
13. Принцип действия инерциальных систем счисления пути.

### **Литература**

1. Ахмедов Р.М., Бибутов А.А., и др.; Под ред. Пятко С.Г. и Красов А.И. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации: Учеб. пособие – СПб.: Политехника, 2004.
2. Кизько В.Г. Технология управления воздушным движением. Основы управления в зонах УВД. Учебное пособие – Л.: ОЛАГА, 2010.
3. Сбитнев А.В., Бунин А.В. Информационное обеспечение организации и управления воздушным движением. Учебное пособие – М.: ИД Академии Жуковского, 2018.

## Лабораторная работа №4

### Кодирование информации в системах управления воздушным движением

#### 1. Цель работы

Изучить принципы и приобрести навыки кодирования информации в системах управления воздушным движением.

#### 2. Порядок выполнения работы

В теории помехоустойчивого кодирования важным является вопрос об использовании избыточности для корректирования возникающих при передаче ошибок. Здесь удобно рассмотреть блочные коды, в которых всегда имеется возможность выделить отдельные кодовые комбинации. Напомним, что для равномерных кодов, которые в дальнейшем только и будут изучаться, число возможных комбинаций равно  $M = 2^n$ , где  $n$  – значность кода. В обычном не корректирующем коде без избыточности, например, в коде Бодо число комбинаций  $M$  выбирается равным числу сообщений алфавита источника  $M_0$  и все комбинации используются для передачи информации. Корректирующие коды строятся так, чтобы число комбинаций  $M$  превышало число сообщений источника  $M_0$ . Однако в этом случае лишь  $M_0$  комбинаций из общего числа используется для передачи информации. Эти комбинации называются разрешенными, а остальные  $M - M_0$  комбинаций носят название запрещенных. На приемном конце в декодирующем устройстве известно, какие комбинации являются разрешенными и какие запрещенными. Поэтому если переданная разрешенная комбинация в результате ошибки преобразуется в некоторую запрещенную комбинацию, то такая ошибка будет обнаружена, а при определенных условиях исправлена. Естественно, что ошибки, приводящие к образованию другой разрешенной комбинации, не обнаруживаются.

Различие между комбинациями равномерного кода принято характеризовать расстоянием, равным числу символов, которыми отличаются комбинации одна от другой. Расстояние  $d_{ij}$  между двумя комбинациями  $A_i$  и  $A_j$  определяется количеством единиц в сумме этих комбинаций по модулю два. Например,

$$\begin{array}{r} 110011 \rightarrow A_i \\ 011101 \rightarrow A_j \\ \hline 101110 \quad d_{ij} = 4. \end{array}$$

Для любого кода  $d_{ij} \leq n$ . Минимальное расстояние между разрешенными комбинациями в данном коде называется кодовым расстоянием  $d$  (Хеминговым расстоянием).

Расстояние между комбинациями  $A_i$  и  $A_j$  условно обозначено на рис. 1а, где показаны промежуточные комбинации, отличающиеся друг от друга одним

символом. В общем случае некоторая пара разрешенных комбинаций  $A_{p1}$  и  $A_{p2}$ , разделенных кодовым расстоянием  $d$ , изображается на прямой рис. 1б, где точками указаны запрещенные комбинации. Для того чтобы в результате ошибки комбинация  $A_{p1}$  преобразовалась в другую разрешенную комбинацию  $A_{p2}$ , должно исказиться  $d$  символов. При искажении меньшего числа символов комбинация  $A_{p1}$  перейдет в запрещенную комбинацию, и ошибка будет обнаружена. Отсюда следует, что ошибка всегда обнаруживается, если ее кратность, т. е. число искаженных символов в кодовой комбинации,

