

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

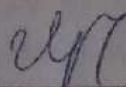
КАФЕДРА № 11

ОТЧЕТ  
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ  
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

ассистент

должность, уч. стипенсия, звание

13.03.21



подпись, дата

В.М. Чернов

инициалы, фамилия

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ДОСТОВЕРНОСТИ  
КОНТРОЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

по курсу: Контроль и диагностика измерительно-вычислительных комплексов

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР.

1711



13.03.21

подпись, дата

М.П. Корельский

инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2021

## 1 Цель работы

Исследование зависимостей инструментальной достоверности и ошибок контроля измерительно-вычислительных комплексов от видов и характеристик параметров распределений вероятностей контролируемых сигналов и погрешностей измерения, параметров и свойств системы контроля и метода ее оптимизации по критериям В.А. Котельникова и Неймана-Пирсона.

## 2 Описание лабораторной установки

Программа CLASS 4 представляет собой файл class4.exe, для работы которого необходимо наличие в том же каталоге драйвера графики egavga.bgi и двух файлов шрифтов litt.chr и trip.chr. Необходимое для установки место составляет 87 килобайт. Исходные данные сохраняются в файлах с расширением .cl3. Программа предназначена для оценки работы системы классификации сигналов, включающей 1, 2 или 3 измерителя контролируемых параметров. Каждый измеритель может иметь один из возможных вариантов сочетания законов распределения вероятности полезный сигнал-помеха, а именно: нормальный– нормальный, равномерный – нормальный, нормальный– равномерный.

Исходными данными для каждого измерителя в зависимости от варианта сочетания законов распределения полезный сигнал-помеха являются совокупности следующих нормированных на среднеквадратические значения погрешностей измерения  $\sigma_{Ni}$  величин:

DL –поле допуска на  $i$ -ый параметр;

DH –диапазон возможных значений контролируемого  $i$ -го параметра;

ETA –систематическая погрешность измерения  $/\Delta N_n/$ ;

EPSI –изменение поля допуска  $/\varepsilon/$ ;

SIGMA –среднеквадратическое значение разброса сигнала  $/\sigma_X /$ .

Программа осуществляет расчет следующих величин:

$P_{0i}$ –вероятность того, что  $i$ -ый контролируемый параметр находится в допуске  $X_i \in g_{0i}$ ;

$P_{yi}$ –вероятность, что наблюдаемый сигнал  $i$ -го измерителя в допуске  $Y_i \in \Omega_{0i}$ ;

$D_{0i}$ –достоверность по каналу —годен  $i$ -го измерителя;

$D_{1i}$ –достоверность по каналу —негоден  $i$ -го измерителя;

$ALFA_i$ –риск изготовителя  $i$ -го измерителя;

$BETA_i$ –риск заказчика  $i$ -го измерителя;

$P_0$ —вероятность, что вектор контролируемых параметров находится в допуске  $X \in g_0$ ;

$P_y$ —вероятность, что наблюдаемые сигналы всех измерителей в допуске  $Y \in g_0$ ;

$D_0$ —достоверность системы по каналу —годен;

$D_1$ —достоверность системы по каналу —негоден;

ALFA—риск изготовителя системы;

BETA—риск заказчика системы.

Программа строит графики зависимостей  $ALFA_i$ ,  $BETA_i$ ,  $ALFA_i+BETA_i$  от всех параметров, входящих в исходные данные. По данным для первого измерителя осуществляется построение графиков зависимостей ALFA, BETA, ALFA+BETA от числа измерителей, входящих в систему, т.е. в систему входят 1,2,3,... измерителя с характеристиками, как у первого.

Главное меню содержит 5 опций: Расчет, Графики, Ввод данных, Оптимизация, Выход.

При запуске программы автоматически активизируется режим ввода данных.

Ввод данных осуществляется вводом числового значения параметра и нажатием клавиши ENTER. Обязательно начинайте ввод данных с ввода варианта сочетания законов распределения вероятности полезный сигнал-помеха, так как от этого зависит набор параметров данного канала. Переключение между окнами осуществляется нажатием клавиши Tab. Клавиши F1 и F2 осуществляют чтение и запись данных в дисковый файл. Расширение .cl3 добавляется автоматически. При отсутствии пути поиск и запись осуществляется в текущем каталоге. Клавиша F3 активизирует режим ввода числа измерителей, входящих в систему. Для выхода в главное меню используйте клавишу Esc.

При выборе опции Расчет появляется таблица с результатами расчета характеристик отдельных измерителей и системы в целом для заданных исходных данных.

Опция Графики позволяет построить графики зависимостей  $ALFA_i$ ,  $BETA_i$ ,  $ALFA_i+BETA_i$  от выбранного параметра (DL, DH, ETA, EPSI, SIGMA, N). Диапазон изменения аргумента задается вручную или автоматически при вводе на запрос "от" буквы А. При построении графиков производится расчет в 50 точках. Клавиша Tab выводит на экран таблицу значений. Частичное или полное отсутствие кривой означает отсутствие физического смысла в этом диапазоне значений аргумента (число -10 в таблице).

При выборе опции Оптимизация осуществляется расчет оптимальных значений  $EPSI_i$  по критерию Котельникова или Неймана-Пирсона для каждого измерителя в отдельности (опция: 1 измеритель в системе) и системы в целом (опция: N измерителей в системе).

### 3 Выполнение лабораторной работы

Исходные данные для расчетов представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Исходные данные

№ варианта	DL	$\eta$	$\varepsilon$	$\sigma$
9	14,8	1,9	1,4	3,5

Результаты расчетов по критериям Котельникова и Неймана-Пирсона для законов распределения «норм-норм» и «норм-равн» (по заданию в ЛК «равн-равн» делать не нужно) занесем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты расчетов по критериям

	Критерий Котельникова	Критерий Неймана-Пирсона
«норм-норм»	$P_{yi} = 0,855000536166632$ $P_{0i} = 0,965509257848525$ $D_{0i} = 0,849458931136764$ $D_{1i} = 0,028949137121607$ $a_i = 0,116050326711761$ $b_i = 0,00554160502986777$ $a_i + b_i = 0,121591931741629$	$P_{yi} = 0,855000536166632$ $P_{0i} = 0,965509257848525$ $D_{0i} = 0,849458931136764$ $D_{1i} = 0,028949137121607$ $a_i = 0,116050326711761$ $b_i = 0,00554160502986777$ $a_i + b_i = 0,121591931741629$
«норм-равн»	$P_{yi} = 0,900694561401055$ $P_{0i} = 0,965509257848525$ $D_{0i} = 0,900331464322975$ $D_{1i} = 0,0341276450733945$ $a_i = 0,0651777935255503$ $b_i = 0,000363097078080243$ $a_i + b_i = 0,0655408906036306$	$P_{yi} = 0,900694561401055$ $P_{0i} = 0,965509257848525$ $D_{0i} = 0,900331464322975$ $D_{1i} = 0,0341276450733945$ $a_i = 0,0651777935255503$ $b_i = 0,000363097078080243$ $a_i + b_i = 0,0655408906036306$

По данным таблицы 3.2 можно сделать вывод о том, что результаты расчетов по критериям Котельникова и Неймана-Пирсона совпадают, поэтому в дальнейшем будем использовать только критерий Котельникова.

Далее будем поочередно изменять параметры  $DL \pm 2,5$ ,  $\eta \pm 0,2$ ,  $\varepsilon \pm 0,1$ ,  $\sigma \pm 0,1$ . Результаты расчетов занесем в таблицы 3.3 и 3.4.

