



### Формирователь

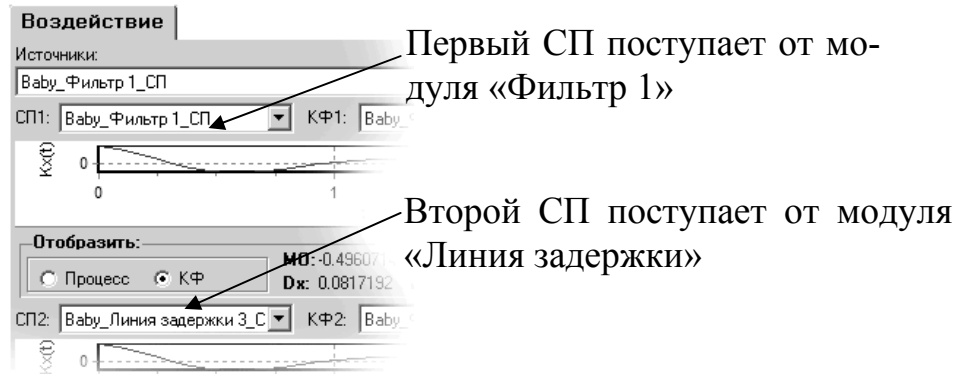


Рисунок 3.10. Выбор буферов данных с исходными СП

Взаимную корреляционную функцию указанной пары процессов можно рассчитать в модуле «Формирователь ВКФ», установив предварительно число точек левой и правой ветвей графика (см. рис. 3.11).



### Формирователь

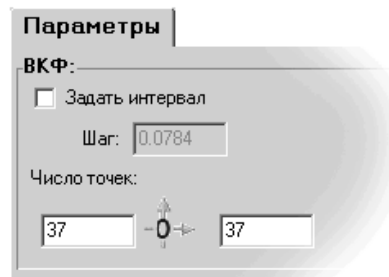


Рисунок 3.11. Установка параметров ВКФ

По завершению настройки системы необходимо нажать кнопку «Вычислить сеть». При этом в модуле «Источник СП» сгенерируется «белый шум», в модулях фильтров полученный «белый шум» подвергнется фильтрации, а СП на выходе фильтров будут иметь заданный вид КФ. В модуле «Формирователь ВКФ» будет определена взаимная КФ (см. рис. 3.12).



### Формирователь ВКФ

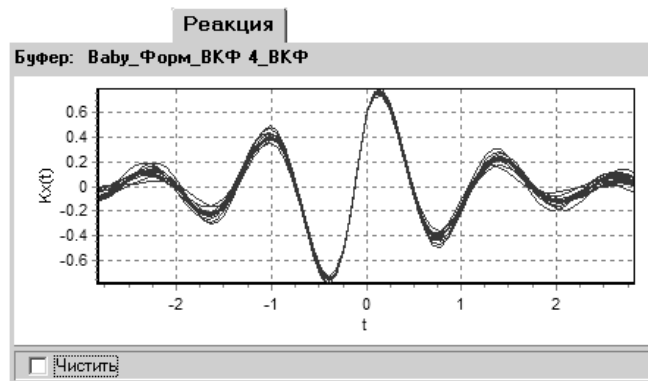


Рисунок 3.12. ВКФ, определенная в модуле «Формирователь ВКФ»

Суть лабораторной работы состоит в последовательном выполнении 29 экспериментов по генерации пары процессов и расчету их КФ с накоплением сведений об ошибке оценки КФ. Таким образом, результатом работы станет получение методической погрешности оценки КФ методом имитационного моделирования.

Если ведется база данных, необходимо подключить систему, вызвав пункт меню «База данных/Подсоединить...». В этом случае на вкладке «Система» необходимо создать свою систему, нажав на кнопку «Добавить систему в БД» и указав в качестве названия свою фамилию. После вычисления системы результат необходимо сохранить в БД.

После проведения 29 экспериментов результаты будут отображены на вкладке «Модуль».

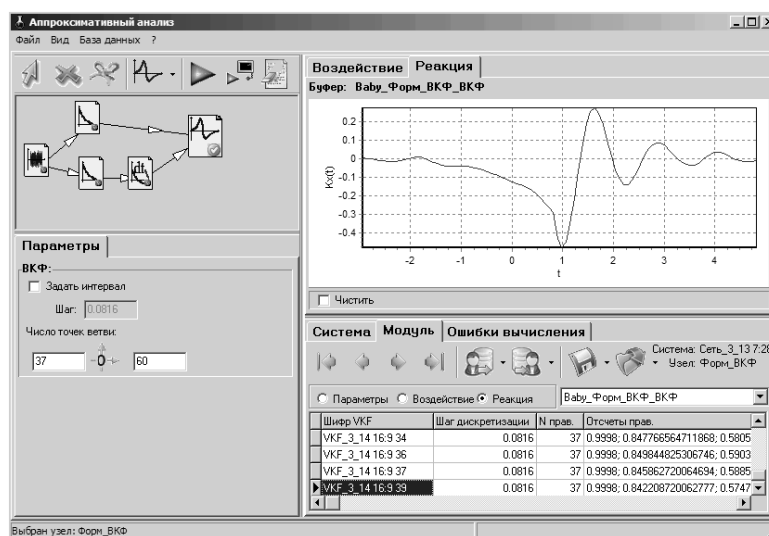


Рисунок 3.13. База данных взаимной корреляционной функции

В случае отсутствия базы данных необходимо вручную заполнить таблицу, пример которой приведен ниже:

#### Результаты моделирования

Таблица 3.2

Номер эксперимента	1	2	3	4	5	6	7
СКО	0,1455	0,1509	0,1492	0,1636	0,1606	0,1736	0,1743
Мах погрешность	0,131	0,1245	0,1229	0,129	0,1222	0,125	0,1292
Номер эксперимента	8	9	10	11	12	13	14
СКО	0,1616	0,1552	0,1806	0,1521	0,178	0,156	0,1915
Мах погрешность	0,121	0,1234	0,1235	0,1211	0,1319	0,1239	0,1285
Номер эксперимента	15	16	17	18	19	20	21
СКО	0,1501	0,1436	0,1425	0,16	0,1531	0,1592	0,1447
Мах погрешность	0,124	0,1265	0,1312	0,1279	0,1227	0,1235	0,1241

Номер эксперимента	22	23	24	25	26	27	28
СКО	0,2107	0,216	0,1916	0,1521	0,1466	0,1439	0,1777
Мах погрешность	0,1244	0,1289	0,1194	0,1276	0,126	0,1321	0,1243
Номер эксперимента	29						
СКО	0,1652						
Мах погрешность	0,1298						

После подсчета погрешностей матожидание СКО составит 0,1638, максимальная погрешность – 0,1321. Последнее значение – методическая погрешность, полученная методом имитационного моделирования.

На рисунке 3.14 приведены взаимные корреляционные функции для рассматриваемых модулей при разном объеме выборки. Особо отметим совпадение функций на начальном участке в случае малого числа отсчетов исходного случайного процесса.

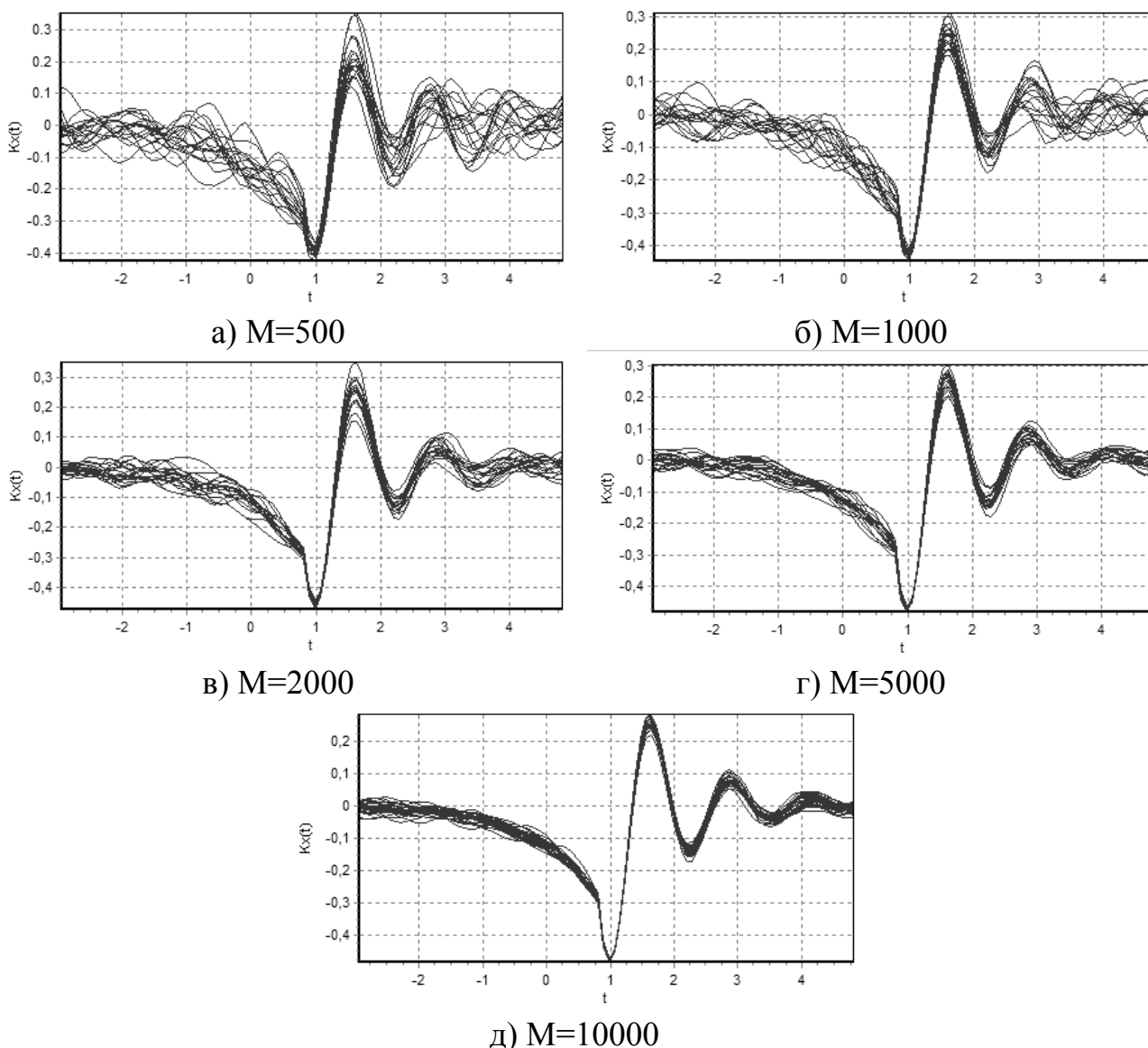


Рисунок 3.14. Взаимные корреляционные функции при объеме выборки  $M$

### 3.2.2. Задание на самостоятельную работу

1. Получить задание: вид пары автокорреляционных функций, значения их параметров.
2. Составить систему для выполнения преобразований, требуемых при получении указанной в задании пары случайных процессов. Настроить модули.
3. Определить интервал дискретизации.
4. Сгенерировать «белый шум».
5. Получить пару процессов с заданным видом КФ.
6. Оценить ВКФ.
7. Занести погрешности в БД. (В случае отсутствия БД оформить таблицу 3.2).
8. Повторить пункты 3-6 29 раз.
9. Определить погрешность моделирования пары процессов методом имитационного моделирования.
10. Оформить отчет.

### 3.2.3. Содержание отчета

1. Задание.
2. Цель работы.
3. Схема системы.
4. Метод и алгоритм моделирования коррелированных временных рядов с заданным преподавателем видом корреляционной функции.
5. Импульсная характеристика формирующего фильтра (приложение 3).
6. Примеры реализации коррелированных временных рядов для объема выборки  $M=5000$  и соответствующих им корреляционных функций.
7. Погрешности генерирования коррелированных временных рядов для  $N=500, 1000, 2000, 5000$ , представленные в табличной форме (количество реализаций для каждого модельного эксперимента равно 29). Интервал дискретизации выбрать для восстановления корреляционной функции с погрешностью  $\delta = 0,02$ .
8. Графические зависимости погрешности генерирования от объема выборки  $M=500, 1000, 2000, 5000$ .
9. Выводы по работе.

### 3.2.4. Контрольные вопросы

1. Какие модели корреляционных функций наиболее часто принимают, чем обоснован этот выбор?
2. Какие критерии применяются в качестве критериев приближения?
3. Что характеризует показатель колебательности корреляционной функции?
4. В чем заключается методика оценки качества генерирования случайного процесса с заданным видом корреляционной функции?
5. Каким требованиям должны отвечать математические модели при аналитическом исследовании поведения реальных динамических систем?

### 3.3. Аппроксимация взаимной корреляционной функции ортогональными функциями

**Цель работы:** изучение методов аппроксимации взаимной корреляционной функции ортогональными функциями Лагерра, Лежандра, Дирихле.

#### 3.3.1. Содержание лабораторной работы

Лабораторная работа включает в себя генерацию пары процессов с равномерной дискретизацией, определение взаимной корреляционной функции и аппроксимацию ВКФ ортогональными функциями Лагерра, Лежандра или Дирихле (ортогональный базис задается преподавателем). Она основана на первых двух работах, поэтому часть, посвященная получению пары процессов с равномерной дискретизацией, считается изученной и здесь опущена. В предлагаемом примере следует установить задержку для второго процесса на 10 интервалов дискретизации.

Итак, после генерации пары процессов взаимная корреляционная может быть определена, как показано на рис. 3.15.