$$g \leq d - 1 \quad (1)$$

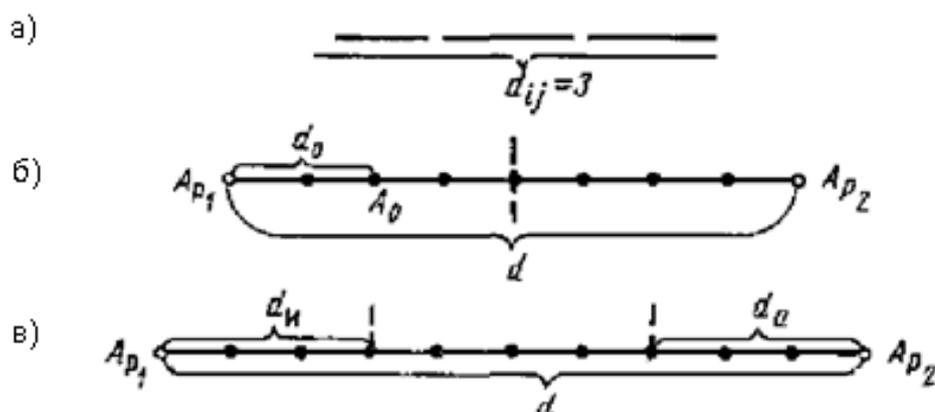


Рисунок 1. Геометрическое представление разрешенных и запрещенных кодовых комбинаций

Если  $g > d$ , то некоторые ошибки также обнаруживаются. Однако полной гарантии обнаружения ошибок здесь нет, так как ошибочная комбинация в этом случае может совпасть с какой-либо разрешенной комбинацией. Минимальное кодовое расстояние, при котором обнаруживаются любые одиночные ошибки,  $d=2$ .

Процедура исправления ошибок в процессе декодирования сводится к определению переданной комбинации по известной принятой. Расстояние между переданной разрешенной комбинацией и принятой запрещенной комбинацией  $d_0$  равно кратности ошибок  $g$ . Если ошибки в символах комбинации происходят независимо относительно друг друга, то вероятность искажения некоторых  $g$  символов в  $n$ -значной комбинации будет равна:

$$P_0^g (1 - P_0)^{n-g}, \quad (2)$$

где  $P_0$  – вероятность искажения одного символа. Так как обычно  $P_0 \ll 1$ , то вероятность многократных ошибок уменьшается с увеличением их кратности, при этом более вероятны меньшие расстояния  $d_0$ . В этих условиях исправление ошибок может производиться по следующему правилу. Если принята запрещенная комбинация, то считается переданной ближайшая разрешенная

комбинация. Например, пусть образовалась запрещенная комбинация  $A_0$  (см. рис. 26), тогда принимается решение, что была передана комбинация  $A_{p1}$ . Это правило декодирования для указанного распределения ошибок является оптимальным, так как оно обеспечивает исправление максимального числа ошибок. Напомним, что аналогичное правило используется, в теории потенциальной помехоустойчивости при оптимальном приеме дискретных сигналов, когда решение сводится к выбору того переданного сигнала, который в наименьшей степени отличается от принятого. Нетрудно определить, что при таком правиле декодирования будут исправлены все ошибки кратности

$$g \leq \frac{(d-1)}{2}. \quad (3)$$

Минимальное значение  $d$ , при котором еще возможно исправление любых одиночных ошибок, равно 3.

Возможно также построение таких кодов, в которых часть ошибок исправляется, а часть только обнаруживается. Так, в соответствии с рис. 2в ошибки кратности  $g \leq d_{и}$  исправляются, а ошибки, кратность которых лежит в пределах  $d_{и} \leq g \leq d - d_{и}$ , только обнаруживаются. Что касается ошибок, кратность которых сосредоточена в пределах  $d - d_{и} \leq g \leq d$ , то они обнаруживаются, однако при их исправлении принимается ошибочное решение – считается переданной комбинация  $A_{p2}$  вместо  $A_{p1}$  или наоборот.