Таблица 3.3 – Результаты расчета по критерию Котельникова «норм-норм»

Изменяемый параметр	Нижняя граница	Верхняя граница
DL	DL = 12,3	DL = 17,3
	$P_{yi} = 0,749315689109794$ $P_{0i} = 0,921106637902833$ $D_{0i} = 0,737584822664792$ $D_{1i} = 0,0671624956521645$ $a_i = 0,183521815238042$ $b_i = 0,0117308664450021$ $a_i + b_i = 0,195252681683044$	$P_{yi} = 0,923212676449526$ $P_{0i} = 0,986542543260866$ $D_{0i} = 0,920902911921063$ $D_{1i} = 0,011147692210671$ $a_i = 0,0656396313398031$ $b_i = 0,00230976452846276$ $a_i + b_i = 0,0679493958682659$

$\eta$	$\eta = 1,7$	$\eta = 2,1$
	$P_{yi} = 0,864058448229776$ $P_{0i} = 0,965509257848525$ $D_{0i} = 0,859447882945777$ $D_{1i} = 0,0298801768674761$ $a_i = 0,106061374902748$ $b_i = 0,00461056528399862$ $a_i+b_i = 0,110671940186747$	$P_{yi} = 0,84497547435983$ $P_{0i} = 0,965509257848525$ $D_{0i} = 0,838455568994418$ $D_{1i} = 0,0279708367860632$ $a_i = 0,127053688854107$ $b_i = 0,00651990536541151$ $a_i+b_i = 0,133573594219518$
$\varepsilon$	$\varepsilon = 1,3$	$\varepsilon = 1,5$
	$P_{yi} = 0,861732024938615$ $P_{0i} = 0,965509257848525$ $D_{0i} = 0,855704736802327$ $D_{1i} = 0,0284634540151864$ $a_i = 0,109804521046199$ $b_i = 0,00602728813628834$ $a_i+b_i = 0,115831809182487$	$P_{yi} = 0,848027221228809$ $P_{0i} = 0,965509257848525$ $D_{0i} = 0,842959451455507$ $D_{1i} = 0,0294229723781727$ $a_i = 0,122549806393018$ $b_i = 0,00506776977330205$ $a_i+b_i = 0,12761757616632$
$\sigma$	$\sigma = 3,4$	$\sigma = 3,6$
	$P_{yi} = 0,863436535287944$ $P_{0i} = 0,970480020604842$ $D_{0i} = 0,858550226683709$ $D_{1i} = 0,024633670790923$ $a_i = 0,111929793921133$ $b_i = 0,0048863086042347$ $a_i+b_i = 0,116816102525368$	$P_{yi} = 0,846512467717276$ $P_{0i} = 0,96017476624285$ $D_{0i} = 0,840300059109657$ $D_{1i} = 0,0336128251495309$ $a_i = 0,119874707133193$ $b_i = 0,00621240860761866$ $a_i+b_i = 0,126087115740812$

Таблица 3.3 – Результаты расчета по критерию Котельникова «норм-равн»

Изменяемый параметр	Нижняя граница	Верхняя граница
DL	DL = 12,3	DL = 17,3
	$P_{yi} = 0,80791637735948$ $P_{0i} = 0,921106637902833$ $D_{0i} = 0,807183329516382$ $D_{1i} = 0,0781603142540689$ $a_i = 0,113923308386451$ $b_i = 0,000733047843097689$ $a_i+b_i = 0,114656356229549$	$P_{yi} = 0,953667459947572$ $P_{0i} = 0,986542543260866$ $D_{0i} = 0,953509165617818$ $D_{1i} = 0,0132991624093797$ $a_i = 0,0330333776430486$ $b_i = 0,000158294329754116$ $a_i+b_i = 0,0331916719728027$
$\varepsilon$	$\varepsilon = 1,3$	$\varepsilon = 1,5$
	$P_{yi} = 0,906212266864041$ $P_{0i} = 0,965509257848525$ $D_{0i} = 0,905609599636288$ $D_{1i} = 0,0338880749237219$ $a_i = 0,0598996582122375$ $b_i = 0,000602667227752818$ $a_i+b_i = 0,0605023254399903$	$P_{yi} = 0,894921314771726$ $P_{0i} = 0,965509257848525$ $D_{0i} = 0,894740426688449$ $D_{1i} = 0,0343098540681976$ $a_i = 0,0707688311600762$ $b_i = 0,000180888083277098$ $a_i+b_i = 0,0709497192433532$
$\sigma$	$\sigma = 3,4$	$\sigma = 3,6$
	$P_{yi} = 0,909539784715186$ $P_{0i} = 0,970480020604842$ $D_{0i} = 0,909213985719297$ $D_{1i} = 0,0291941803992682$ $a_i = 0,0612660348855456$ $b_i = 0,00032579899588947$ $a_i+b_i = 0,0615918338814351$	$P_{yi} = 0,89166376687461$ $P_{0i} = 0,96017476624285$ $D_{0i} = 0,891263314785581$ $D_{1i} = 0,0394247816681208$ $a_i = 0,0689114514572695$ $b_i = 0,000400452089028724$ $a_i+b_i = 0,0693119035462982$

По полученным результатам, можно сделать следующие выводы:

1. Для закона распределения «норм-норм» нужно

Увеличить: параметр DL - поле допуска.

Уменьшить:  $\eta$  - систематическая погрешность измерения;  $\varepsilon$  - изменение поля допуска,  $\sigma$  – СКО сигнала.

2. Для закона распределения «норм-равн» нужно

Увеличить: параметр DL - поле допуска.

Уменьшить:  $\varepsilon$  - изменение поля допуска,  $\sigma$  – СКО сигнала.

Теперь построим графики зависимостей рисков заказчика и изготовителя от изменения параметров системы контроля и параметров полезного сигнала для законов распределения «норм-норм» и «норм-равн». Далее по полученным графикам выполним оптимизацию параметров. Критерий оптимизации – минимум суммарного риска.