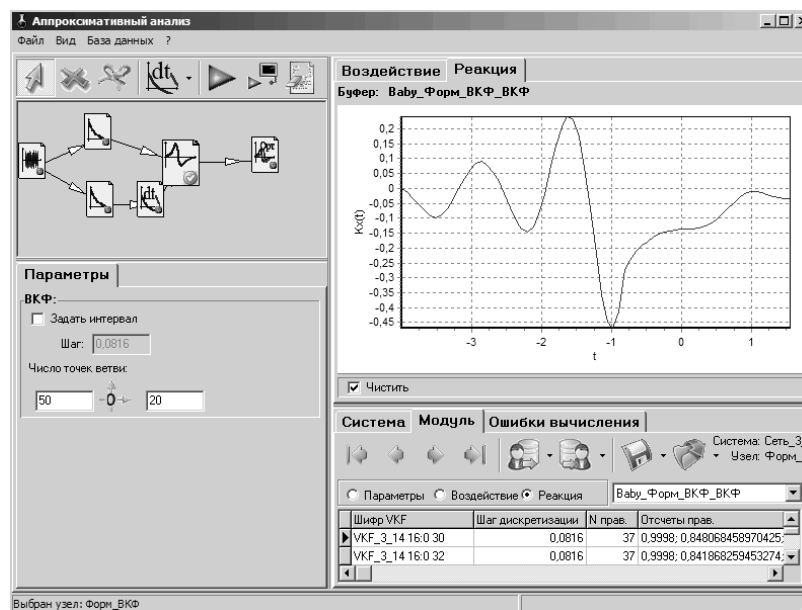


Рисунок 3.15. Взаимная корреляционная функция

Выделим функциональный модуль «Ортогональный фильтр» и определим параметры аппроксимирующего выражения Лагерра для этой функции. Для этого следует установить флажок «b\_k» и «Мах в нуль». Далее необходимо подобрать параметры аппроксимирующего выражения. Необходимо установить рекомендуемый метод интегрирования Симпсона в соответствующем окне. После нажатия на кнопку  $\alpha$  необходимо рассчитать рекомендуемые значения сначала для  $\alpha$  – параметра масштаба ортогональных функций, затем для числа членов разложения  $m$  (кнопка  $m$ ). Для некоторого круга функций значение  $\alpha$ , определяемое методом, используемым в системе (он указан в описании систе-

мы), не является оптимальным. Этот метод позволяет «акцентировать» внимание на начале функции и при достаточно небольшом числе членов разложения получить удовлетворительную аппроксимацию. Однако в некоторых случаях необходимо точно подобрать выражение и для «хвоста» функции. Поэтому рекомендуем на основе предложенного значения  $\alpha$  подобрать параметр, при котором среднеквадратическая погрешность аппроксимации ветви будет минимальной.

Следующим шагом является выбор числа членов разложения. Здесь нужно задать интервал, в котором производится поиск оптимального числа. График погрешности при различном числе членов разложения можно посмотреть при установленном флаге «Ошибка» на вкладке «Реакция».

Для указанного варианта картина аппроксимации представлена на рис. 3.16, а коэффициенты разложения сведены в таблицу 3.3.

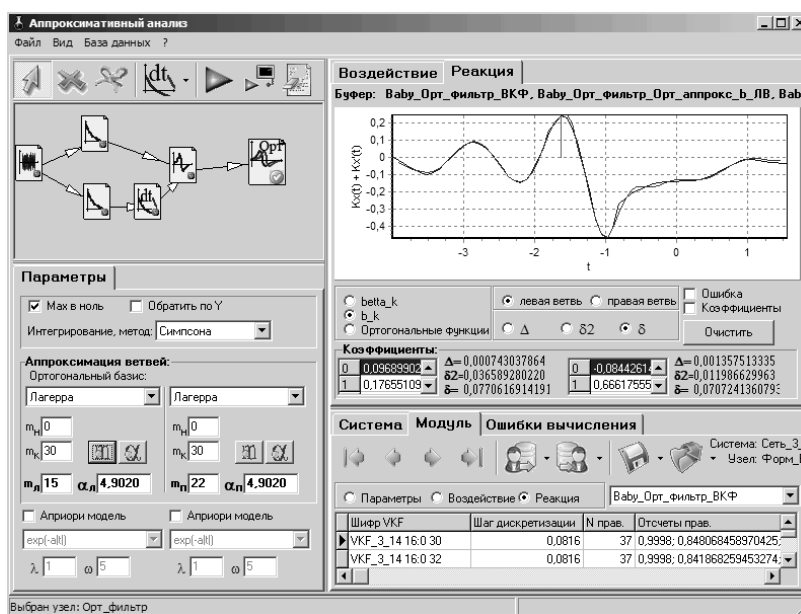


Рисунок 3.16. Результаты аппроксимации взаимной корреляционной функции ортогональными функциями Лагерра

Коэффициенты разложения

Таблица 3.3

Коэффициент	Ветвь	
	Правая	Левая
1	2	3
$\beta_0$	0.09689902	-0.08442614
$\beta_1$	0.17655109	0.66617555
$\beta_2$	-0.03205	-0.009848
$\beta_3$	-0.115767	-0.097262
$\beta_4$	-0.107133	-0.098377
$\beta_5$	-0.06857	-0.069211
$\beta_6$	-0.02587	-0.030672
$\beta_7$	0.006909	-7.97E-4

1	2	3
$\beta_8$	0.027949	0.018734
$\beta_9$	0.038286	0.024096
$\beta_{10}$	0.042234	0.023561
$\beta_{11}$	0.261934	0.214394
$\beta_{12}$	-0.020403	0.02317
$\beta_{13}$	-0.11537	-0.106237
$\beta_{14}$	-0.116341	-0.107174
$\beta_{15}$		-0.100641
$\beta_{16}$		-0.050402
$\beta_{17}$		-0.010177
$\beta_{18}$		0.025463
$\beta_{19}$		0.040931
$\beta_{20}$		0.043587
$\beta_{21}$		0.035321
$\beta_{22}$		0.035321

Зависимость погрешности от числа членов разложения ряда при заданном значении  $\alpha$  для правой ветви приведена на рис. 3.17.

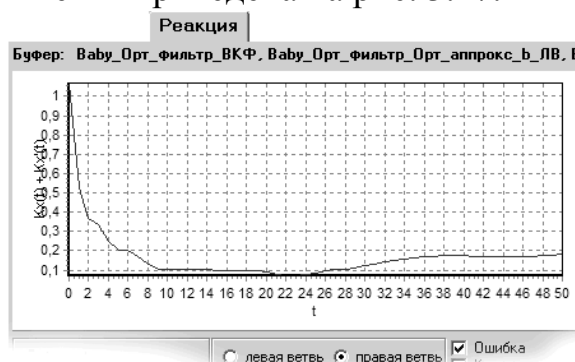


Рисунок 3.17. График ошибок правой ветви

Видно, что при большом числе членов разложения погрешность меняется незначительно, поэтому можно выбрать и меньшее значение параметра масштаба  $\alpha$ .

На рис. 3.18 приведен пример аппроксимации при ручном подборе параметра масштаба  $\alpha$ . Как следует из рисунка, уменьшение значения параметра масштаба  $\alpha$  приводит к увеличению числа членов разложения ряда.

Коэффициенты разложения

Таблица 3.4

Коэффициент	Ветвь	
	Правая	Левая
1	2	3
$\beta_0$	0,08894563	-0,16209835
$\beta_1$	0,11059057	0,64090021
$\beta_2$	0,289903	0,066145

1	2	3
$\beta_3$	-0,131137	0,023891
$\beta_4$	0,016738	0,053947
$\beta_5$	0,035066	0,005447
$\beta_6$	-0,029962	-0,040354
$\beta_7$	-0,021094	-0,030148
$\beta_8$	0,016986	0,001867
$\beta_9$	0,017375	0,017026
$\beta_{10}$	-0,009295	0,011696
$\beta_{11}$	-0,023233	0,000983
$\beta_{12}$	-0,012389	-0,004291
$\beta_{13}$	0,005639	-0,003669
$\beta_{14}$	0,011285	-0,001402
$\beta_{15}$	0,001467	-0,000418
$\beta_{16}$	-0,012943	-0,000824
$\beta_{17}$	-0,019981	-0,001520
$\beta_{18}$	-0,015979	-0,001945
$\beta_{19}$		-0,002464
$\beta_{20}$		-0,003685
$\beta_{21}$		-0,005726
$\beta_{22}$		-0,008045
$\beta_{23}$		-0,009847
$\beta_{24}$		-0,010640
$\beta_{25}$		-0,010535
$\beta_{26}$		-0,010148
$\beta_{27}$		-0.010213

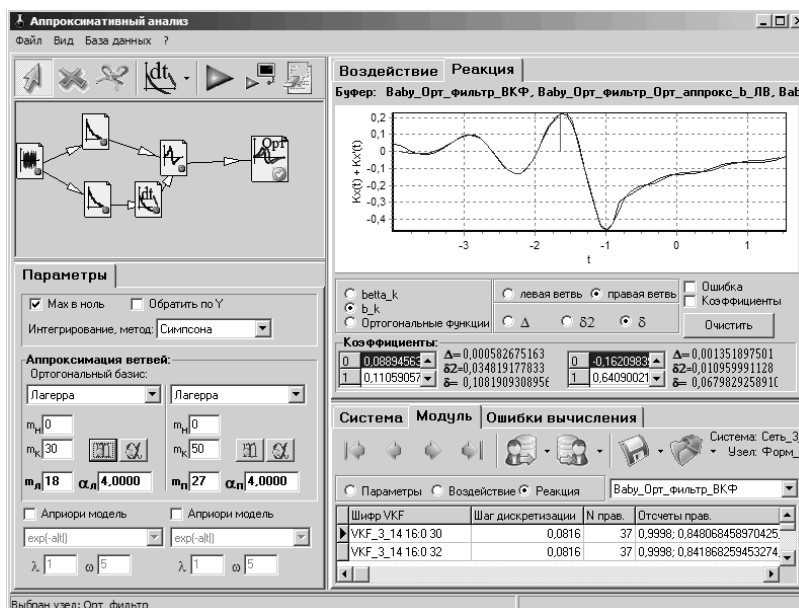


Рисунок 3.18. Результаты аппроксимации



Суть работы состоит в проведении 29 экспериментов аппроксимации взаимных корреляционных функций процессов, полученных после фильтрации 29 разных псевдослучайных последовательностей «белый шум». Необходимо определить методическую погрешность аппроксимации функциями Лагерра, Лежандра или Дирихле (в зависимости от задания) при помощи базы данных, либо вручную. Результаты эксперимента приведены в таблице 3.5.

Погрешность аппроксимации

Таблица 3.5

Номер эксперимента	1	2	3	4	5	6	7
СКО	0,0521	0,0393	0,0699	0,0481	0,0382	0,0465	0,0644
	0,0359	0,0618	0,0474	0,0879	0,0783	0,0751	0,0436
Мах погрешность	0,0426	0,0394	0,0421	0,0410	0,0403	0,0401	0,0437
	0,0145	0,0384	0,0404	0,0086	0,0470	0,0449	0,0140
Номер эксперимента	8	9	10	11	12	13	14
СКО	0,0315	0,0660	0,0447	0,0412	0,0533	0,0433	0,0370
	0,0787	0,0385	0,0607	0,0898	0,0511	0,0703	0,0809
Мах погрешность	0,0350	0,0422	0,0379	0,0374	0,0427	0,0401	0,0388
	0,0413	0,0292	0,0433	0,0464	0,0249	0,0421	0,0158
Номер эксперимента	15	16	17	18	19	20	21
СКО	0,0362	0,0428	0,0320	0,0523	0,0403	0,0419	0,0753
	0,0733	0,0585	0,0710	0,0513	0,0898	0,0933	0,0346
Мах погрешность	0,0367	0,0413	0,0324	0,0434	0,0392	0,0397	0,0429
	0,0391	0,0365	0,0370	0,0404	0,0392	0,0465	0,0260
Номер эксперимента	22	23	24	25	26	27	28
СКО	0,0325	0,0453	0,0483	0,0333	0,0500	0,0379	0,0595
	0,0877	0,0744	0,0516	0,0745	0,0375	0,0698	0,0604
Мах погрешность	0,0366	0,0406	0,0408	0,0365	0,0409	0,0392	0,0438
	0,0360	0,0400	0,0132	0,0373	0,0114	0,0487	0,0143
Номер эксперимента	29						
СКО	0,0451						
	0,0500						
Мах погрешность	0,0418						
	0,0231						

После подсчета погрешностей матожидание СКО составит 0,0556, максимальная погрешность – 0,0487.

Отметим, что погрешность, вызванная такими параметрами, как, например, конечность выборки исходного «белого шума», и погрешность аппроксимации могут компенсировать друг друга.

### 3.3.2. Задание на самостоятельную работу

1. Получить задание: вид функций, параметры, ортогональный базис.
2. Определить интервал дискретизации, сгенерировать «белый шум», получить пару процессов с равномерной дискретизацией.
3. Оценить ВКФ и построить аналитический график.
4. Аппроксимировать ВКФ ортогональными функциями и занести результаты аппроксимации с указанием погрешностей в БД. (В случае отсутствия БД оформить таблицу.)
5. Повторить процедуру аппроксимации для 29 разных генераций «белого шума».
6. Определить методическую погрешность аппроксимации ВКФ методом имитационного моделирования.
7. Оформить отчет.

### 3.3.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Метод и алгоритмы аппроксимации корреляционных функций ортогональными функциями.
3. График полученной ВКФ и аппроксимирующего выражения для пары СП с равномерной дискретизацией.
4. Результаты имитационного моделирования.
5. Выводы по работе.

### 3.3.4. Контрольные вопросы

1. В чем заключается специфика выбора вида модели и оценки ее параметров при аппроксимации взаимных корреляционных функций?
2. Из каких этапов состоит алгоритм аппроксимации ортогональными функциями?
3. Какие параметры характеризуют ортогональное разложение корреляционной функции?
4. Какие данные необходимо сохранять при аппроксимации взаимных корреляционных функций ортогональными функциями?
5. Как определить интервал корреляции при аппроксимации ортогональными функциями? Рассмотреть случай аппроксимации автокорреляционных функций.
6. Из каких соображений выбирается начальное приближение параметра масштаба ортогональных функций?
7. Почему увеличение числа членов разложения ортогонального ряда не всегда приводит к уменьшению погрешности аппроксимации?
8. В чём заключается основное «неудобство» ортогональных разложений?
9. Каким образом оценивается погрешность аппроксимации, вызванная конечным числом членов ряда, если используется критерий минимума квадратической погрешности?

10. Какие факторы учитываются при анализе составляющих методической оценки погрешности, вносимой определением коэффициентов разложения?

### 3.4. Аппроксимативный корреляционно-спектральный анализ экспериментальных данных

**Цель работы:** приобретение навыков корреляционно-спектрального анализа данных, получаемых в ходе эксперимента.

#### 3.4.1. Содержание лабораторной работы

Лабораторная работа включает в себя генерацию пары процессов с определением интервала дискретизации и взаимной корреляционной функции. После чего ВКФ подвергается аппроксимации, по полученным коэффициентам которой определяется спектральная плотность мощности.