Существуют двоичные системы связи, в которых решающее устройство выдает, кроме обычных символов 0 и 1, еще так называемый символ стирания  $\theta$ . Этот символ соответствует приему сомнительных сигналов, когда затруднительно принять определенное решение в отношении того, какой из символов 0 или 1 был передан. Принятый символ в этом случае стирается. Однако при использовании корректирующего кода возможно восстановление стертых символов. Если в кодовой комбинации число символов  $\theta$  оказалось равным  $g_c$ , причем

$$g_c \leq d - 1, \quad (4)$$

а остальные символы приняты без ошибок, то такая комбинация полностью восстанавливается. Действительно, для восстановления всех символов  $\theta$  необходимо перебрать всевозможные сочетания из  $g_c$  символов типа 0 и 1. Естественно, что все эти сочетания, за исключением одного, будут неверными. Но так как в неправильных сочетаниях кратность ошибок  $g \leq g_c \leq d - 1$ , то, согласно неравенству (1), такие ошибки обнаруживаются. Другими словами, в этом случае неправильно восстановленные сочетания из  $g_c$  символов совместно с правильно принятыми символами образуют запрещенные комбинации и только одно сочетание стертых символов даст разрешенную комбинацию, которую и следует считать, как правильно восстановленную.

Если  $g_c > d-1$ , то при восстановлении окажется несколько разрешенных комбинаций, что не позволит принять однозначное решение.

Таким образом, при фиксированном кодовом расстоянии максимально возможная кратность корректируемых ошибок достигается в кодах, которые обнаруживают ошибки или восстанавливают стертые символы. Исправление ошибок представляет собой более трудную задачу, практическое решение которой сопряжено с усложнением кодирующих и декодирующих устройств. Поэтому исправляющие коды обычно используются для корректирования ошибок малой кратности.

Корректирующая способность кода возрастает с увеличением  $d$ . При фиксированном числе разрешенных комбинаций  $M_0$  увеличение  $d$  возможно лишь за счет роста количества запрещенных комбинаций:

$$M - M_0 = 2^n - 2^k, \quad (5)$$

что, в свою очередь, требует избыточного числа символов  $r = n - k$ , где  $k$  – количество символов в комбинации кода без избыточности. Можно ввести понятие избыточности кода и количественно определить ее как

$$\chi = \frac{n - k}{n} = \frac{r}{k + r} = 1 - \frac{\log_2(M_0)}{\log_2(M)}, \quad (6)$$

В каналах с помехами эффективным средством повышения достоверности передачи сообщений является помехоустойчивое кодирование. Оно основано на применении специальных кодов, которые корректируют ошибки, вызванные действием помех. Код называется *корректирующим*, если он позволяет обнаруживать или обнаруживать и исправлять ошибки при приеме сообщений. Код, посредством которого только обнаруживаются ошибки, носит название *обнаруживающего* кода. Исправление ошибки при таком кодировании обычно производится путем повторения искаженных сообщений. Запрос о повторении передается по каналу обратной связи. Код, исправляющий обнаруженные ошибки, называется *исправляющим* кодом. В этом случае фиксируется не только сам факт наличия ошибок, но и устанавливается, какие кодовые символы приняты ошибочно, что позволяет их исправить без повторной передачи. Известны также коды, в которых исправляется только часть обнаруженных ошибок, а остальные ошибочные комбинации передаются повторно.

Для того чтобы код обладал корректирующими способностями, в кодовой последовательности должны содержаться дополнительные (избыточные) символы, предназначенные для корректирования ошибок. Чем больше избыточность кода, тем выше его корректирующая способность.

Помехоустойчивые коды могут быть построены с любым основанием. Ниже рассматриваются только двоичные коды, теория которых разработана наиболее полно.

В настоящее время известно большое количество корректирующих кодов, отличающихся как принципами построения, так и основными характеристиками.

*Рассмотрим их простейшую классификацию*, дающую представление об основных группах, к которым принадлежит большая часть известных кодов. На рис. 2 показана схема, поясняющая классификацию, проведенную по способам построения корректирующих кодов.

Все известные в настоящее время коды могут быть разделены на две большие группы: *блочные* и *непрерывные*. Блочные коды: характеризуются тем., что последовательность передаваемых символов разделена на блоки. Операции кодирования и декодирования в каждом блоке производятся отдельно. Отличительной особенностью непрерывных кодов является то, что первичная последовательность символов, несущих информацию, непрерывно преобразуется по определенному закону в другую последовательность, содержащую избыточное число символов, здесь процессы кодирования и декодирования не требуют деления кодовых символов на блоки.