### 1. Закон распределения «норм-норм».

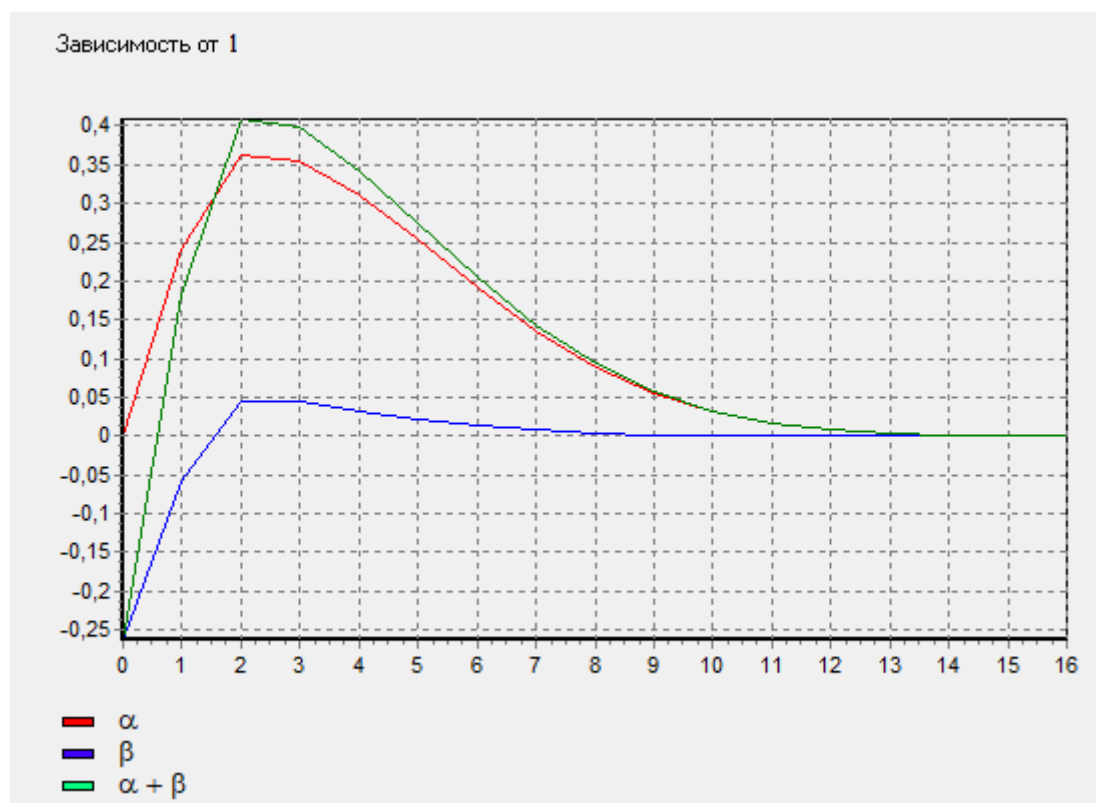


Рисунок 3.1 – График зависимости  $\alpha + \beta$  от DL при начальных условиях

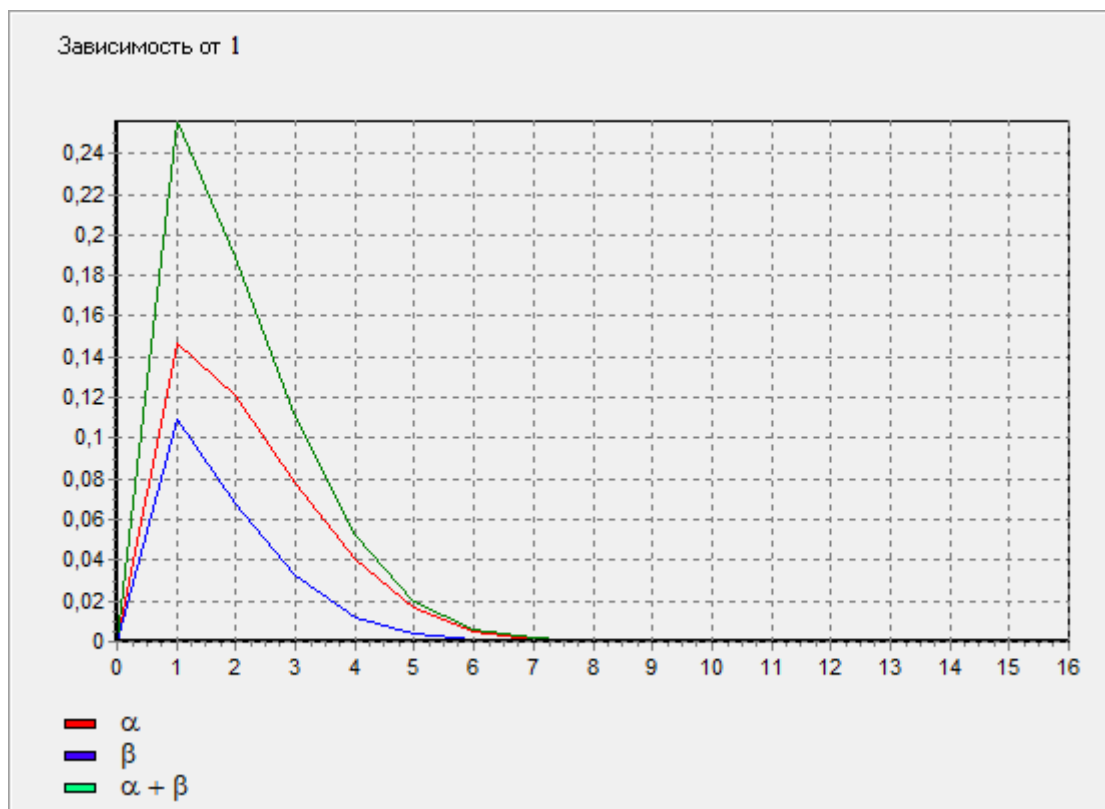


Рисунок 3.2 – График зависимости  $\alpha+\beta$  от DL при  $\eta=\varepsilon=0$ ,  $\sigma=2$ .

Как мы видим, при уменьшении  $\eta$ ,  $\varepsilon$  и  $\sigma$ , значение  $\alpha+\beta$  в экстремуме уменьшилось.

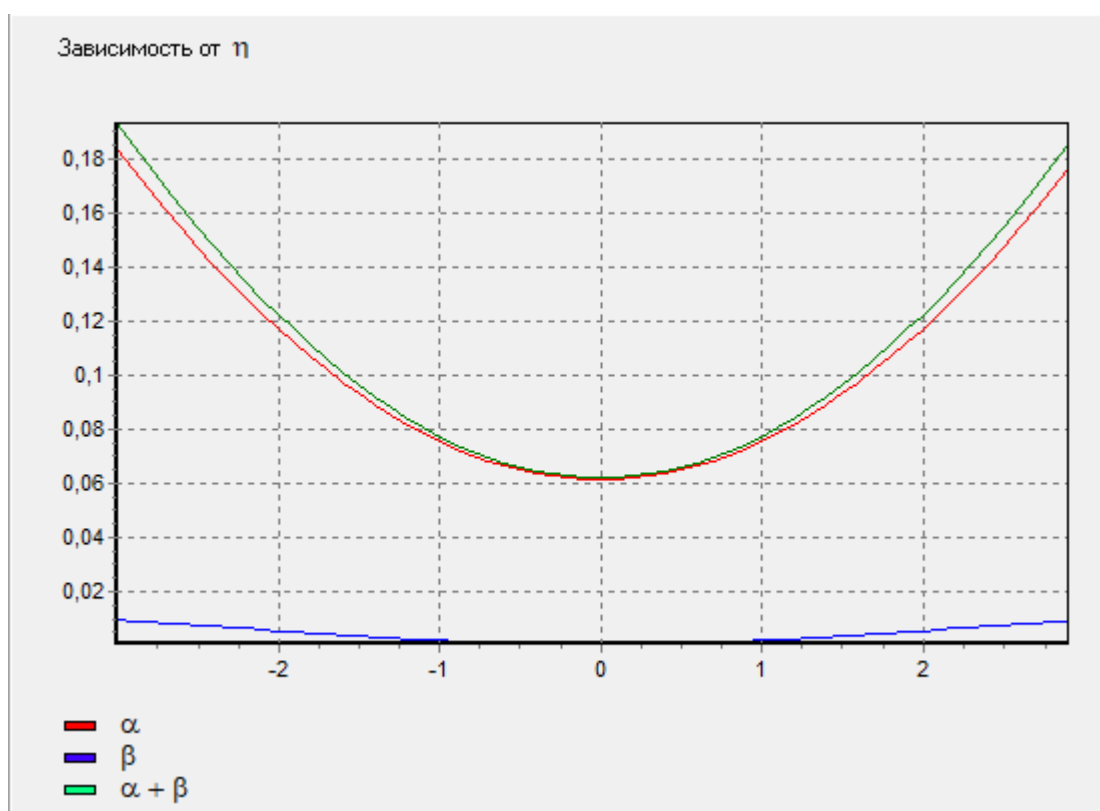


Рисунок 3.3 – График зависимости  $\alpha+\beta$  от  $\eta$  при начальных условиях