Для выполнения работы необходимо собрать систему функциональных модулей, показанную на рис. 3.19.

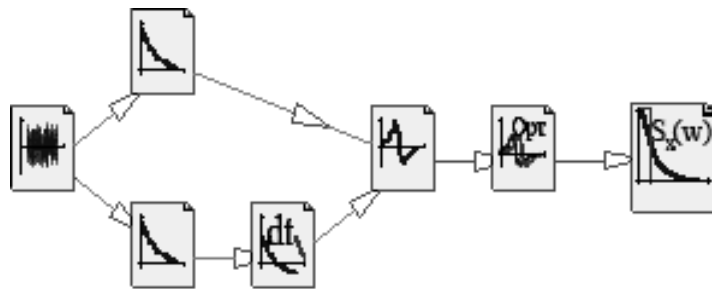


Рисунок 3.19. Система функциональных модулей

В начале работы с помощью функционального модуля «Источник СП» генерируется «белый шум». При этом необходимо выбрать интервал дискретизации на основе информации об используемых фильтрах.

Например, для заданных функций  $e^{-\lambda_5|\tau|} \cos \omega_{0,5}\tau$  и  $e^{-\lambda_7|\tau|} \left( \cos \omega_{0,7}\tau - \frac{\lambda_7}{\omega_{0,7}} \sin \omega_{0,7}\tau \right)$  определение интервала дискретизации выглядит так:

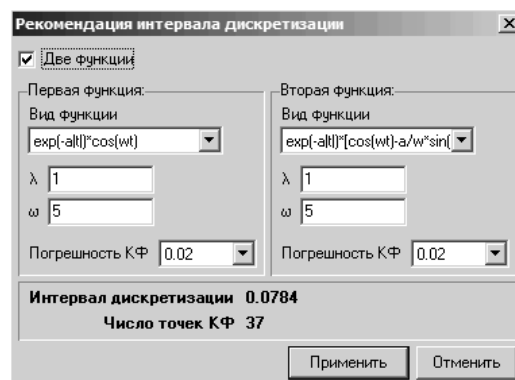


Рисунок 3.20. Рекомендации по выбору интервала дискретизации

После этого результирующий «белый шум» подается в модули «Фильтр 1» и «Фильтр 2», где на вкладке «Параметры» устанавливаются требуемые функции (см. рис. 3.21).



Рисунок 3.21. Рекомендации по выбору модели КФ

В модуле «Линия задержки» установите количество интервалов в 0. Рекомендуем попробовать изменить задержку процесса и определить влияние задержки на взаимную корреляцию процессов. Задержка задается длительностью интервала и количеством интервалов. Таким образом, предоставлена возможность наглядно задавать задержку, кратную интервалу дискретизации.

Для определения ВКФ процессов, поступающих от фильтра и линии задержки, на вкладке «Воздействие» необходимо задать буферы данных с исходными СП (см. рис. 3.22).

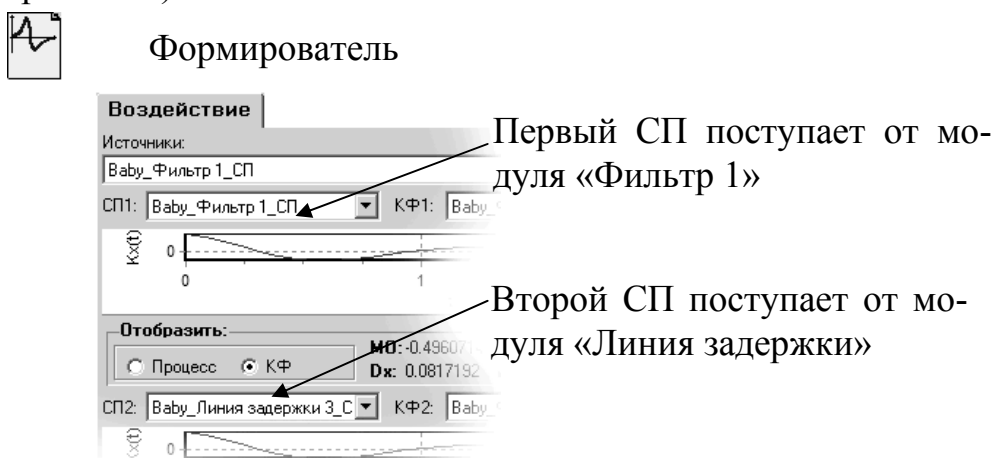


Рисунок 3.22. Выбор буферов данных с исходными СП

Взаимную корреляционную функцию указанной пары процессов можно рассчитать в модуле «Формирователь ВКФ», установив предварительно число точек левой и правой ветвей графика (см. рис. 3.23).

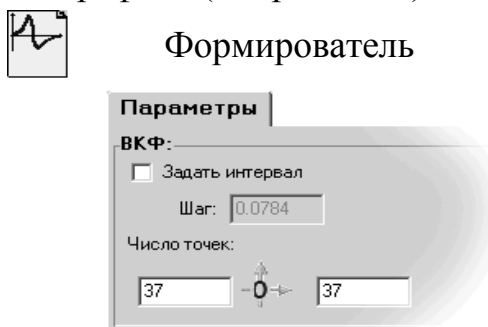


Рисунок 3.23. Установка параметров ВКФ

По завершению настройки системы необходимо нажать кнопку «Вычислить сеть». При этом в модуле «Источник СП» сгенерируется «белый шум», модулях фильтров пройдет через фильтр, а СП будут иметь заданный вид КФ. В модуле «Формирователь ВКФ» будет определена взаимная КФ (см. рис. 3.24).

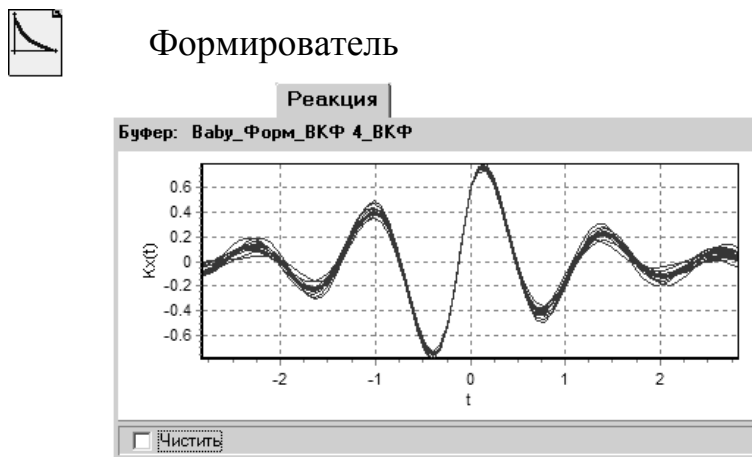


Рисунок 3.24. ВКФ, определенная в модуле «Формирователь ВКФ»

Взаимная корреляционная функция, определенная в модуле «Формирователь ВКФ», передается в модуль «Ортогональный фильтр», где определяется ее оценка. Коэффициенты ряда Фурье, вычисленные в модуле «Ортогональный фильтр», передаются в модуль «Формирователь спектра». Функциональный модуль «Формирователь спектра» позволяет определить спектральную плотность мощности по коэффициентам аппроксимирующего выражения.

Суть лабораторной работы состоит в последовательном выполнении 29 экспериментов по аппроксимации ВКФ и последующему определению спектральной плотности мощности с накоплением сведений об ошибке оценки спектральной плотности мощности. Таким образом, результатом работы станет получение методической погрешности оценки спектральной плотности мощности методом имитационного моделирования.

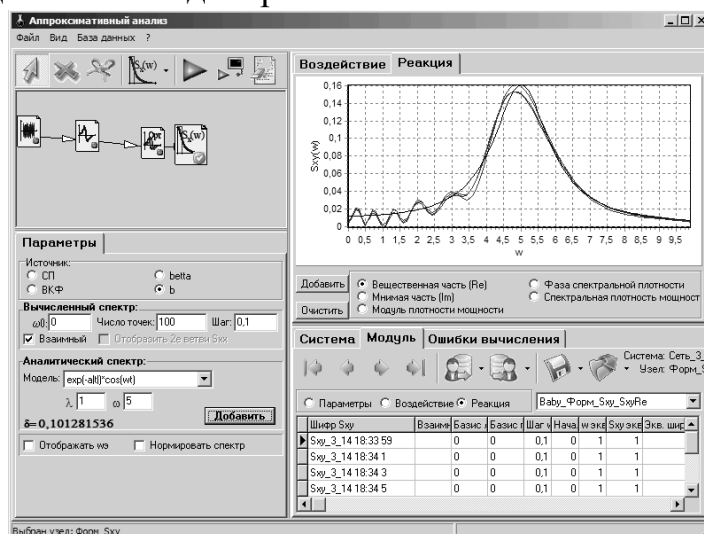


Рисунок 3.25. База данных спектральной плотности мощности

Если ведется база данных, необходимо подключить систему, вызвав пункт меню «База данных/Подсоединить...». В этом случае на вкладке «Систе-

ма» необходимо создать свою систему, нажав на кнопку «Добавить систему в БД» и указав в качестве названия свою фамилию. После вычисления системы результат необходимо сохранить в БД.

После проведения 29 экспериментов результаты будут отображены на вкладке «Модуль».

В случае отсутствия базы данных необходимо вручную заполнить таблицу, пример которой приведен ниже:

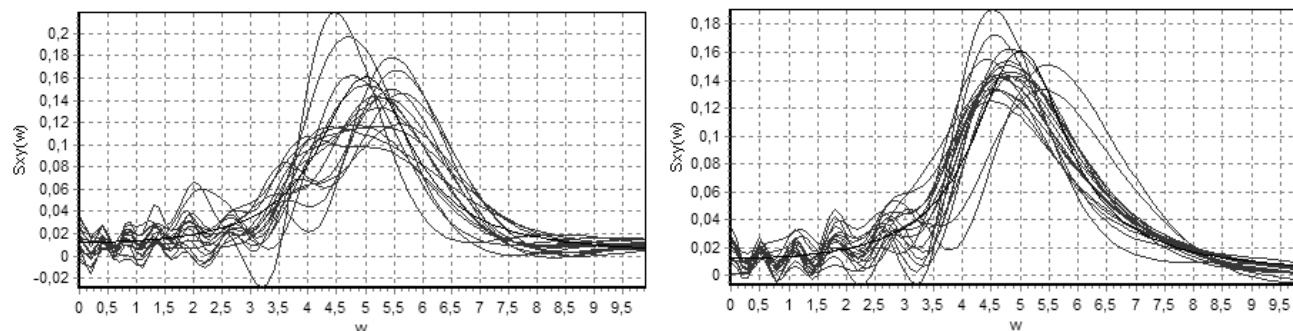
### Результаты моделирования

Таблица 3.6

Номер эксперимента	1	2	3	4	5	6	7
СКО	0,1455	0,1509	0,1492	0,1636	0,1606	0,1736	0,1743
Мах погрешность	0,131	0,1245	0,1229	0,129	0,1222	0,125	0,1292
Номер эксперимента	8	9	10	11	12	13	14
СКО	0,1616	0,1552	0,1806	0,1521	0,178	0,156	0,1915
Мах погрешность	0,121	0,1234	0,1235	0,1211	0,1319	0,1239	0,1285
Номер эксперимента	15	16	17	18	19	20	21
СКО	0,1501	0,1436	0,1425	0,16	0,1531	0,1592	0,1447
Мах погрешность	0,124	0,1265	0,1312	0,1279	0,1227	0,1235	0,1241
Номер эксперимента	22	23	24	25	26	27	28
СКО	0,2107	0,216	0,1916	0,1521	0,1466	0,1439	0,1777
Мах погрешность	0,1244	0,1289	0,1194	0,1276	0,126	0,1321	0,1243
Номер эксперимента	29						
СКО	0,1652						
Мах погрешность	0,1298						

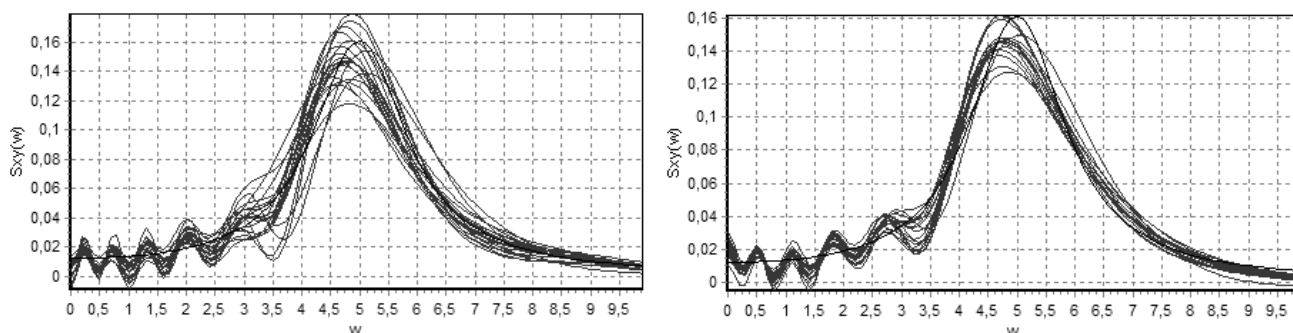
После подсчета погрешностей матожидание СКО составит 0,1638, максимальная погрешность – 0,1321. Последнее значение – методическая погрешность, полученная методом имитационного моделирования.

На рисунке 3.26 приведены спектральные плотности мощности для рассматриваемых модулей при разном объеме выборки.