Разновидностями как блочных, так и непрерывных кодов являются *разделимые* и *неразделимые* коды. В разделимых кодах всегда можно выделить *информационные* символы, содержащие передаваемую информацию, и *контрольные* (проверочные) символы, которые являются избыточными и служат исключительно для коррекции ошибок. В неразделимых кодах такое разделение символов провести невозможно.

Наиболее многочисленный класс разделимых кодов составляют *линейные* коды. Основная их особенность состоит в том, что контрольные символы образуются как линейные комбинации информационных символов.

В свою очередь, линейные коды могут быть разбиты на два подкласса: *систематические* и *несистематические*. Все двоичные систематические коды являются групповыми. Последние характеризуются принадлежностью кодовых комбинаций к группе, обладающей тем свойством, что сумма по модулю два любой пары комбинаций снова дает комбинацию, принадлежащую этой группе. Линейные коды, которые не могут быть отнесены к подклассу систематических, называются *несистематическими*. Вертикальными прямоугольниками на схеме рис. 2 представлены некоторые конкретные коды.

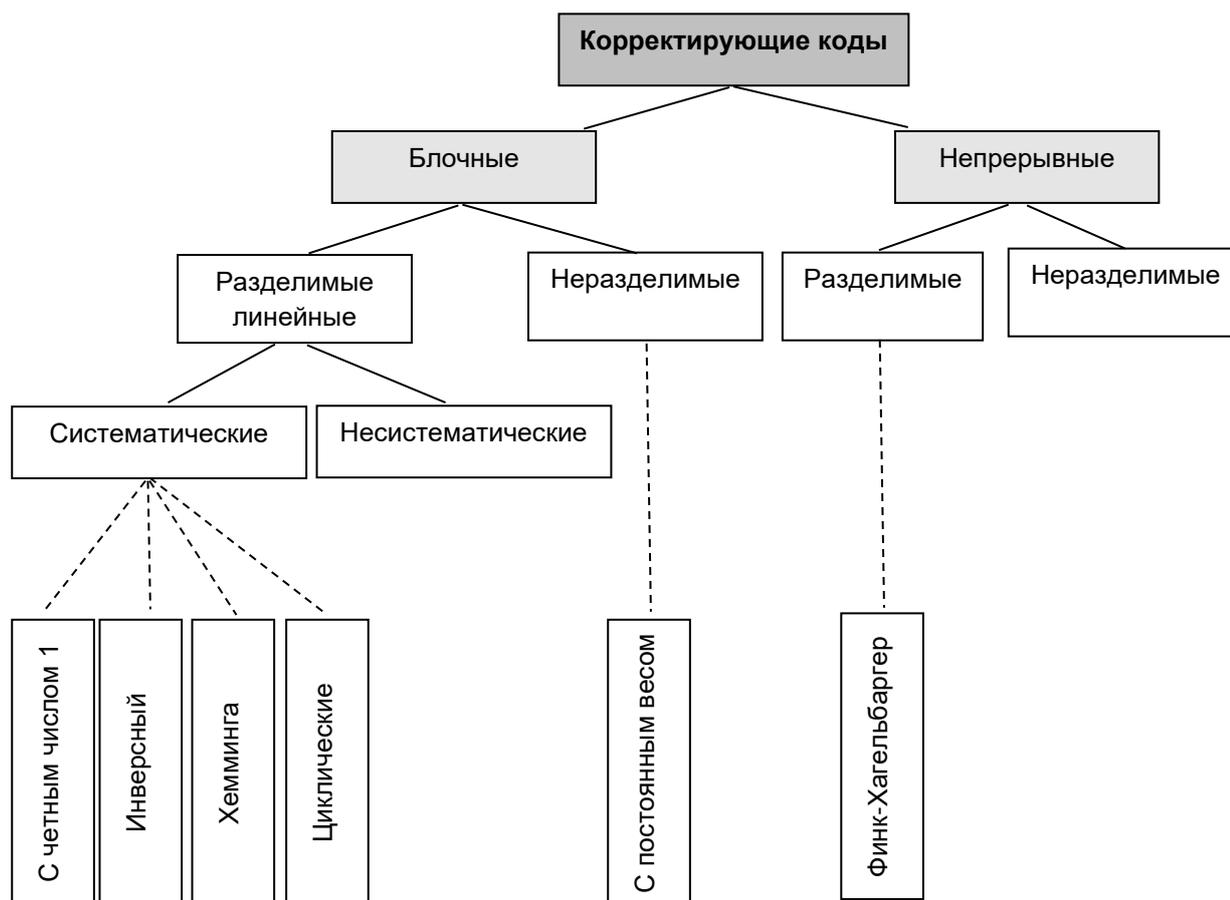


Рисунок 2. Классификация корректирующих кодов

Сообщения в автоматизированных системах управления воздушным движением передаются двоичной кодировкой. Каждому символу соответствует свой код. Необходимо предусмотреть возможность обнаруживать и исправлять ошибки. Чтобы такая возможность появилась, надо добавить несколько дополнительных двоичных символов на букву, т. е. умышленно ввести некоторую избыточность, которая смогла бы помочь нам обнаружить или исправить ошибки.

Пример алгоритма кодирования сообщения из четырех информационных разрядов и трех контрольных разрядов:

#### **Формирование кода символа.**

Пусть  $m=4$  – число информационных разрядов. Число контрольных символов должно быть не менее трех, т. е.  $x=3$ . (Вычисление происходит по следующей зависимости:  $2^x - x - 1 \geq m$ .)