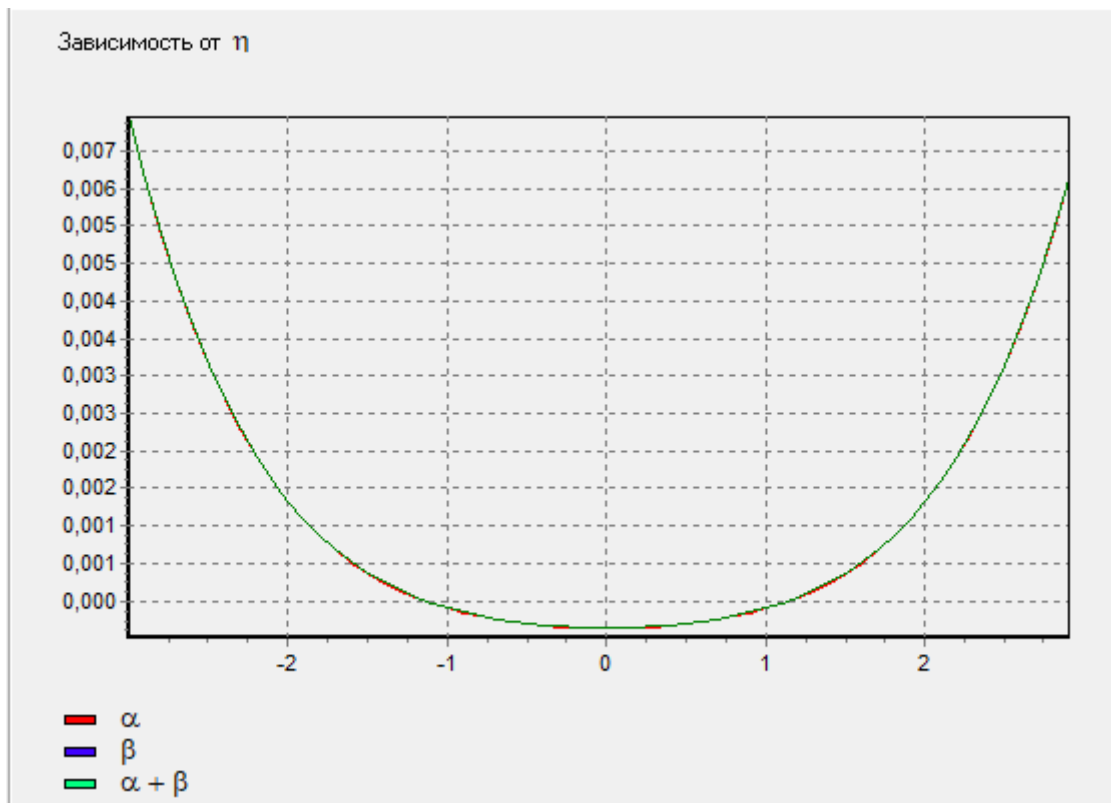


Рисунок 3.4 – График зависимости  $\alpha + \beta$  от  $\eta$  при  $DL=17$ ,  $\varepsilon=0$ ,  $\sigma=1,5$

Как мы видим, при уменьшении  $\varepsilon$ ,  $\sigma$  и увеличении  $DL$ , значение  $\alpha + \beta$  в экстремуме уменьшилось.

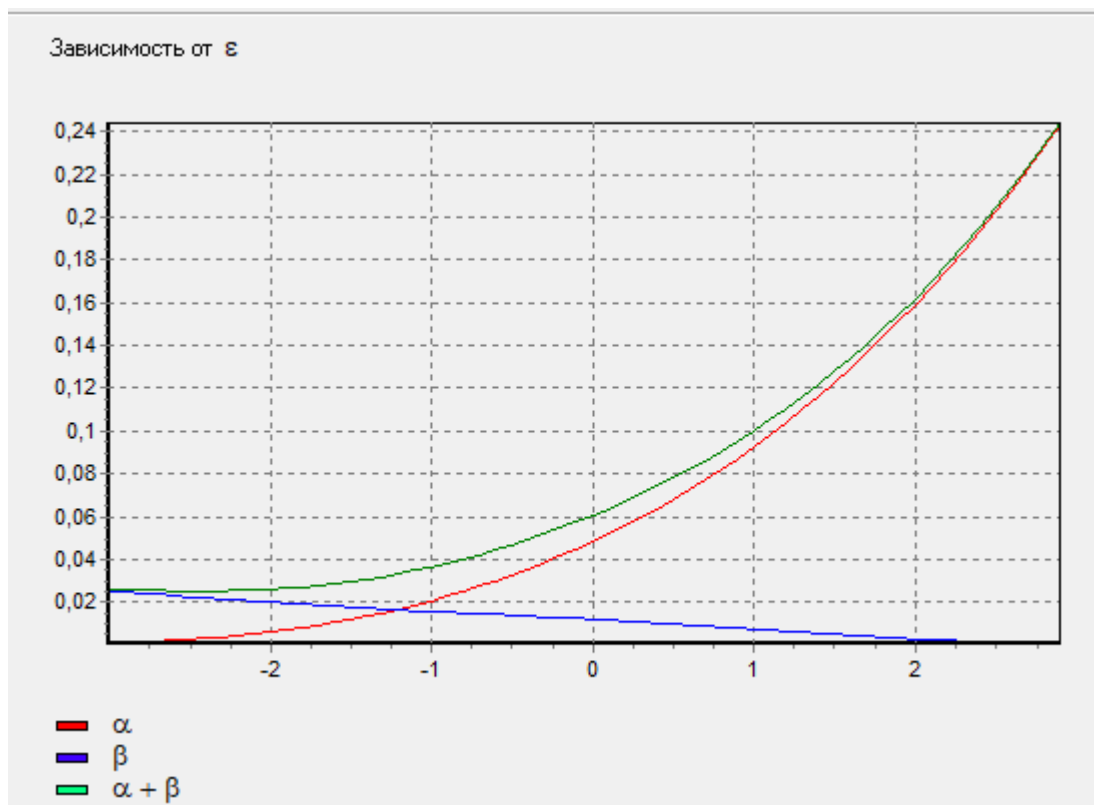


Рисунок 3.5 – График зависимости  $\alpha + \beta$  от  $\varepsilon$  при начальных условиях