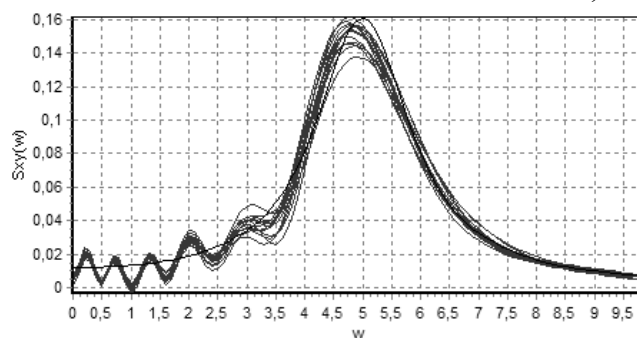
а)  $M=500$

б)  $M=1000$



в) M=2000

г) M=5000



д) M=10000

Рисунок 3.26. Взаимные спектральные плотности мощности при объеме выборки M

Результаты аппроксимации ортогональными функциями Лагерра (интерпретация файла отчета)

Таблица 3.7

Наименование	Эксперимент	
	первый	второй
1	2	3
$\alpha$	5.9059	13.2626
$\beta_{0,n}$	0.990879	0.997665
$\beta_{1,n}$	0.243135	0.242111
$\beta_{2,n}$	-0.03205	-0.009848
$\beta_{3,n}$	-0.115767	-0.097262
$\beta_{4,n}$	-0.107133	-0.098377
$\beta_{5,n}$	-0.06857	-0.069211
$\beta_{6,n}$	-0.02587	-0.030672
$\beta_{7,n}$	0.006909	-7.97E-4
$\beta_{8,n}$	0.027949	0.018734
$\beta_{9,n}$	0.038286	0.024096
$\beta_{10,n}$	0.042234	0.023561
$\alpha$	5.4325	14.7495
$\beta_{0,n}$	0.991421	0.991763
$\beta_{1,n}$	0.261934	0.214394

1	2	3
$\beta_{2,l}$	-0.020403	0.02317
$\beta_{3,l}$	-0.11537	-0.106237
$\beta_{4,l}$	-0.116341	-0.107174
$\beta_{5,l}$	-0.082487	-0.100641
$\beta_{6,l}$	-0.040315	-0.050402
$\beta_{7,l}$	-0.005122	-0.010177
$\beta_{8,l}$	0.019218	0.025463
$\beta_{9,l}$	0.03231	0.040931
$\beta_{10,l}$	0.037568	0.043587
$\beta_{11,l}$	0.037587	0.035321
$\tau_m$	7.964444	2.465188
$K_{axy}(\tau_m)$	0.989983	0.431741
$m$	11	10
$\tau_{kxy}^{(2)}$	0.541491	0.236601
$\tau_{kxy}^{(4)}$	0.383161	0.154083

### 3.4.2. Задание на самостоятельную работу

1. Получить задание: файл с аппроксимируемой функцией или таблицу значений (график). В последнем случае необходимо создать файл, пользуясь описанием форматов файлов в приложении.
2. Аппроксимировать функцию ортогональными функциями Лагерра, Лежандра, Дирихле. Подобрать значения параметров, минимизируя среднеквадратическую погрешность аппроксимации. Создать файл отчета.
3. По параметрам аппроксимирующих выражений определить преобразование Фурье от функции.
4. Оформить отчет.

### 3.4.3. Содержание отчета

1. Задание.
2. Цель работы.
3. Графики, иллюстрирующие аппроксимацию. В том числе привести графики неудачных результатов аппроксимации (в случае их наличия).
4. Графики спектральных плотностей мощности, полученных по коэффициентам аппроксимирующих выражений.
5. Выводы по работе.

### 3.4.4. Контрольные вопросы

1. Какие характеристики относятся к обобщенным спектральным характеристикам?



2. В чем заключается физический смысл интервалов корреляции?
3. В чем заключается физический смысл показателя колебательности?
4. Назовите методы определения эквивалентной ширины спектра мощности случайного процесса.
5. Какие процессы относятся к широкополосным случайным процессам?
6. Какие процессы относятся к узкополосным случайным процессам?
7. В чем заключается специфика определения эквивалентной ширины спектра мощности узкополосного процесса?
8. В чем заключается специфика аппроксимации спектральных плотностей мощности?
9. Какие параметры описывают ортогональное разложение спектральной плотности мощности?
10. Приведите методику аппроксимации взаимных спектральных плотностей мощности ортогональными функциями.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрен широкий круг задач аппроксимативного корреляционно-спектрального анализа с использованием ортогональных функций Лагерра, Лежандра, Дирихле:

1. разработаны алгоритмы для оценки авто и взаимных корреляционных функций и спектральных плотностей мощности в указанных базисах;
2. определены аналитические выражения для оценки параметра масштаба ортогональных функций, обеспечивающих допустимые погрешности аппроксимации;
3. определены аналитические выражения коэффициентов разложения ортогональных моделей, используемых при аппроксимации типовых моделей корреляционных функций и анализе методических погрешностей аппроксимации;
4. проведен анализ методических погрешностей аппроксимации корреляционных функций, вызванных конечностью числа членов ряда Фурье, ограничением на модель корреляционной функции, неточностью вычисления коэффициентов разложения;
5. найдены аналитические выражения для ряда обобщенных корреляционных характеристик.

Разработанные алгоритмы аппроксимативного корреляционно-спектрального анализа легли в основу программного комплекса, с помощью которого возможно решение задач:

1. аппроксимации авто и взаимных корреляционных функций и спектральных плотностей мощности ортогональными функциями Лагерра, Лежандра, Дирихле;
2. оценки обобщенных корреляционных характеристик (интервалов корреляции);
3. анализа методических погрешностей аппроксимации корреляционных функций;
4. анализа аналоговых сигналов, регистрируемых с помощью устройств сопряжения ЭВМ.

На базе программного комплекса разработан лабораторный практикум, который может быть использован при изучении базовых дисциплин, связанных с моделированием и статистической обработкой случайных процессов, а также при проведении научных исследований. В предлагаемом лабораторном практикуме рассмотрены вопросы моделирования случайных процессов с заданными вероятностными характеристиками, а также аппроксимативного корреляционно-спектрального анализа временных рядов ортогональными функциями Лагерра, Лежандра, Дирихле, удовлетворяющими минимуму квадратической погрешности аппроксимации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авдеев Б.Я., Антонюк Е.М., Долинов С.Н., Журавин Л.Г., Семенов Е.И., Фремке А.В. Адаптивные телеизмерительные системы. – Л.: Энергоатомиздат, 1981. – 246 с.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540 с.: ил.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. – 5-е изд. стер. – М.: Высш. шк., 1998. – 576 с.: ил.
4. Гадзиковский В.И. Теоретические основы цифровой обработки сигналов. – М.: Радио и связь, 2004. – 344 с.: ил.
5. Гайдышев И. Анализ и обработка данных: специальный справочник – СПб: Питер, 2001. – 752 с.: ил.
6. Качмаж С., Штейнгауз Г. Теория ортогональных рядов. – М.: Наука, 1958. – 508 с.
7. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). – СПб.: Издательство «Лань», 2003. – 832 с.
8. Методы нормирования метрологических характеристик, оценки и контроля характеристик погрешностей средств статистических измерений. РТМ 25 139-74//Минприбор. – 1974. – 76 с.
9. Миддлтон Д. Введение в статистическую теорию связи – М.: Советское радио, 1962. – 831 с.
10. Мирский Г.Я. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов. Изд. 2-е переработ. и доп. – М.: «Энергия», 1972.
11. Прохоров С. А. Математическое описание и моделирование случайных процессов. – СГАУ, 2001 - 329 с.: ил.
12. Прохоров С. А., Иващенко А.В., Графкин А.В.; Под ред. Прохорова С.А. Автоматизированная система корреляционно-спектрального анализа случайных процессов. – СНИЦ РАН, 2003. – 286 с.: ил.
13. Прохоров С.А. Аппроксимативный анализ случайных процессов. – 2-е изд., перераб. и доп./ СНИЦ РАН, 2001. – 380с.: ил.
14. Прохоров С.А. Исследование и разработка методов и аппаратуры для аппроксимации корреляционных функций функциями заданного вида. – Дисс. ... канд. тех. наук – Куйбышев: 1974. – 126 с.
15. Прохоров С.А. Моделирование и анализ случайных процессов. Лабораторный практикум. – 2-е изд., переработанное и дополненное/ СНИЦ РАН, 2002. – 277 с.: ил.
16. Пугачев В.С. Введение в теорию вероятностей. - Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1968. - 368 стр.
17. Романенко А.Ф., Сергеев Г.А. Вопросы прикладного анализа случайных процессов. – М.: Сов. Радио, 1968. – 256 с.
18. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.: ил.
19. Суэтин П.К. Классические ортогональные многочлены. – М.: Наука, 1976. – 328 с.

20. Фронковьяк Д., Гарсиа М., Уолен Э. Руководство администратора Microsoft SQL Server 7.0/Пер. с англ. – М.: Издательско-торговый дом «Русская Редакция», 2000. – 672 с.: ил.
21. Цветков Э.И. Основы теории статистических измерений. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отделение, 1982. – 256 с.
22. Эммануил С., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992 с. : ил. – Парал. тит. англ.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Автоматизированный комплекс структурная схема	108	Процесс стационарный	21
Автоматизированный комплекс функции	88	- эргодический	21
Аппаратные требования к системе	87	Ряд Фурье	35
Аппроксимативный подход	24	Свойства процесса	21
Асимметрия	114	Системы ортогональных функций	36
Вероятностные характеристики	19	Соотношение неопределенности	47
- классификация	20	Спектральные функции	71
Дисперсия	113	Справочная система	143
Длительность импульсной характеристики	46	Статистическая обработка	24
Импульсная характеристика	44	- вторичная	24
Интервал корреляции	62	- первичная	24
Интерфейс пользователя	91-99	Схема базы данных	102-106
Количество ординат КФ	86	Типы данных	98
Корреляционная функция	32	Усреднение по времени	19
Коэффициенты ряда Фурье	35	- по времени и совокупности	19
- для типовых моделей	39-41	- по совокупности	19
- при ограничениях на модель КФ	54	Формулы численного интегрирования	41
Критерии приближения	34	Функция автокорреляционная	28
Математическое ожидание	113	- типовые модели	29
Меню пользователя	141-143	- корреляционная	28
Метод наименьших квадратов	25	- корреляционная взаимная	30
Методы аппроксимации	25	- корреляционная нормированная	28, 30
- классификация	26	Частотная характеристика	44
- статистических измерений	23	Экссесс	114
Моделирование СП	85	Этапы аппроксимации КФ	33
МФУ НВЛ-08	132		
- калибровка	135		
- разъем пользователя	135		
Ортогональная функция	35		
- параметр масштаба	35		
Ортогональный базис	35		
Оценка несмещенная	20		
- свойства	20		
- состоятельная	20		
- эффективная	20		
Погрешность аппроксимации	35		
- при ограничении на модель КФ	53		
- при ограничении числа членов	41		
- оценки коэффициентов	48		
Полоса пропускания	45		
Преобразование Фурье	71		

Алгоритмы рекурсивной фильтрации

Вид модели $\rho_x(\tau, \lambda_i, \omega_{0,i})$	Генерирующий алгоритм	Параметры алгоритма
1	2	3
$e^{-\lambda_1 \tau }$	$y_0 = a_0 x_n$ $y_n = a_0 x_n + b_1 y_{n-1}$	$\gamma = \lambda_1 \cdot \Delta\tau$ ; $p = e^{-\gamma}$ $a_0 = \sqrt{1-p^2}$ $b_1 = p$
$e^{-\lambda_2 \tau } (1 + \lambda_2 \tau )$	$y_0 = a_0 x_n$ $y_1 = a_0 x_n + a_1 x_{n-1} + b_1 y_{n-1}$ $y_n = a_0 x_n + a_1 x_{n-1} + b_1 y_{n-1}$	$\gamma = \lambda_2 \cdot \Delta\tau$ ; $p = e^{-\gamma}$ $\alpha_0 = p^3 \cdot (1+\gamma) - p \cdot (1-\gamma)$ $\alpha_1 = 1 - 4p^2 \cdot \gamma - p^4$ $a_0 = \sqrt{\frac{\alpha_1 \pm \sqrt{\alpha_1^2 - 4\alpha_0^2}}{2}}$ $a_1 = \frac{\alpha_1}{a_0}$ ; $b_1 = 2p$ ; $b_2 = -p^2$
$e^{-\lambda_3 \tau } (1 - \lambda_3 \tau )$	$y_0 = a_0 x_n$ $y_1 = a_0 x_n + a_1 x_{n-1} + b_1 y_{n-1}$ $y_n = a_0 x_n + a_1 x_{n-1} + b_1 y_{n-1} + b_2 y_{n-2}$	$\gamma = \lambda_3 \cdot \Delta\tau$ ; $p = e^{-\gamma}$ $\alpha_0 = p^3 \cdot (1-\gamma) - p \cdot (1+\gamma)$ $\alpha_1 = 1 + 4p^2 \cdot \gamma - p^4$ $a_0 = \sqrt{\frac{\alpha_1 \pm \sqrt{\alpha_1^2 - 4\alpha_0^2}}{2}}$ $a_1 = \frac{\alpha_0}{a_0}$ ; $b_1 = 2p$ ; $b_2 = -p^2$
$e^{-\lambda_4 \tau } \left( 1 + \lambda_4 \tau  + \frac{\lambda_4^2 \tau^2}{3} \right)$	$y_0 = x_0$ $y_1 = x_1$ $y_2 = x_2$ $y_n = a_0 x_n + a_1 x_{n-1} + a_2 x_{n-2} - b_1 y_{n-1} - b_2 y_{n-2} - b_3 y_{n-3}$	$\gamma = \lambda_4 \cdot \Delta\tau$ ; $p = e^{-\gamma}$ $\alpha_0 = p^4 \cdot \left( \frac{\gamma^2}{3} + \gamma + 1 \right) - p^2 \cdot \left( \frac{\gamma^2}{3} - \gamma + 1 \right)$ $\alpha_1 = p^5 \cdot \left( \frac{\gamma^2}{3} - \gamma - 2 \right) - 6 \cdot \gamma \cdot p^3 - p \cdot \left( \frac{\gamma^2}{3} + \gamma - 2 \right)$ $\alpha_2 = p^6 - p^4 \cdot (2\gamma^2 - 6\gamma - 3) + p^2 \cdot (2\gamma^2 + 6\gamma - 3) - 1$ $y_{1,2} = \frac{-\alpha_1 \pm \sqrt{\alpha_1^2 - 4\alpha_0\alpha_2 + 8\alpha_0^2}}{2\alpha_0}$ $a_0 = \sqrt{-\alpha_0 \frac{(y_1 + \sqrt{y_1^2 - 4})(y_2 + \sqrt{y_2^2 - 4})}{2}}$