#### **Выбор контрольных разрядов.**

Контрольные символы назначаются так: индексы равны целым степеням двойки, т. е. 1, 2, 4, 8, 16, ... Вычисление происходит по следующей зависимости:  $2^{x-1}$ . При  $x=3$ , числа: 1, 2, 4.

V3-V5-V6-V7

V1-V2-V4

(информационные символы) (контрольные символы)

Пусть информационные символы имеют вид: 0111. Следовательно, сообщение будет иметь вид: V1-V2-0-V4-1-1-1, теперь необходимо вычислить контрольные символы.

### Вычисление контрольных разрядов.

В случае же, когда ошибка в кодирование символа не имела места, набор  $e_2e_1e_0$  должен указать на нулевую позицию, т. е. на несуществующий символ **V0**, в противном случае на разряд, произошла ошибка:

$e_2$	$e_1$	$e_0$	
0	0	0	(V0)
0	0	1	(V1)
0	1	0	(V2)
0	1	1	(V3)
1	0	0	(V4)
1	0	1	(V5)
1	1	0	(V6)
1	1	1	(V7)

Легко уследить, что значение  $e_0$  "несет ответственность" за позиции V1, V3, V5 и V7. Аналогично, обращая внимание на то, что значения  $e_1$  и  $e_2$  отвечают за соответственно V2 V3 V6 V7, V4 V5 V6 V7. Поэтому в качестве функции берется зависимость:

$$\begin{aligned} e_0 &= (V1+V3+V5+V7) \bmod 2, \\ e_1 &= (V2+V3+V6+V7) \bmod 2, \\ e_2 &= (V4+V5+V6+V7) \bmod 2. \end{aligned}$$

Подставляя в систему уравнений  $e_0=e_1=e_2=0$ , получим систему из трех уравнений:

$$\begin{aligned} V1 &= (V3+V5+V7) \bmod 2, \\ V2 &= (V3+V6+V7) \bmod 2, \\ V4 &= (V5+V6+V7) \bmod 2. \end{aligned}$$

V3-V5-V6-V7 – информационные символы известны, mod 2 – сложение по модулю два [пример:  $(1+1+0) \bmod 2=0$ ].

### Определение ошибочного разряда.

Пусть набор информационных символов V3-V5-V6-V7 = 1011. Следовательно, контрольные разряды равны:

$$\begin{aligned} V1 &= (1+0+1) \bmod 2=0, \\ V2 &= (1+1+1) \bmod 2=1, \\ V4 &= (0+1+1) \bmod 2=0. \end{aligned}$$

Сообщение будет иметь вид: 0110011.