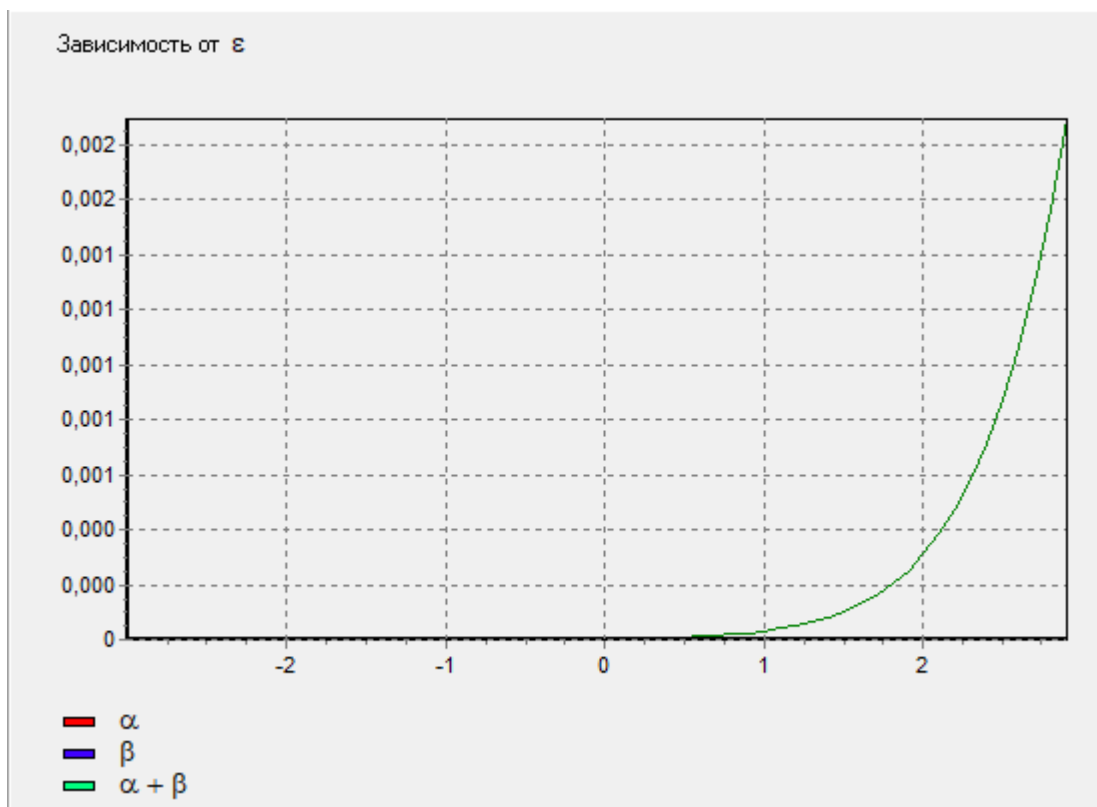


Рисунок 3.6 – График зависимости  $\alpha+\beta$  от  $\varepsilon$  при  $DL=17$ ,  $\sigma=1,5$ ,  $\eta=0$

Как мы видим, при уменьшении  $\eta$ ,  $\sigma$  и увеличении  $DL$ , значение  $\alpha+\beta$  в экстремуме уменьшилось.

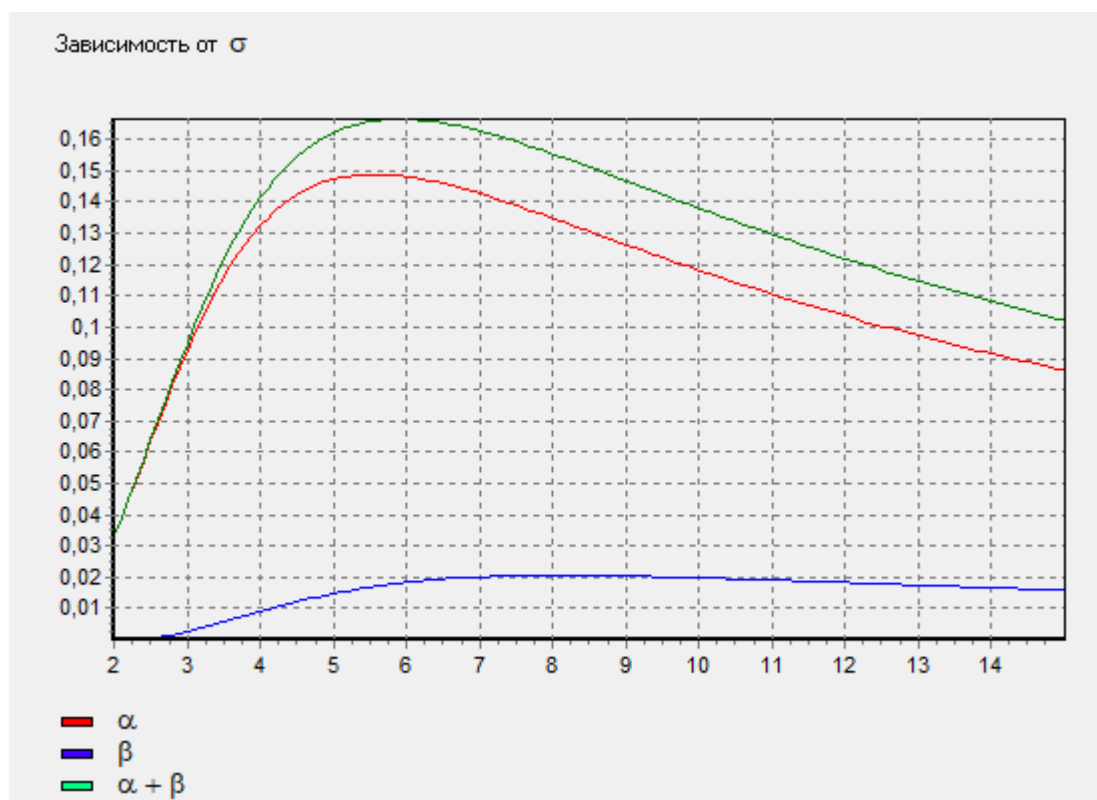


Рисунок 3.7 – График зависимости  $\alpha+\beta$  от  $\sigma$  при начальных условиях

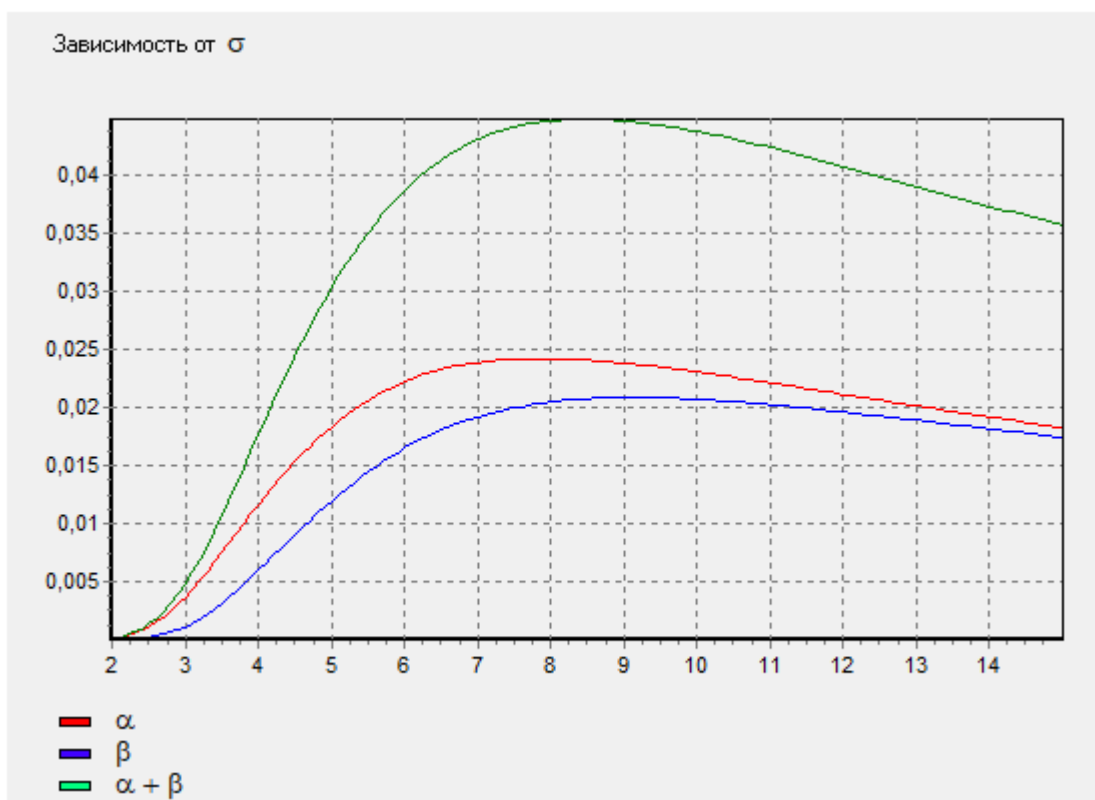


Рисунок 3.8 – График зависимости  $\alpha + \beta$  от  $\sigma$  при  $DL=17$ ,  $\eta=0$ ,  $\varepsilon=0$ .