1	2	3
		$a_2 = \sqrt{-\alpha_0 \left( \frac{2}{y_1 + \sqrt{y_1^2 - 4}} \right) (y_2 + \sqrt{y_2^2 - 4})}$ $a_1 = -\alpha_2 \left( y_1 + \sqrt{y_1^2 - 4} \right) (y_2 + \sqrt{y_2^2 - 4})$ $b_1 = -3p; b_2 = 3p^2; b_3 = -p^3$
$e^{-\lambda_5 \tau } \cos(\omega_{0,5}\tau)$		$\gamma = \lambda_5 \cdot \Delta\tau; \gamma_0 = \omega_{0,5} \cdot \Delta\tau; p = e^{-\gamma}$ $\alpha_0 = p \cdot (p^2 - 1) \cdot \cos(\gamma_0); \alpha_1 = 1 - p^4$ $a_0 = \sqrt{\frac{\alpha_1 \pm \sqrt{\alpha_1^2 - 4\alpha_0^2}}{2}}$ $a_1 = \frac{\alpha_0}{a_0}; b_1 = 2p \cos(\gamma_0); b_2 = -p^2$
$e^{-\lambda_6 \tau } \left( \cos(\omega_{0,6}\tau) + \frac{\lambda_6}{\omega_{0,6}} \sin(\omega_{0,6}\tau) \right)$	$y_0 = a_0 x_n$ $y_1 = a_0 x_n + a_1 x_{n-1} + b_1 y_{n-1}$ $y_n = a_0 x_n + a_1 x_{n-1} + b_1 y_{n-1} + b_2 y_{n-2}$	$\gamma = \lambda_6 \cdot \Delta\tau; \gamma_0 = \omega_{0,6} \cdot \Delta\tau; p = e^{-\gamma}$ $\alpha_0 = p \cdot (p^2 - 1) \cdot \cos(\gamma_0) + \frac{\lambda_6}{\omega_{0,6}} \cdot p \cdot (1 + p^2) \cdot \sin(\gamma_0)$ $\alpha_1 = 1 - p^4 - 4 \cdot p^2 \cdot \frac{\lambda_6}{\omega_{0,6}} \cdot \sin(\gamma_0) \cdot \cos(\gamma_0)$ $a_0 = \sqrt{\frac{\alpha_1 \pm \sqrt{\alpha_1^2 - 4\alpha_0^2}}{2}}$ $a_1 = \frac{\alpha_0}{a_0}; b_1 = 2p \cos(\gamma_0); b_2 = -p^2$
$e^{-\lambda_7 \tau } \left( \cos(\omega_{0,7}\tau) - \frac{\lambda_7}{\omega_{0,7}} \sin(\omega_{0,7}\tau) \right)$		$\gamma = \lambda_7 \cdot \Delta\tau; \gamma_0 = \omega_{0,7} \cdot \Delta\tau; p = e^{-\gamma}$ $\alpha_0 = p \cdot (p^2 - 1) \cdot \cos(\gamma_0) - \frac{\lambda_7}{\omega_{0,7}} \cdot p \cdot (1 + p^2) \cdot \sin(\gamma_0)$ $\alpha_1 = 1 - p^4 - 4 \cdot p^2 \cdot \frac{\lambda_7}{\omega_{0,7}} \cdot \sin(\gamma_0) \cdot \cos(\gamma_0)$ $a_0 = \sqrt{\frac{\alpha_1 \pm \sqrt{\alpha_1^2 - 4\alpha_0^2}}{2}}$ $a_1 = \frac{\alpha_0}{a_0}; b_1 = 2p \cos(\gamma_0); b_2 = -p^2$

**Импульсные характеристики формирующих фильтров**

Данное приложение содержит аналитические выражения для определения взаимных корреляционных функций процессов, полученных при прохождении «белого шума» через пару фильтров. Всего выбрано 7 типовых видов фильтров (см. табл. 1.1). Для их различных комбинаций найдены аналитические выражения и построены графики (см. П.3).

В первой таблице приведены импульсные характеристики формирующих фильтров  $h_j(\tau)$  типовых моделей и корреляционные функции  $K_{x(j)}(\tau)$ , получаемые на выходе фильтра при прохождении через него «белого шума».

Далее приводятся аналитические выражения для взаимных корреляционных функций процессов, полученных при прохождении «белого шума» через пару фильтров. Они получены решением интеграла свертки (П2.1) для пары фильтров

$$K_{xy(ji)}(\tau) = 2\pi \int_0^{\infty} h_j(t + \tau) h_i(t) dt, \tag{П2.1}$$

где  $j$  – номер модели первого фильтра,  $i$  – второго.

Для уменьшения объема записи взаимная корреляционная функция  $K_{xy(ji)}(\tau)$  разбита на две ветви -  $K_{xy(ji)}^{(1)}(\tau)$ , определенную на интервале  $(0, \infty)$ , и  $K_{xy(ji)}^{(2)}(\tau)$ , определенную на  $(-\infty, 0)$ . Так как  $K_{xy(ji)}^{(2)}(\tau) = K_{yx(ji)}^{(1)}(-\tau)$ , приведены отдельно выражения для правой и левой ветвей. Взаимная корреляционная функция представляется в виде:  $K_{xy(ji)}(\tau) = k_{(ji)} \cdot F_{(ji)}(\tau) \cdot e^{-\lambda_j \tau}$ .

$j$	$K_{x(j)}(\tau, \lambda_j, \omega_{0,j})$	$k$	$h_j(\tau)$
1	$\sigma_x e^{-\lambda_1  \tau }$	$\sigma_x \sqrt{\frac{1}{\lambda_1 \pi}}$	$k \lambda_1 e^{-\lambda_1 \tau}$
2	$\sigma_x e^{-\lambda_2  \tau } \cdot (1 + \lambda_2  \tau )$	$\sigma_x \sqrt{\frac{2}{\lambda_2 \pi}}$	$k \lambda_2^2 \tau e^{-\lambda_2 \tau}$
3	$\sigma_x e^{-\lambda_3  \tau } \cdot (1 - \lambda_3  \tau )$	$\sigma_x \sqrt{\frac{2}{\lambda_3 \pi}}$	$k \lambda_3 e^{-\lambda_3 \tau} \cdot (1 - \lambda_3 \tau)$
4	$\sigma_x e^{-\lambda_4  \tau } \cdot \left(1 + \lambda_4  \tau  + \frac{\lambda_4^2 \tau^2}{3}\right)$	$\sigma_x \sqrt{\frac{2}{3 \lambda_4 \pi}}$	$k \lambda_4^3 \tau^2 e^{-\lambda_4 \tau}$
5	$\sigma_x e^{-\lambda_5  \tau } \cdot \cos(\omega_{0,5} \tau)$	$\sigma_x \sqrt{\frac{1}{\lambda_5 \pi}}$	$k \lambda_5 e^{-\lambda_5 \tau} \left( \cos(\omega_{0,5} \tau) + \frac{\sqrt{\lambda_5^2 + \omega_{0,5}^2} - \lambda_5}{\omega_{0,5}} \sin(\omega_{0,5} \tau) \right)$
6	$\sigma_x e^{-\lambda_6  \tau } \cdot \left( \cos(\omega_{0,6} \tau) + \frac{\lambda_6}{\omega_{0,6}} \sin(\omega_{0,6} \tau) \right)$	$\sigma_x \sqrt{\frac{2}{\lambda_6 \pi}}$	$k \lambda_6 \frac{\sqrt{\lambda_6^2 + \omega_{0,6}^2}}{\omega_{0,6}} e^{-\lambda_6 \tau} \sin(\omega_{0,6} \tau)$
7	$\sigma_x e^{-\lambda_7  \tau } \cdot \left( \cos(\omega_{0,7} \tau) - \frac{\lambda_7}{\omega_{0,7}} \sin(\omega_{0,7} \tau) \right)$	$\sigma_x \sqrt{\frac{2}{\lambda_7 \pi}}$	$k \lambda_7 e^{-\lambda_7 \tau} \left( \cos(\omega_{0,7} \tau) - \frac{\lambda_7}{\omega_{0,7}} \sin(\omega_{0,7} \tau) \right)$



**1. ВКФ для модели:**

$$K_{x(1)}(\tau, \lambda_1, \omega_{0,1}) = \sigma_x e^{-\lambda_1 |\tau|}$$

j	i	$k_{(ji)}$	$F_{(ji)}$
1	1	$\frac{2\sqrt{\lambda_j \lambda_i}}{\lambda_j + \lambda_i}$	1
	2	$\frac{2\lambda_i \sqrt{2\lambda_j \lambda_i}}{(\lambda_j + \lambda_i)^2}$	1
	3	$\frac{2\lambda_j \sqrt{2\lambda_j \lambda_i}}{(\lambda_j + \lambda_i)^2}$	1
	4	$\frac{4\lambda_i^2 \sqrt{6\lambda_j \lambda_i}}{3(\lambda_j + \lambda_i)^3}$	1
	5	$\frac{2\sqrt{\lambda_j \lambda_i} (\lambda_j + \sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2})}{(\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2}$	1
	6	$\frac{2\sqrt{2\lambda_j \lambda_i} (\lambda_i^2 + \omega_i^2)}{(\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2}$	1
	7	$\frac{2\lambda_j \sqrt{2\lambda_j \lambda_i}}{(\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2}$	1

**2. ВКФ для модели:**

$$K_{x(2)}(\tau, \lambda_2, \omega_{0,2}) = \sigma_x e^{-\lambda_2|\tau|} \cdot (1 + \lambda_2|\tau|)$$

j	i	$k_{(ji)}$	$F_{(ji)} = A_{(ji)} + B_{(ji)} \tau $
2	1	$\frac{2\lambda_j\sqrt{2\lambda_j\lambda_i}}{(\lambda_j + \lambda_i)^2}$	$A_{(ji)} = 1; B_{(ji)} = \lambda_j + \lambda_i$
	2	$\frac{4\lambda_j\lambda_i\sqrt{\lambda_j\lambda_i}}{(\lambda_j + \lambda_i)^3}$	$A_{(ji)} = 2;$ $B_{(ji)} = \lambda_j + \lambda_i$
	3	$\frac{4\lambda_j\sqrt{\lambda_j\lambda_i}}{(\lambda_j + \lambda_i)^3}$	$A_{(ji)} = \lambda_j - \lambda_i; B_{(ji)} = \lambda_j^2 + \lambda_j\lambda_i$
	4	$\frac{8\lambda_j\lambda_i^2\sqrt{3\lambda_j\lambda_i}}{3(\lambda_j + \lambda_i)^4}$	$A_{(ji)} = 3; B_{(ji)} = \lambda_j + \lambda_i$
	5	$\frac{2\lambda_j\sqrt{2\lambda_j\lambda_i}}{((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)^2}$	$A_{(ji)} = \lambda_j^2 - \lambda_i^2 - \omega_i^2 + 2\sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2}(\lambda_j + \lambda_i);$ $B_{(ji)} = (\lambda_j + \sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2})((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)$
	6	$\frac{4\lambda_j\sqrt{\lambda_j\lambda_i}(\lambda_i^2 + \omega_i^2)}{((\lambda_i + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)^2}$	$A_{(ji)} = 2(\lambda_j + \lambda_i); B_{(ji)} = (\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2$
	7	$\frac{4\lambda_j\sqrt{\lambda_j\lambda_i}}{((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)^2}$	$A_{(ji)} = \lambda_j^2 - \lambda_i^2 - \omega_i^2; B_{(ji)} = \lambda_j((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)$

### 3. ВКФ для модели:

$$K_{x(3)}(\tau, \lambda_3, \omega_{0,3}) = \sigma_x e^{-\lambda_3|\tau|} \cdot (1 - \lambda_3|\tau|)$$

j	i	$k_{(ji)}$	$F_{(ji)} = A_{(ji)} - B_{(ji)} \tau $
3	1	$\frac{2\sqrt{2\lambda_j\lambda_i}}{(\lambda_j + \lambda_i)^2}$	$A_{(ji)} = \lambda_i; B_{(ji)} = \lambda_j^2 + \lambda_j\lambda_i$
	2	$\frac{4\lambda_i\sqrt{\lambda_j\lambda_i}}{(\lambda_j + \lambda_i)^3}$	$A_{(ji)} = \lambda_i - \lambda_j; B_{(ji)} = \lambda_j^2 + \lambda_j\lambda_i$
	3	$\frac{4\lambda_j\sqrt{\lambda_j\lambda_i}}{(\lambda_j + \lambda_i)^3}$	$A_{(ji)} = 2\lambda_i; B_{(ji)} = \lambda_j^2 + \lambda_j\lambda_i$
	4	$\frac{8\lambda_i^2\sqrt{3\lambda_j\lambda_i}}{3(\lambda_j + \lambda_i)^4}$	$A_{(ji)} = \lambda_i - 2\lambda_j; B_{(ji)} = \lambda_j^2 + \lambda_j\lambda_i$
	5	$\frac{2\sqrt{2\lambda_j\lambda_i}}{((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)^2}$	$A_{(ji)} = \sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2}(\lambda_i^2 + \omega_i^2 - \lambda_j^2) + 2\lambda_j((\lambda_j + \lambda_i)\lambda_i + \omega_i^2);$ $B_{(ji)} = \lambda_j(\lambda_j + \sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2})((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)$
	6	$\frac{4\sqrt{\lambda_j\lambda_i}(\lambda_i^2 + \omega_i^2)}{((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)^2}$	$A_{(ji)} = \lambda_i^2 + \omega_i^2 - \lambda_j^2; B_{(ji)} = \lambda_j((\lambda_i + \lambda_j)^2 + \omega_i^2)$
	7	$\frac{4\lambda_j\sqrt{\lambda_j\lambda_i}}{((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)^2}$	$A_{(ji)} = 2(\lambda_i(\lambda_j + \lambda_j) + \omega_i^2); B_{(ji)} = \lambda_j((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)$