Пусть ошибка произошла на уровне символа V5 т. е. вместо истинного расширенного кодового набора 0110(0)11 получен код 0110(1)11. Проверим в каком разряде ошибка:

$$e_0 = (B_1+B_3+B_5+B_7) \bmod 2 = (0+1+1+1) \bmod 2 = 1,$$

$$e_1 = (B_2+B_3+B_6+B_7) \bmod 2 = (1+1+1+1) \bmod 2 = 0,$$

$$e_2 = (B_4+B_5+B_6+B_7) \bmod 2 = (0+1+1+1) \bmod 2 = 1.$$

### Варианты заданий

1. Составить алгоритм кодирования сообщения из пяти информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=5$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 00001, 11111, 10000.

2. Составить алгоритм кодирования сообщения из шести информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=6$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 000001, 011111, 010000.

3. Составить алгоритм кодирования сообщения из семи информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=7$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 0000001, 0011111, 0010000.

4. Составить алгоритм кодирования сообщения из восьми информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=8$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 00000001, 00011111, 00010000.

5. Составить алгоритм кодирования сообщения из девяти информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=9$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 100000001, 100011111, 100010000.

6. Составить алгоритм кодирования сообщения из десяти информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=10$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 1100000001, 1100011111, 1100010000.

7. Составить алгоритм кодирования сообщения из одиннадцати информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=11$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 10100000001, 10100011111, 10100010000.

8. Составить алгоритм кодирования сообщения из трех информационных разрядов и трех контрольных разрядов ( $m=3$ ,  $x=3$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 101, 111, 110.

9. Составить алгоритм кодирования сообщения из шести информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=6$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 000011, 111111, 100001.

10. Составить алгоритм кодирования сообщения из семи информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=7$ ,  $x=4$ ).

Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 0000011, 0111111, 0100001.

11. Составить алгоритм кодирования сообщения из восьми информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=8, x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 00000011, 00111111, 00100001.

12. Составить алгоритм кодирования сообщения из девяти информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=9, x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 000000011, 000111111, 000100001.

13. Составить алгоритм кодирования сообщения из десяти информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=10, x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 1000000011, 1000111111, 1000100001.

14. Составить алгоритм кодирования сообщения из одиннадцати информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=11, x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 11000000011, 11000111111, 11000100001.

15. Составить алгоритм кодирования сообщения из двенадцати информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=12, x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 10100000001, 101000111111, 101000100001.

16. Составить алгоритм кодирования сообщения из четырех информационных разрядов и трех контрольных разрядов ( $m=4, x=3$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 1011, 1111, 1101.

17. Составить алгоритм кодирования сообщения из пяти информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=5, x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 01001, 01111, 01000.

18. Составить алгоритм кодирования сообщения из шести информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=6, x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 010001, 101111, 001000.

19. Составить алгоритм кодирования сообщения из семи информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=7, x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 0100001, 0111111, 0110000.

20. Составить алгоритм кодирования сообщения из восьми информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=8, x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 01000001, 01011111, 01010000.

21. Составить алгоритм кодирования сообщения из девяти информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=9, x=4$ ).

Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 110000001, 110011111, 110010000.

22. Составить алгоритм кодирования сообщения из десяти информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=10$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 1000000001, 1000011111, 1000010000.

23. Составить алгоритм кодирования сообщения из одиннадцати информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=11$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 11100000001, 11100011111, 11100010000.

24. Составить алгоритм кодирования сообщения из трех информационных разрядов и трех контрольных разрядов ( $m=3$ ,  $x=3$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 011, 101, 110.

25. Составить алгоритм кодирования сообщения из шести информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=6$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 010011, 101111, 110001.

26. Составить алгоритм кодирования сообщения из семи информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=7$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 0100011, 0011111, 1100001.

27. Составить алгоритм кодирования сообщения из восьми информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=8$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 01000011, 01111111, 01100001.

28. Составить алгоритм кодирования сообщения из девяти информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=9$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 010000011, 010111111, 010100001.

29. Составить алгоритм кодирования сообщения из десяти информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=10$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 1100000011, 1100111111, 1100100001.