В результате оптимизации получим следующие значения:  $DL=17$ ;  $\eta=0$ ;  $\varepsilon=0$ ;  $\sigma=1,5$ . В таблице 3.4 представлен результат до и после оптимизации для «норм-норм».

Таблица 3.4 – Результаты оптимизации параметров для «норм-норм»

Исходные результаты	Результаты после оптимизации
$P_{yi} = 0,855000536166632$	$P_{yi} = 0,999997579471528$
$P_{0i} = 0,965509257848525$	$P_{0i} = 0,99999985398849$
$D_{0i} = 0,849458931136764$	$D_{0i} = 0,999997573958059$
$D_{1i} = 0,028949137121607$	$D_{1i} = 9,08768256756591E-9$
$a_i = 0,116050326711761$	$a_i = 2,41144078927391E-6$
$b_i = 0,00554160502986777$	$b_i = 5,51346883150381E-9$
$a_i + b_i = 0,121591931741629$	$a_i + b_i = 2,41695425810541E-6$

В результате оптимизации суммарный риск уменьшен на 0.12158951478.

## 2. Закон распределения «норм-равн».

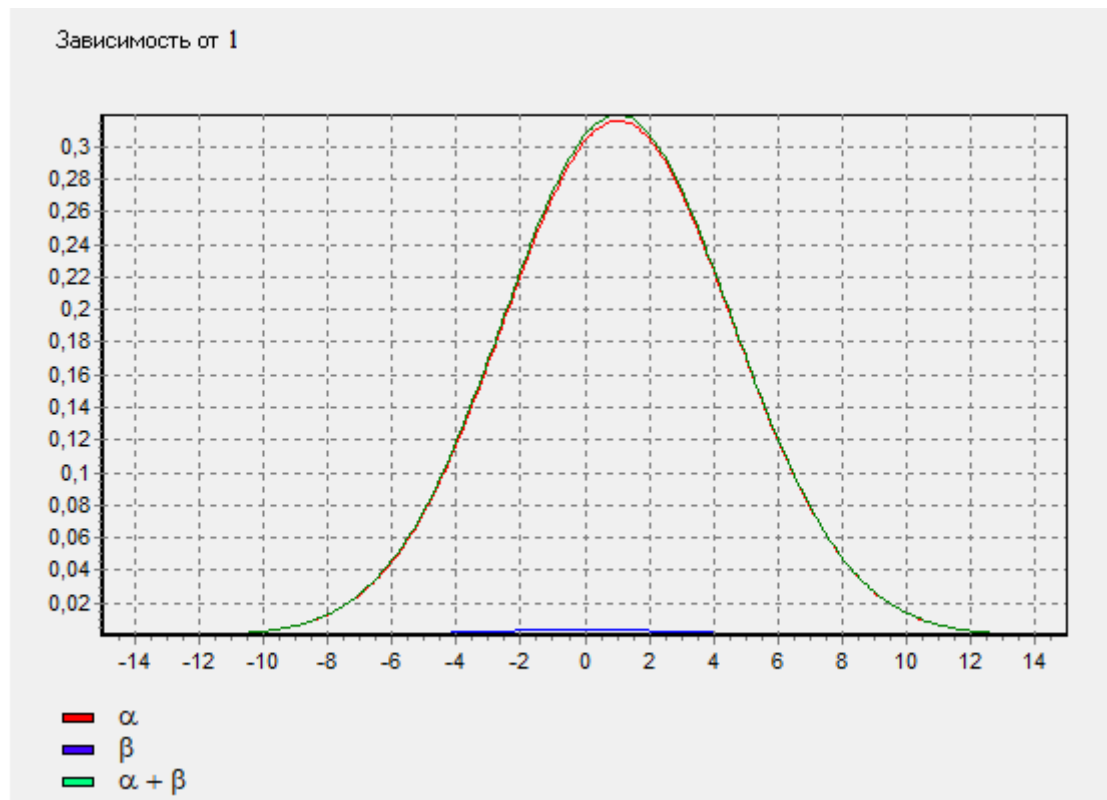


Рисунок 3.9 – График зависимости  $\alpha+\beta$  от DL при начальных условиях

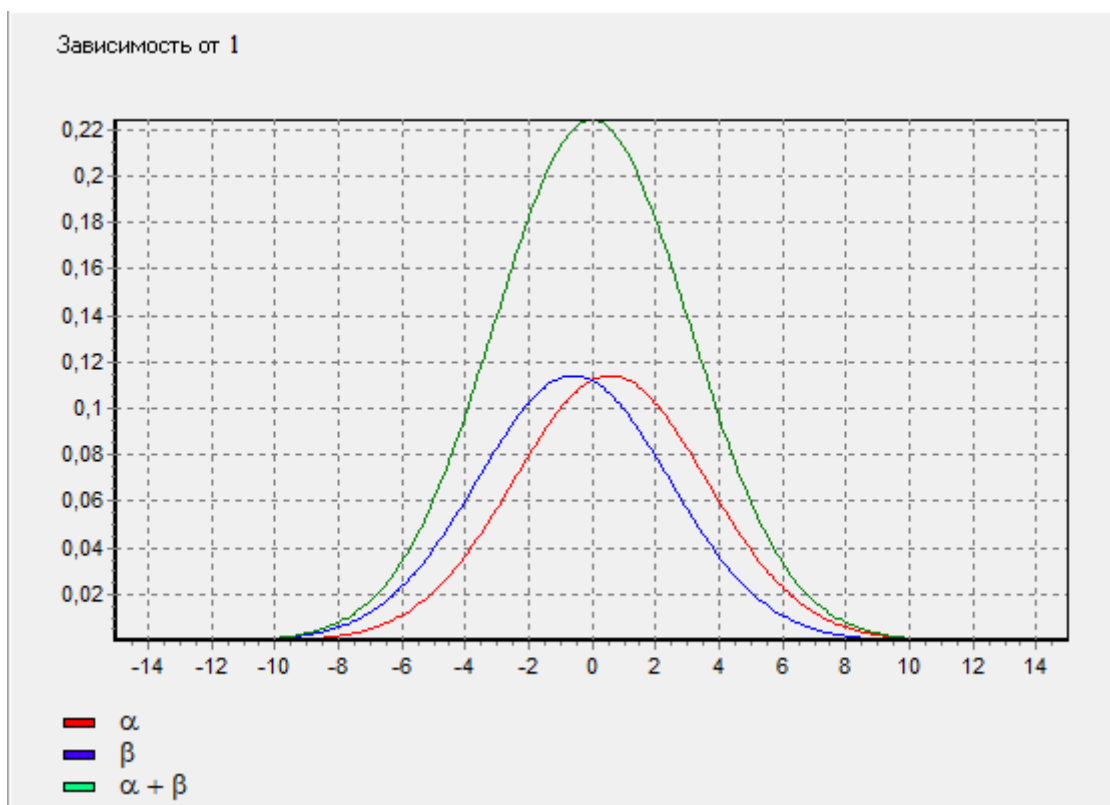


Рисунок 3.10 – График зависимости  $\alpha+\beta$  от DL при  $\varepsilon=0$ ,  $\sigma=3$ .