**4. ВКФ для модели:**

$$K_{x(4)}(\tau, \lambda_4, \omega_{0,4}) = \sigma_x e^{-\lambda_4 |\tau|} \cdot \left( 1 + \lambda_4 |\tau| + \frac{\lambda_4^2 \tau^2}{3} \right)$$

j	i	$k_{(ji)}$	$F_{(ji)} = A_{(ji)} + B_{(ji)} \tau  + C_{(ji)}\tau^2$
4	1	$\frac{2\lambda_j^2 \sqrt{6\lambda_j \lambda_i}}{3(\lambda_j + \lambda_i)^3}$	$A_{(ji)} = 2; B_{(ji)} = 2(\lambda_j + \lambda_i); C_{(ji)} = (\lambda_j + \lambda_i)^2$
	2	$\frac{4\lambda_j^2 \lambda_i \sqrt{3\lambda_j \lambda_i}}{3(\lambda_j + \lambda_i)^4}$	$A_{(ji)} = 6; B_{(ji)} = 4(\lambda_j + \lambda_i); C_{(ji)} = (\lambda_j + \lambda_i)^2$
	3	$\frac{4\lambda_j^2 \sqrt{3\lambda_j \lambda_i}}{3(\lambda_j + \lambda_i)^4}$	$A_{(ji)} = 2(\lambda_j - 2\lambda_i); B_{(ji)} = 2(\lambda_j^2 - \lambda_i^2); C_{(ji)} = \lambda_j (\lambda_j + \lambda_i)^2$
	4	$\frac{8\lambda_j^2 \lambda_i^2 \sqrt{\lambda_j \lambda_i}}{3(\lambda_j + \lambda_i)^5}$	$A_{(ji)} = 12; B_{(ji)} = 6(\lambda_j + \lambda_i); C_{(ji)} = (\lambda_j + \lambda_i)^2$
	5	$\frac{2\lambda_j^2 \sqrt{6\lambda_j \lambda_i}}{3((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)^3}$	$A_{(ji)} = 2(\sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2} - \lambda_i)(3(\lambda_j + \lambda_i)^2 - \omega_i^2) + 2(\lambda_j + \lambda_i)((\lambda_j + \lambda_i)^2 - 3\omega_i^2);$ $B_{(ji)} = 2((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)(\lambda_j^2 - \lambda_i^2 - \omega_i^2 + 2\sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2}(\lambda_j + \lambda_i));$ $C_{(ji)} = ((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)^2 (\sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2} + \lambda_j)$
	6	$\frac{4\lambda_j^2 \sqrt{3\lambda_j \lambda_i} (\lambda_i^2 + \omega_i^2)}{3((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)^3}$	$A_{(ji)} = 2(3(\lambda_j + \lambda_i)^2 - \omega_i^2);$ $B_{(ji)} = 4(\lambda_j + \lambda_i)((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2); C_{(ji)} = ((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)^2$
	7	$\frac{4\lambda_j^2 \sqrt{3\lambda_j \lambda_i}}{3((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)^3}$	$A_{(ji)} = 2(\lambda_j^3 - (3\lambda_j + 2\lambda_i)(\lambda_i^2 + \omega_i^2));$ $B_{(ji)} = 2((\lambda_j + \lambda_i)^3(\lambda_j - \lambda_i) - 2\omega_i^2 \lambda_i (\lambda_j + \lambda_i) - \omega_i^4);$ $C_{(ji)} = \lambda_j ((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)^2$

**5. ВКФ для модели:**

$$K_{x(5)}(\tau, \lambda_5, \omega_{0,5}) = \sigma_x e^{-\lambda_5 |\tau|} \cdot \cos(\omega_{0,5} \tau)$$

j	i	$k_{(ji)}$	$F_{(ji)} = A_{(ji)} \cos(\omega_{0,j} \tau) + B_{(ji)} \sin(\omega_{0,j}  \tau )$
5	1	$\frac{2\sqrt{\lambda_j \lambda_i}}{(\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_j^2}$	$A_{(ji)} = \lambda_i + \sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2}; B_{(ji)} = (\sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2} - \lambda_j)(\lambda_j + \lambda_i) / \omega_j - \omega_j$
	2	$\frac{2\lambda_i \sqrt{2\lambda_j \lambda_i}}{((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_j^2)^2}$	$A_{(ji)} = \lambda_i^2 - \lambda_j^2 - \omega_j^2 + 2(\lambda_j + \lambda_i) \sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2};$ $B_{(ji)} = \frac{\sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2} - \lambda_j}{\omega_j} ((\lambda_j + \lambda_i)^2 - \omega_j^2) - 2\omega_j (\lambda_j + \lambda_i)$
	3	$\frac{2\sqrt{2\lambda_j \lambda_i}}{((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_j^2)^2}$	$A_{(ji)} = 2\lambda_i (\omega_j^2 + \lambda_j (\lambda_j + \lambda_i)) + \sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2} (\lambda_j^2 - \lambda_i^2 + \omega_j^2);$ $B_{(ji)} = \frac{\sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2} - \lambda_j}{\omega_j} ((\lambda_j + \lambda_i)^2 \lambda_j + \omega_j^2 (2\lambda_i + \lambda_j)) + \omega_j (\lambda_i^2 - \lambda_j^2 - \omega_j^2)$
	4	$\frac{4\lambda_i^2 \sqrt{6\lambda_j \lambda_i}}{3((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_j^2)^3}$	$A_{(ji)} = \lambda_i^3 - (\omega_j^2 + \lambda_j^2)(2\lambda_j + 3\lambda_i) + \sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2} (3(\lambda_j + \lambda_i)^2 - \omega_j^2);$ $B_{(ji)} = \frac{\sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2} - \lambda_j}{\omega_j} (\lambda_j + \lambda_i)((\lambda_j + \lambda_i)^2 - 3\omega_j^2) + \omega_j (\omega_j^2 - 3(\lambda_j + \lambda_i)^2)$
	5	$\frac{2\sqrt{\lambda_j \lambda_i}}{((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j + \omega_i)^2)((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j - \omega_i)^2)}$	$A_{(ji)} = (\sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2} - \sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2})(\omega_i^2 + \lambda_i^2 - \lambda_j^2 - \omega_j^2) + 2\lambda_i (\omega_j^2 + \lambda_j^2) +$ $+ 2\sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2} \sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2} (\lambda_j + \lambda_i) + 2\lambda_j (\lambda_i^2 + \omega_i^2);$ $B_{(ji)} = \frac{\sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2} - \lambda_j}{\omega_j} (\sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2} (\omega_i^2 - \omega_j^2 + (\lambda_j + \lambda_i)^2) + 2\lambda_i \omega_{0,j}^2 + \lambda_j (\omega_j^2 + \omega_i^2 + (\lambda_j + \lambda_i)^2)) +$ $+ \omega_j (\omega_i^2 + \lambda_i^2 - \lambda_j^2 - \omega_j^2 - 2\sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2} (\lambda_j + \lambda_i))$

j	i	$k_{(ji)}$	$F_{(ji)} = A_{(ji)} \cos(\omega_{0,j}\tau) + B_{(ji)} \sin(\omega_{0,j} \tau )$
6	6	$\frac{2\sqrt{2\lambda_j\lambda_i}(\lambda_i^2 + \omega_i^2)}{((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j + \omega_i)^2)((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j - \omega_i)^2)}$	$A_{(ji)} = \omega_i^2 + \lambda_i^2 - \lambda_j^2 - \omega_j^2 + 2(\lambda_j + \lambda_i)\sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2}$ ; $B_{(ji)} = \frac{\sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2} - \lambda_j}{\omega_j}((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2 - \omega_j^2) - 2\omega_j(\lambda_j + \lambda_i)$
	7	$\frac{2\sqrt{2\lambda_j\lambda_i}}{((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j + \omega_i)^2)((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j - \omega_i)^2)}$	$A_{(ji)} = 2\lambda_j(\omega_i^2 + \lambda_i^2) + 2\lambda_i(\lambda_j^2 + \omega_j^2) + \sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2}(\lambda_j^2 + \omega_j^2 - \lambda_i^2 - \omega_i^2)$ ; $B_{(ji)} = \frac{\sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2} - \lambda_j}{\omega_j}(\lambda_j(\omega_i^2 + \omega_j^2 + (\lambda_j + \lambda_i)^2) + 2\omega_j^2\lambda_i) + \omega_j(\lambda_i^2 + \omega_i^2 - \lambda_j^2 - \omega_j^2)$

## 6. ВКФ для модели:

$$K_{x(6)}(\tau, \lambda_6, \omega_{0,6}) = \sigma_x e^{-\lambda_6|\tau|} \cdot \left( \cos(\omega_{0,6}\tau) + \frac{\lambda_6}{\omega_{0,6}} \sin(\omega_{0,6}\tau) \right)$$

j	i	$k_{(ji)}$	$F_{(ji)} = A_{(ji)} \cos(\omega_{0,j}\tau) + B_{(ji)} \sin(\omega_{0,j} \tau )$
6	1	$\frac{2\sqrt{2\lambda_j\lambda_i}}{((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_j^2)} \frac{\sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2}}{\omega_j}$	$A_{(ji)} = \omega_j$ ; $B_{(ji)} = \lambda_j + \lambda_i$
	2	$\frac{4\lambda_i\sqrt{\lambda_j\lambda_i}}{((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_j^2)^2} \frac{\sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2}}{\omega_j}$	$A_{(ji)} = 2\omega_j(\lambda_j + \lambda_i)$ ; $B_{(ji)} = (\lambda_j + \lambda_i)^2 - \omega_j^2$
	3	$\frac{4\sqrt{\lambda_j\lambda_i}}{((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_j^2)^2} \frac{\sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2}}{\omega_j}$	$A_{(ji)} = \omega_j(\lambda_j^2 + \omega_j^2 - \lambda_i^2)$ ; $B_{(ji)} = \lambda_j(\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_j^2(\lambda_j + 2\lambda_i)$
	4	$\frac{8\lambda_i^2\sqrt{3\lambda_j\lambda_i}}{3((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_j^2)^3} \frac{\sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2}}{\omega_j}$	$A_{(ji)} = \omega_j(3(\lambda_j + \lambda_i)^2 - \omega_j^2)$ ; $B_{(ji)} = (\lambda_j + \lambda_i)((\lambda_j + \lambda_i)^2 - 3\omega_j^2)$

j	i	$k_{(ji)}$	$F_{(ji)} = A_{(ji)} \cos(\omega_{0,j}\tau) + B_{(ji)} \sin(\omega_{0,j} \tau )$
6	5	$\frac{2\sqrt{2\lambda_j\lambda_i}}{\left((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j + \omega_i)^2\right)\left((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j - \omega_i)^2\right)} \frac{\sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2}}{\omega_j}$	$A_{(ji)} = \omega_j \left(\omega_j^2 + \lambda_j^2 - \lambda_i^2 - \omega_i^2 + 2\sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2}(\lambda_j + \lambda_i)\right);$ $B_{(ji)} = 2\lambda_i\omega_j^2 + \lambda_j\left((\lambda_i + \lambda_j)^2 + \omega_i^2 + \omega_j^2\right) + \sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2}\left((\lambda_i + \lambda_j)^2 - \omega_j^2 + \omega_i^2\right)$
	6	$\frac{4\sqrt{\lambda_j\lambda_i}(\lambda_i^2 + \omega_i^2)}{\left((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j + \omega_i)^2\right)\left((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j - \omega_i)^2\right)} \frac{\sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2}}{\omega_j}$	$A_{(ji)} = 2\omega_j(\lambda_j + \lambda_i); B_{(ji)} = \omega_i^2 - \omega_j^2 + (\lambda_j + \lambda_i)^2$
	7	$\frac{4\sqrt{\lambda_j\lambda_i}}{\left((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j + \omega_i)^2\right)\left((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j - \omega_i)^2\right)} \frac{\sqrt{\lambda_j^2 + \omega_j^2}}{\omega_j}$	$A_{(ji)} = \omega_j(\lambda_j^2 + \omega_j^2 - \lambda_i^2 - \omega_i^2); B_{(ji)} = 2\lambda_i\omega_j^2 + \lambda_j\left((\lambda_i + \lambda_j)^2 + \omega_i^2 + \omega_j^2\right)$

## 7. ВКФ для модели:

$$K_{x(7)}(\tau, \lambda_7, \omega_{0,7}) = \sigma_x e^{-\lambda_7|\tau|} \cdot \left( \cos(\omega_{0,7}\tau) - \frac{\lambda_7}{\omega_{0,7}} \sin(\omega_{0,7}\tau) \right)$$

j	i	$k_{(ji)}$	$F_{(ji)} = A_{(ji)} \cos(\omega_{0,j}\tau) - B_{(ji)} \sin(\omega_{0,j} \tau )$
7	1	$\frac{2\sqrt{2\lambda_j\lambda_i}}{(\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_j^2}$	$A_{(ji)} = \lambda_i; B_{(ji)} = \omega_j + \lambda_j(\lambda_j + \lambda_i)/\omega_j$
	2	$\frac{4\lambda_i\sqrt{\lambda_j\lambda_i}}{\left((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_j^2\right)^2}$	$A_{(ji)} = \lambda_i^2 - \lambda_j^2 - \omega_j^2; B_{(ji)} = \omega_j(\lambda_j + 2\lambda_i) + \lambda_j(\lambda_j + \lambda_i)^2/\omega_j$
	3	$\frac{4\sqrt{\lambda_j\lambda_i}}{\left((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_j^2\right)^2}$	$A_{(ji)} = 2\lambda_i(\lambda_j^2 + \lambda_j\lambda_i + \omega_j^2); B_{(ji)} = \omega_j(2\lambda_j(\lambda_j + \lambda_i) + \omega_j^2 - \lambda_i^2) + \lambda_j^2(\lambda_j + \lambda_i)^2/\omega_j$
	4	$\frac{8\lambda_i^2\sqrt{3\lambda_j\lambda_i}}{3\left((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_j^2\right)^3}$	$A_{(ji)} = \lambda_i^3 - (\omega_j^2 + \lambda_j^2)(2\lambda_j + 3\lambda_i); B_{(ji)} = \omega_j(3\lambda_i(\lambda_j + \lambda_i) - \omega_j^2) + \lambda_i(\lambda_j + \lambda_i)^3/\omega_j$