30. Составить алгоритм кодирования сообщения из одиннадцати информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=11$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 11001000011, 11010111111, 11010100001.

31. Составить алгоритм кодирования сообщения из двенадцати информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=12$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 10101000001, 101010111111, 101010100001.

32. Составить алгоритм кодирования сообщения из четырех информационных разрядов и трех контрольных разрядов ( $m=4$ ,  $x=3$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 0011, 0111, 0101.

33. Составить алгоритм кодирования сообщения из десяти информационных разрядов и пяти контрольных разрядов ( $m=10$ ,  $x=5$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 1000000001, 1000011111, 1000010000.

34. Составить алгоритм кодирования сообщения из одиннадцати информационных разрядов и пяти контрольных разрядов ( $m=11$ ,  $x=5$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 11100000001, 11100011111, 11100010000.

35. Составить алгоритм кодирования сообщения из трех информационных разрядов и четырех контрольных разрядов ( $m=3$ ,  $x=4$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 011, 101, 110.

36. Составить алгоритм кодирования сообщения из шести информационных разрядов и пяти контрольных разрядов ( $m=6$ ,  $x=5$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 010011, 101111, 110001.

37. Составить алгоритм кодирования сообщения из семи информационных разрядов и пяти контрольных разрядов ( $m=7$ ,  $x=5$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 0100011, 0011111, 1100001.

38. Составить алгоритм кодирования сообщения из восьми информационных разрядов и пяти контрольных разрядов ( $m=8$ ,  $x=5$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 01000011, 01111111, 01100001.

39. Составить алгоритм кодирования сообщения из девяти информационных разрядов и пяти контрольных разрядов ( $m=9$ ,  $x=5$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 010000011, 010111111, 010100001.

40. Составить алгоритм кодирования сообщения из десяти информационных разрядов и пяти контрольных разрядов ( $m=10$ ,  $x=5$ ). Закодировать по разработанному алгоритму сообщения: 1100000011, 1100111111, 1100100001.

### 3. Содержание отчета

1. Условия поставленных задач с решением (графики, формулы, таблицы), номер варианта.
2. Ответы на контрольные вопросы.
3. Выводы по каждому заданию.

### **Контрольные вопросы**

1. Виды каналов, используемых в сетях радиосвязи. Основные характеристики первичных сигналов.
2. Способы передачи информации по аналоговым каналам связи. Основные характеристики помехоустойчивости аналоговых систем связи.
3. Способы передачи информации по цифровым каналам связи. Основные характеристики помехоустойчивости цифровых систем связи.
4. Принцип помехоустойчивого кодирования. Корректирующие коды: обнаруживающие и исправляющие коды. Параметры избыточных кодов.
5. Декорреляция ошибок методом перемежения символов в кодовой комбинации.
6. Алгоритмы сжатия информации. Метод Хаффмана.
7. Принцип формирования M-последовательности.
8. Искажения и дискретных сигналов в цифровых каналах связи и их оценка.
9. Коды Баркера. Что они собой представляют?
10. При каком числе элементов существует код Баркера?

### **Литература**

1. Ахмедов Р.М., Бибутов А.А., и др.; Под ред. Пятко С.Г. и Красов А.И. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации: Учеб. пособие – СПб.: Политехника, 2004.
2. Кизько В.Г. Технология управления воздушным движением. Основы управления в зонах УВД. Учебное пособие – Л.: ОЛАГА, 2010.
3. Сбитнев А.В., Бунин А.В. Информационное обеспечение организации и управления воздушным движением. Учебное пособие – М.: ИД Академии Жуковского, 2018.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1  
Образец титульного листа

Московский государственный технический университет гражданской авиации

**Кафедра ОРТЗИ**

Отчет по лабораторной работе №3

**Исследование характеристик систем навигации в процессе определения  
координат**

Выполнил: студент 4-го курса гр. БИТ 4-1

Иванов И.И.

Преподаватель:

Сбитнев А.В.

Москва 2021

## Содержание

Лабораторная работа №1.....	3
Лабораторная работа №2.....	9
Лабораторная работа №3.....	15
Лабораторная работа №4.....	19
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	31