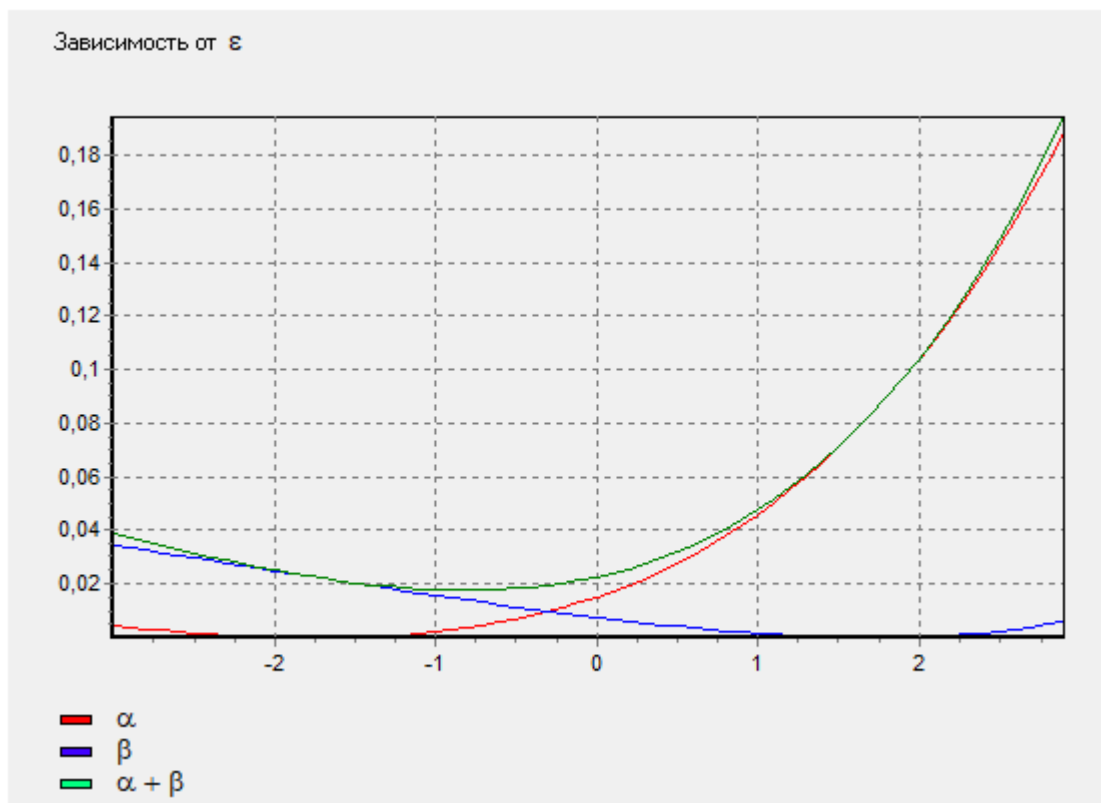


Рисунок 3.11 – График зависимости  $\alpha+\beta$  от  $\varepsilon$  при начальных условиях

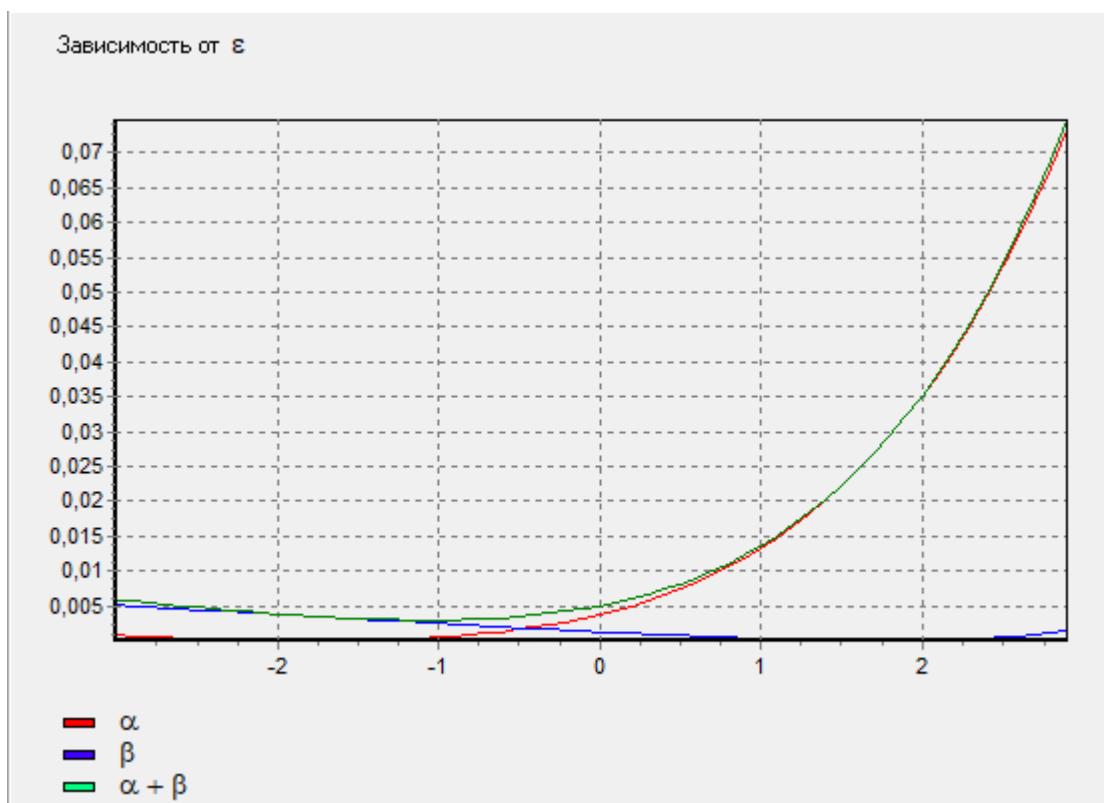


Рисунок 3.12 – График зависимости  $\alpha+\beta$  от  $\varepsilon$  при  $DL=17$ ,  $\sigma=3$