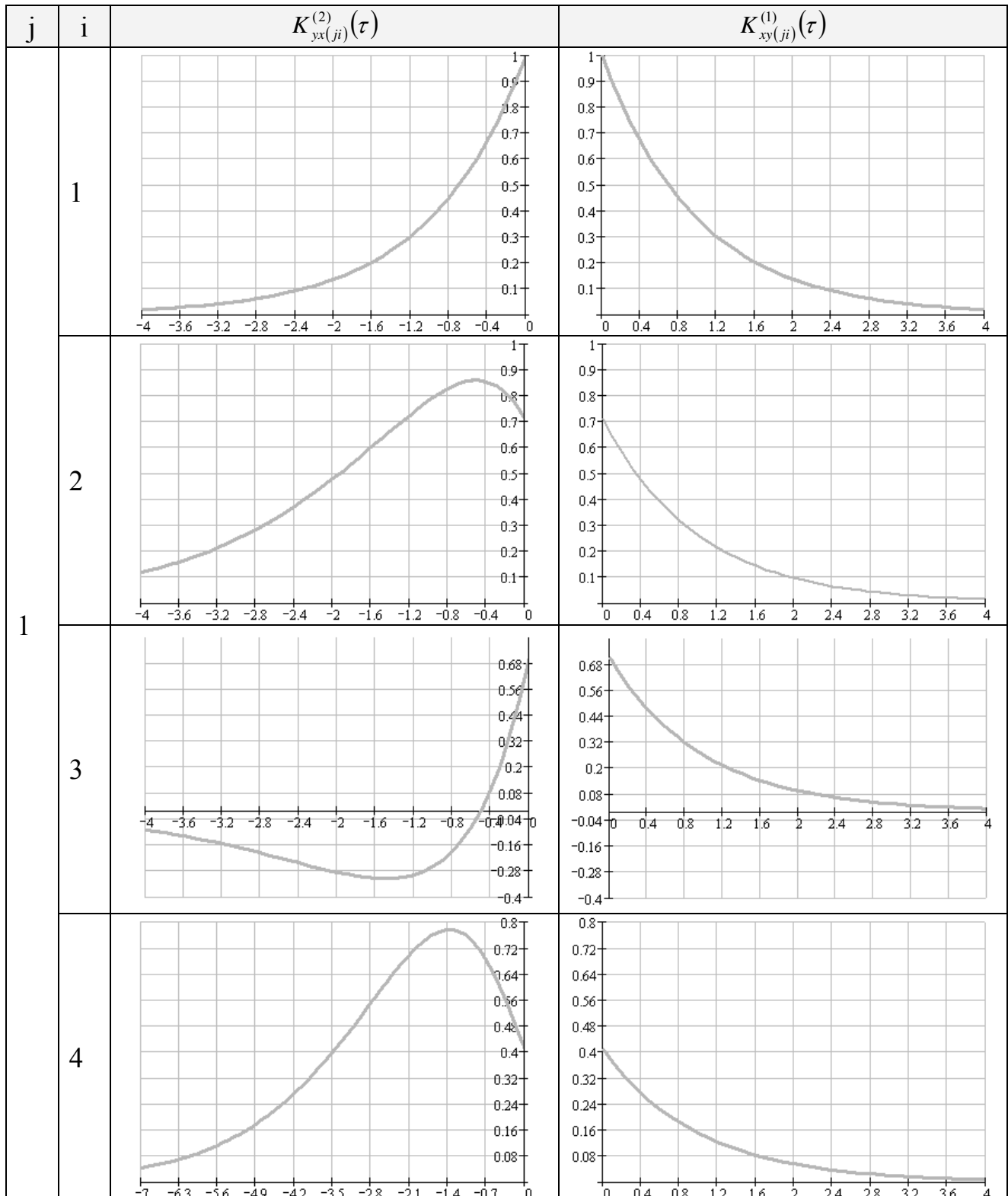
j	i	$k_{(ji)}$	$F_{(ji)} = A_{(ji)} \cos(\omega_{0,j}\tau) - B_{(ji)} \sin(\omega_{0,j} \tau )$
7	5	$\frac{2\sqrt{2\lambda_j\lambda_i}}{\left((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j + \omega_i)^2\right)\left((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j - \omega_i)^2\right)}$	$A_{(ji)} = 2\lambda_j(\omega_i^2 + \lambda_i^2) + 2\lambda_i(\lambda_j^2 + \omega_j^2) + \sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2}(\lambda_i^2 + \omega_i^2 - \lambda_j^2 - \omega_j^2);$ $B_{(ji)} = \omega_j(\omega_j^2 - \omega_i^2 - \lambda_i^2 + 2\lambda_j(\lambda_j + \lambda_i) + \sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2}(\lambda_j + 2\lambda_i)) +$ $+ \lambda_j(\lambda_j + \sqrt{\lambda_i^2 + \omega_i^2})(\omega_i^2 + (\lambda_j + \lambda_i)^2)/\omega_j$
	6	$\frac{4\sqrt{\lambda_j\lambda_i}(\lambda_i^2 + \omega_i^2)}{\left((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j + \omega_i)^2\right)\left((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j - \omega_i)^2\right)}$	$A_{(ji)} = \lambda_i^2 + \omega_i^2 - \lambda_j^2 - \omega_j^2; \quad B = \omega_0(2\lambda_6 + \lambda_0) + \lambda_0(\omega_6^2 + (\lambda_0 + \lambda_6)^2)/\omega_0$
	7	$\frac{4\sqrt{\lambda_j\lambda_i}}{\left((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j + \omega_i)^2\right)\left((\lambda_j + \lambda_i)^2 + (\omega_j - \omega_i)^2\right)}$	$A_{(ji)} = 2\lambda_j(\omega_i^2 + \lambda_i^2) + 2\lambda_i(\lambda_j^2 + \omega_j^2);$ $B_{(ji)} = \omega_j(2\lambda_j(\lambda_j + \lambda_i) + \omega_j^2 - \omega_i^2 - \lambda_i^2) + \lambda_j((\lambda_j + \lambda_i)^2 + \omega_i^2)/\omega_j$

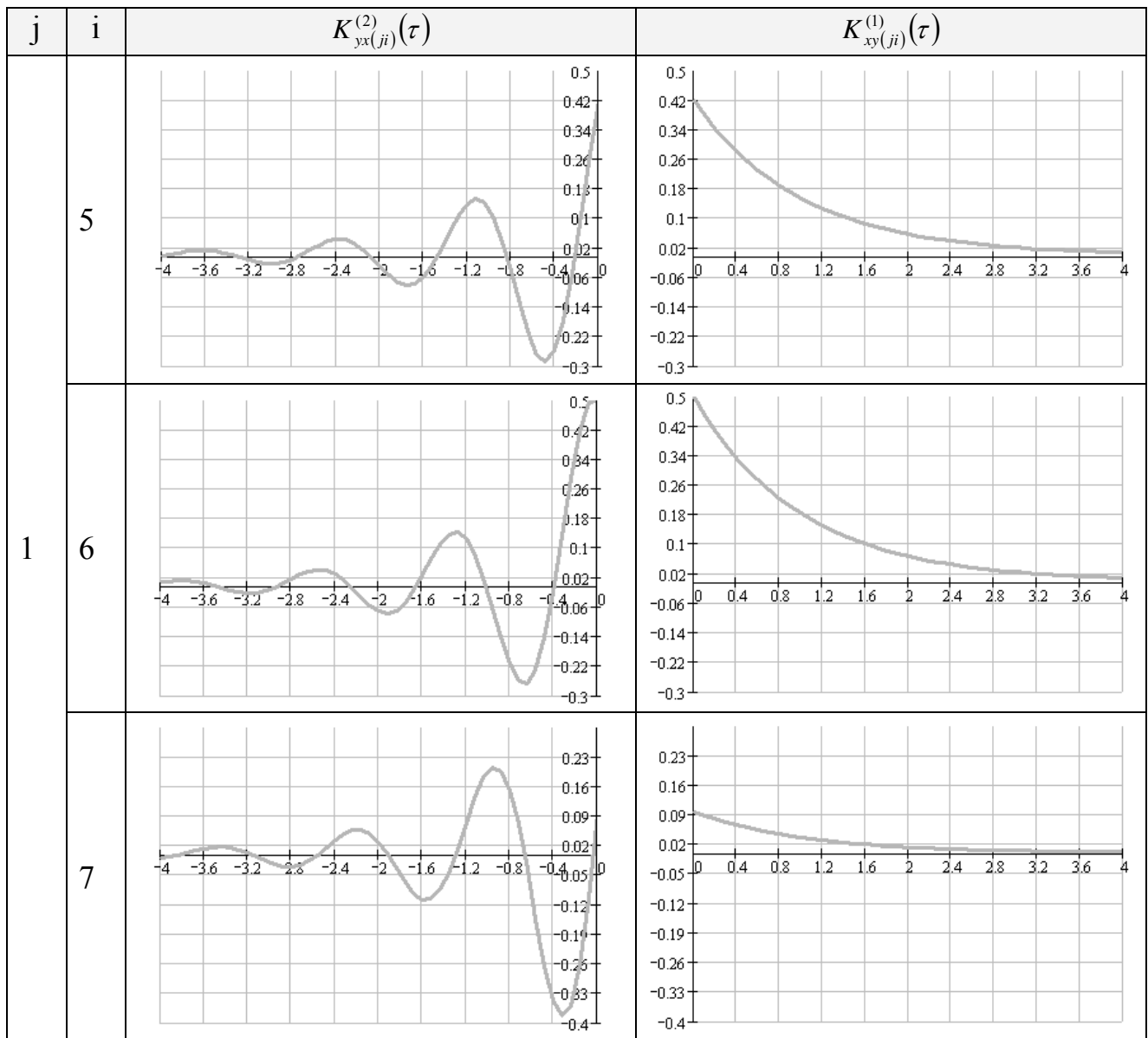


В приложении приведены графики ВКФ при параметрах фильтров  $\lambda_j = 1$ ,  $\omega_{0,j} = 5$ ,  $\lambda_i = 1$ ,  $\omega_{0,i} = 5$ .

**1. ВКФ для модели:**

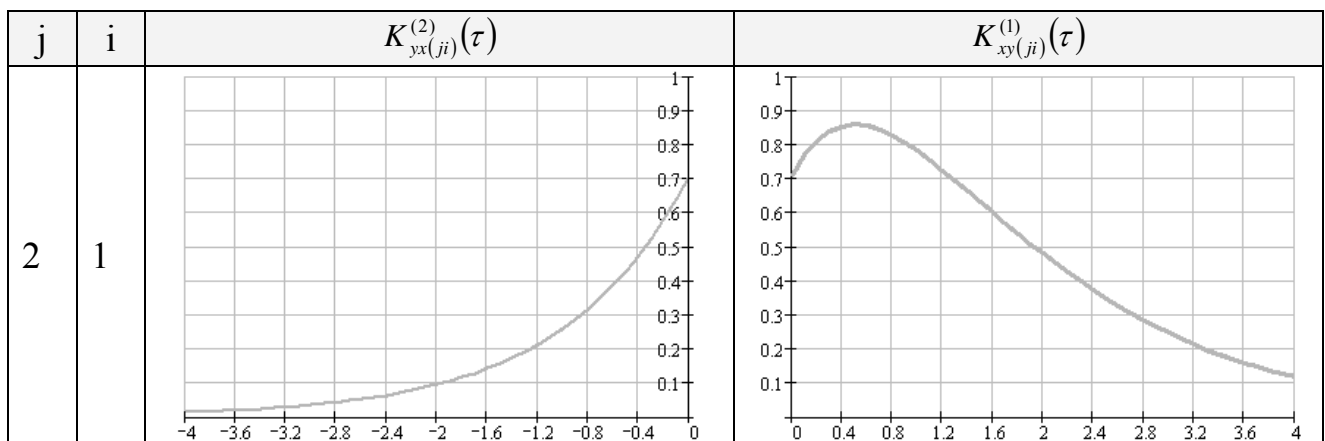
$$K_{x(i)}(\tau, \lambda_1, \omega_{0,1}) = \sigma_x e^{-\lambda_1 |\tau|}$$