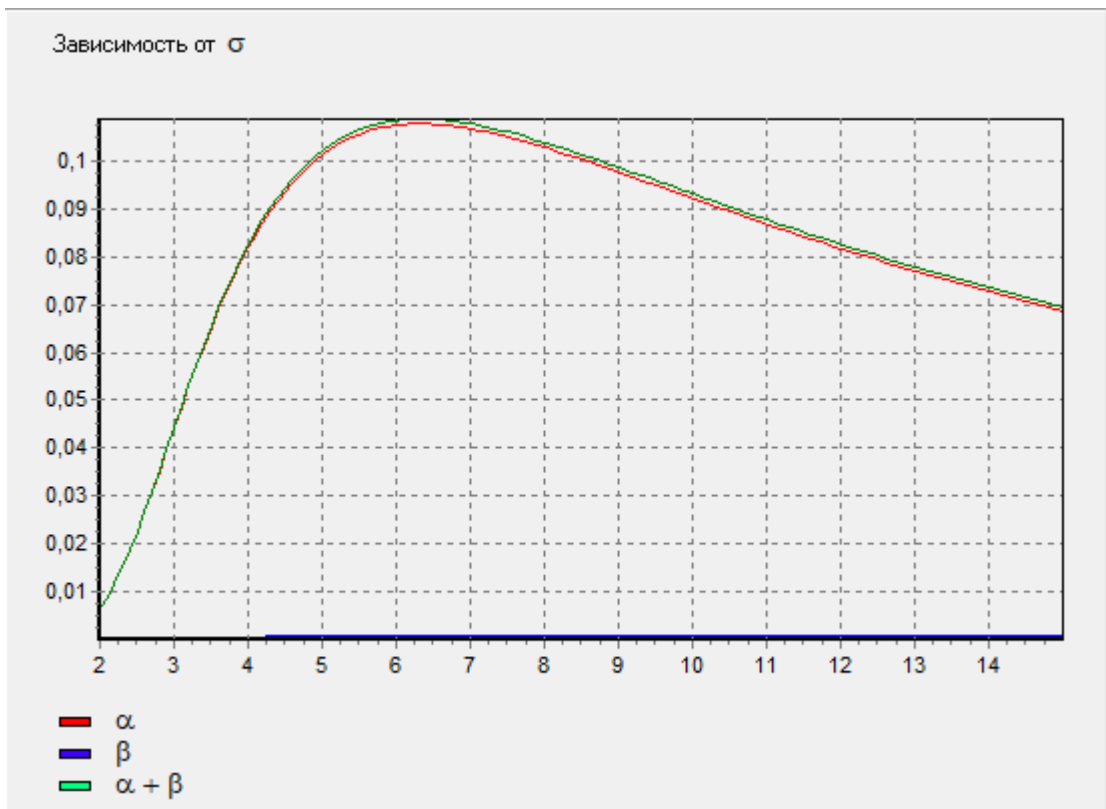


Рисунок 3.13 – График зависимости  $\alpha + \beta$  от  $\sigma$  при начальных условиях

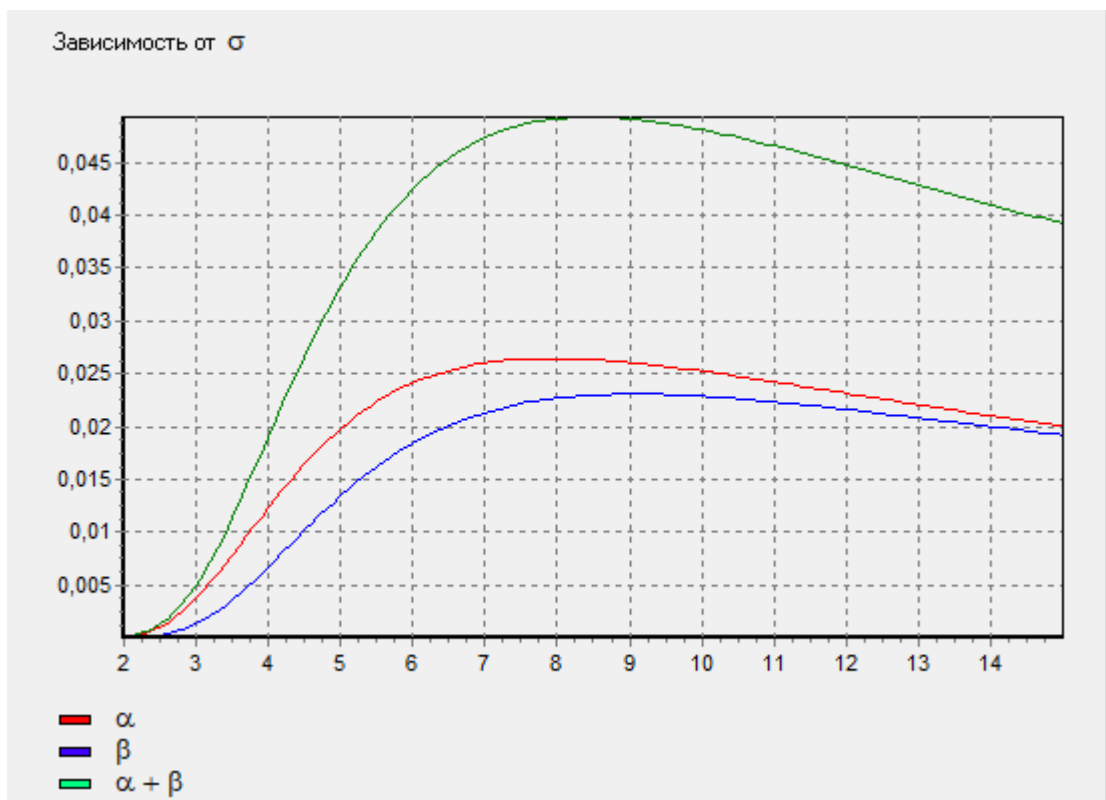


Рисунок 3.14 – График зависимости  $\alpha + \beta$  от  $\sigma$  при  $DL=17$ ,  $\varepsilon=0$ .

В результате оптимизации получим следующие значения:  $DL=17$ ;  $\varepsilon=0$ ;  $\sigma=3$ . В таблице 3.5 представлен результат до и после оптимизации для «норм-равн».

Таблица 3.5 – Результаты оптимизации параметров для «норм-равн»

Исходные результаты	Результаты после оптимизации
$P_{yi} = 0,900694561401055$ $P_{0i} = 0,965509257848525$ $D_{0i} = 0,900331464322975$ $D_{1i} = 0,0341276450733945$ $a_i = 0,0651777935255503$ $b_i = 0,000363097078080243$ $a_i + b_i = 0,0655408906036306$	$P_{yi} = 0,992934706585976$ $P_{0i} = 0,995393343379819$ $D_{0i} = 0,991665492343941$ $D_{1i} = 0,00333744237814559$ $a_i = 0,00372785103587792$ $b_i = 0,0012692142420353$ $a_i + b_i = 0,00499706527791322$

В результате оптимизации суммарный риск уменьшен на 0.06054382532.

#### 4 Вывод

В результате выполнения лабораторной работы выполнено исследование зависимостей инструментальной достоверности и ошибок контроля измерительно-вычислительных комплексов от видов и характеристик параметров распределений вероятностей контролируемых сигналов и погрешностей измерения, параметров и свойств системы контроля и метода ее оптимизации по критериям В.А. Котельникова и Неймана-Пирсона. Результаты расчета по критериям Котельникова и Неймана-Пирсона совпали, что свидетельствует об их одинаковой точности.

Расчеты достоверности контроля для границ диапазона рассматриваемых параметров (DL - поле допуска [12.3; 17.3],  $\eta$  - систематическая погрешность измерения [1.7; 2.1],  $\varepsilon$  - изменение поля допуска [1.3; 1.5],  $\sigma$  – СКО сигнала [3.4; 3.6]) показали, что при условии того, что на рассматриваемом интервале функции зависимости суммарного риска от параметров монотонны, то:

##### 1. Для закона распределения «норм-норм» нужно

Увеличить: параметр DL - поле допуска.

Уменьшить:  $\eta$  - систематическая погрешность измерения;  $\varepsilon$  - изменение поля допуска,  $\sigma$  – СКО сигнала.

##### 2. Для закона распределения «норм-равн» нужно

Увеличить: параметр DL - поле допуска.

Уменьшить:  $\varepsilon$  - изменение поля допуска,  $\sigma$  – СКО сигнала.

В результате оптимизации по экстремумам были выбраны следующие значения параметров:

DL=17;  $\eta=0$ ;  $\varepsilon=0$ ;  $\sigma=1.5$  для закона распределения «норм-норм»,

DL=17;  $\varepsilon=0$ ;  $\sigma=3$  для закона распределения «норм-равн».

Таким образом в результате проведенной оптимизации для закона распределения «норм-норм» суммарный риск  $a_i + b_i = 2,41695425810541E-6$  (уменьшен на 0.12158951478), а для закона распределения «норм-равн»  $a_i + b_i = 0,00499706527791322$  (уменьшен на 0.06054382532).