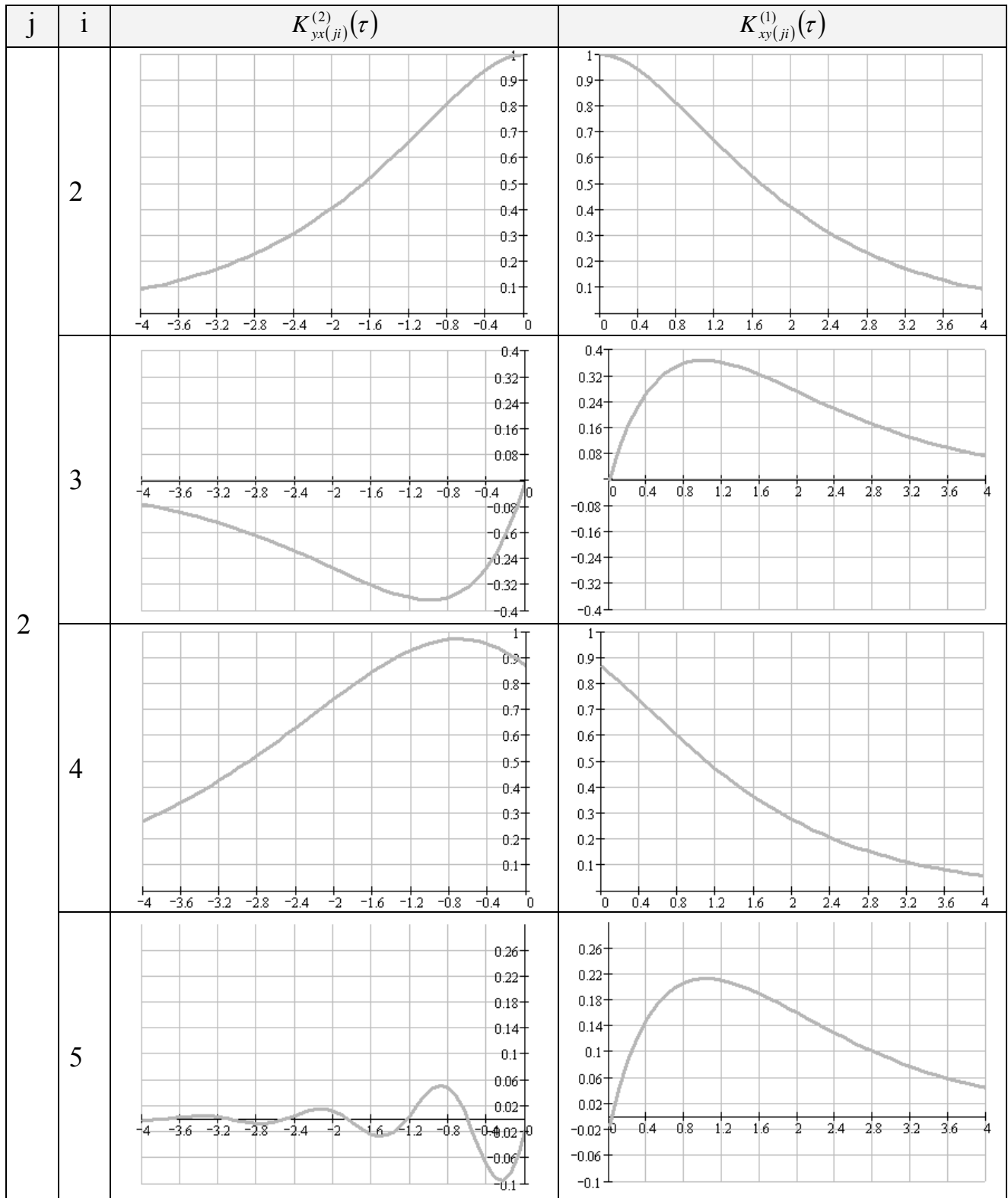


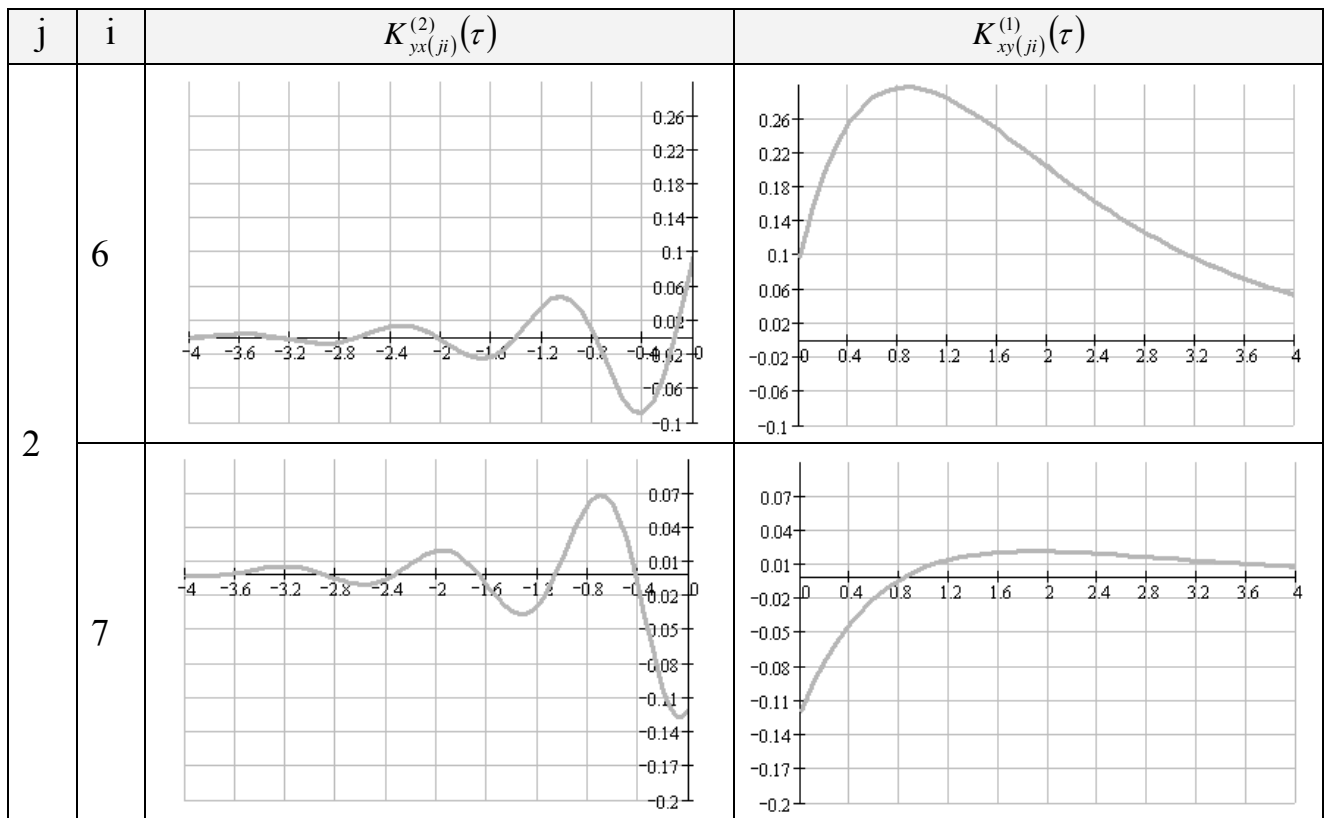


## 2. ВКФ для модели:

$$K_{x(2)}(\tau, \lambda_2, \omega_{0,2}) = \sigma_x e^{-\lambda_2|\tau|} \cdot (1 + \lambda_2|\tau|)$$

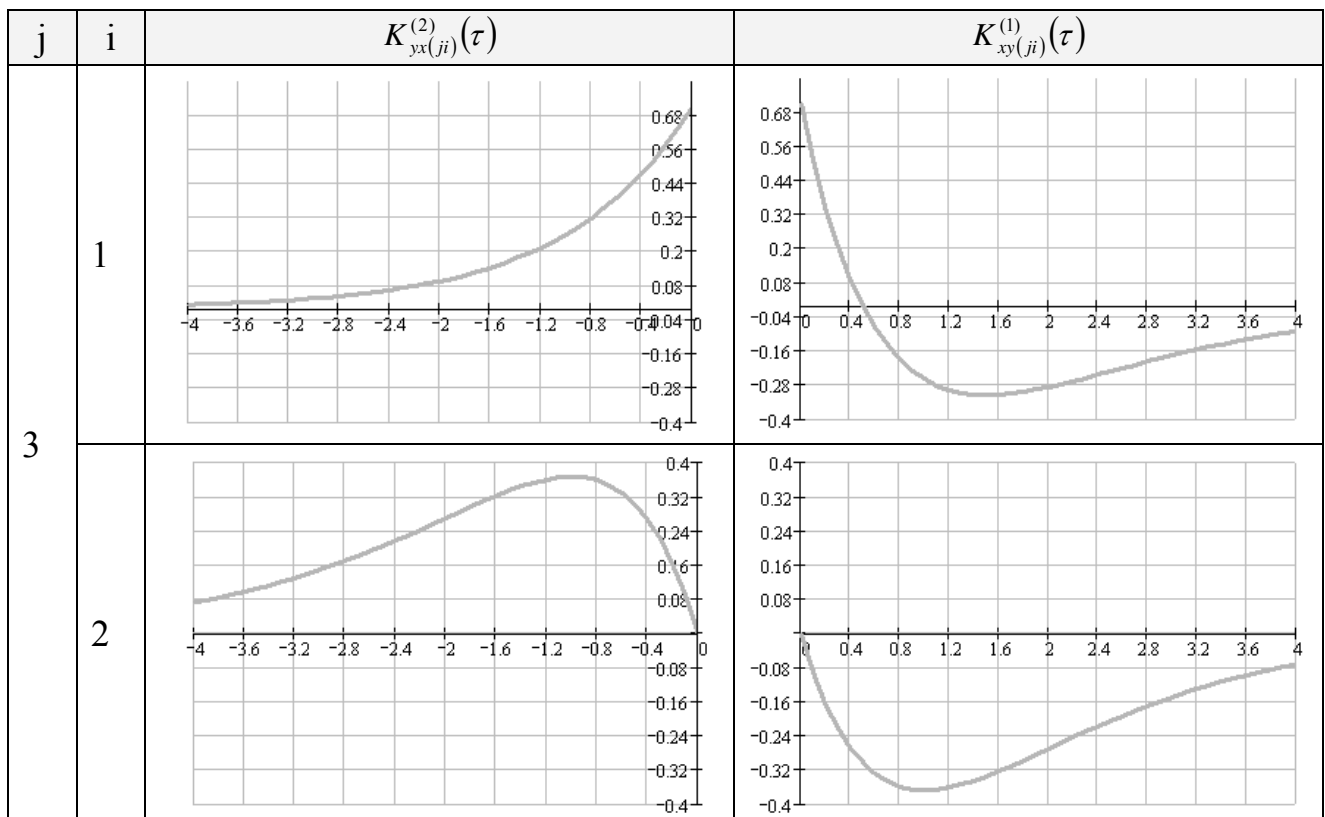




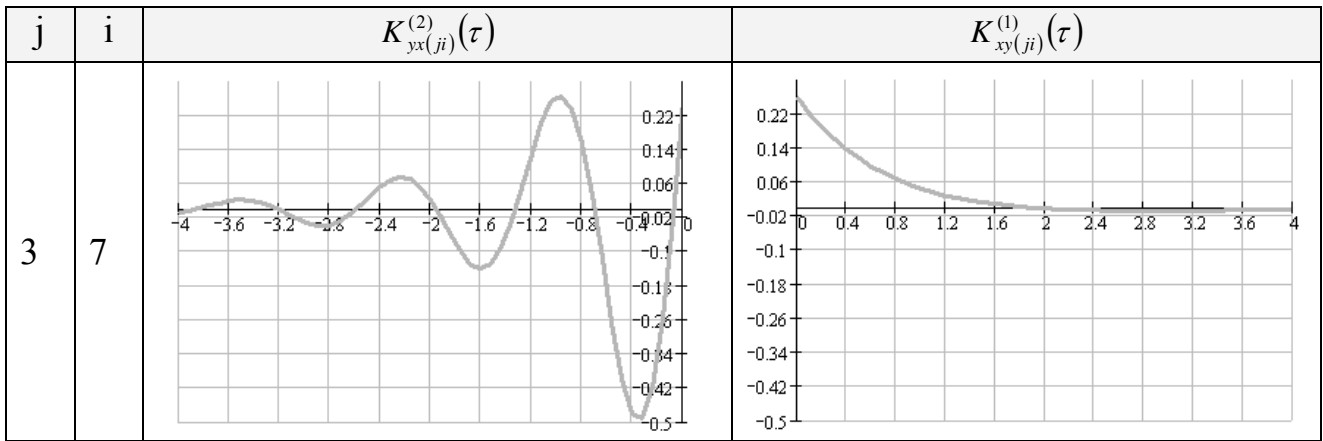


### 3. ВКФ для модели:

$$K_{x(3)}(\tau, \lambda_3, \omega_{0,3}) = \sigma_x e^{-\lambda_3 |\tau|} \cdot (1 - \lambda_3 |\tau|)$$

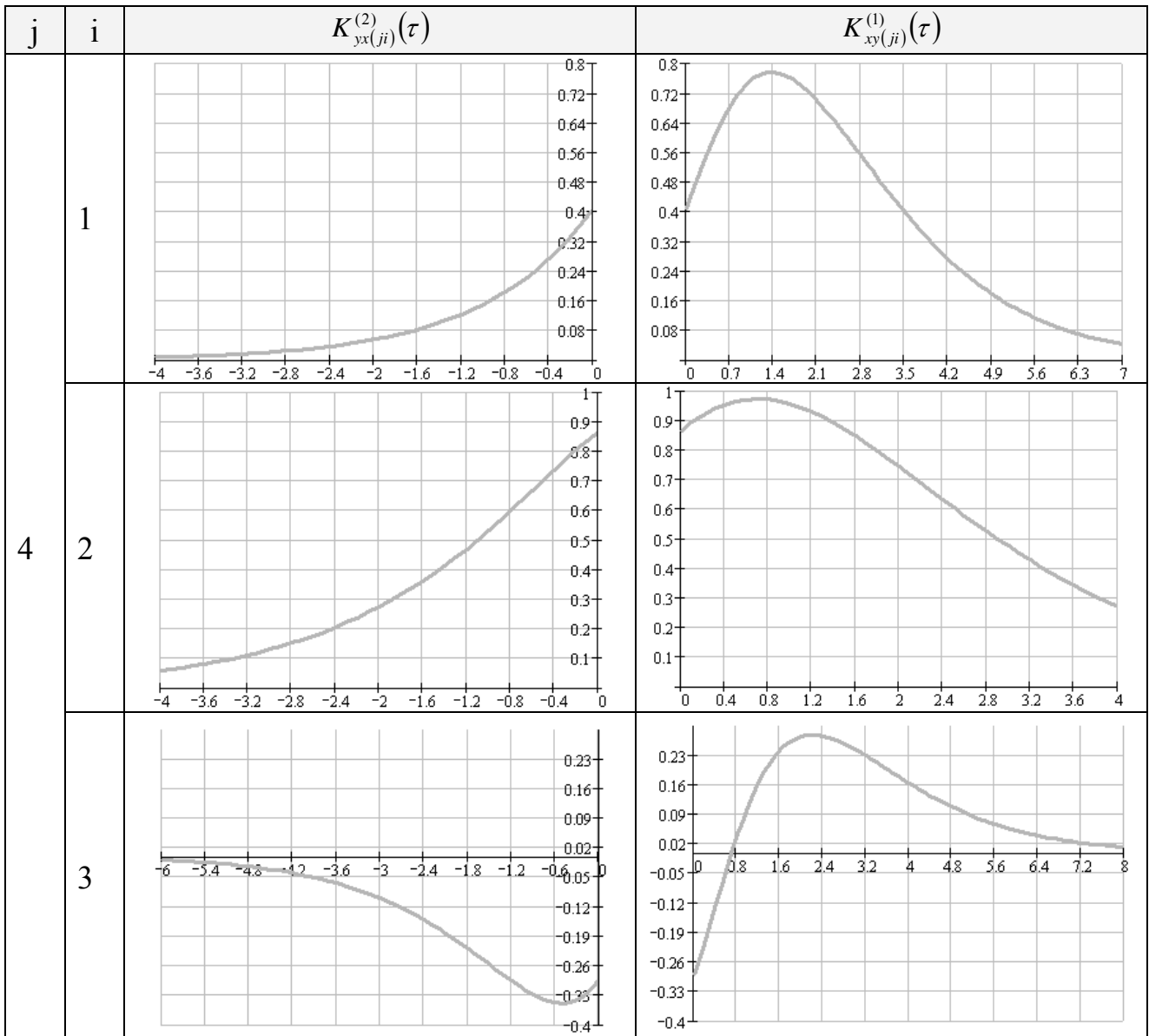


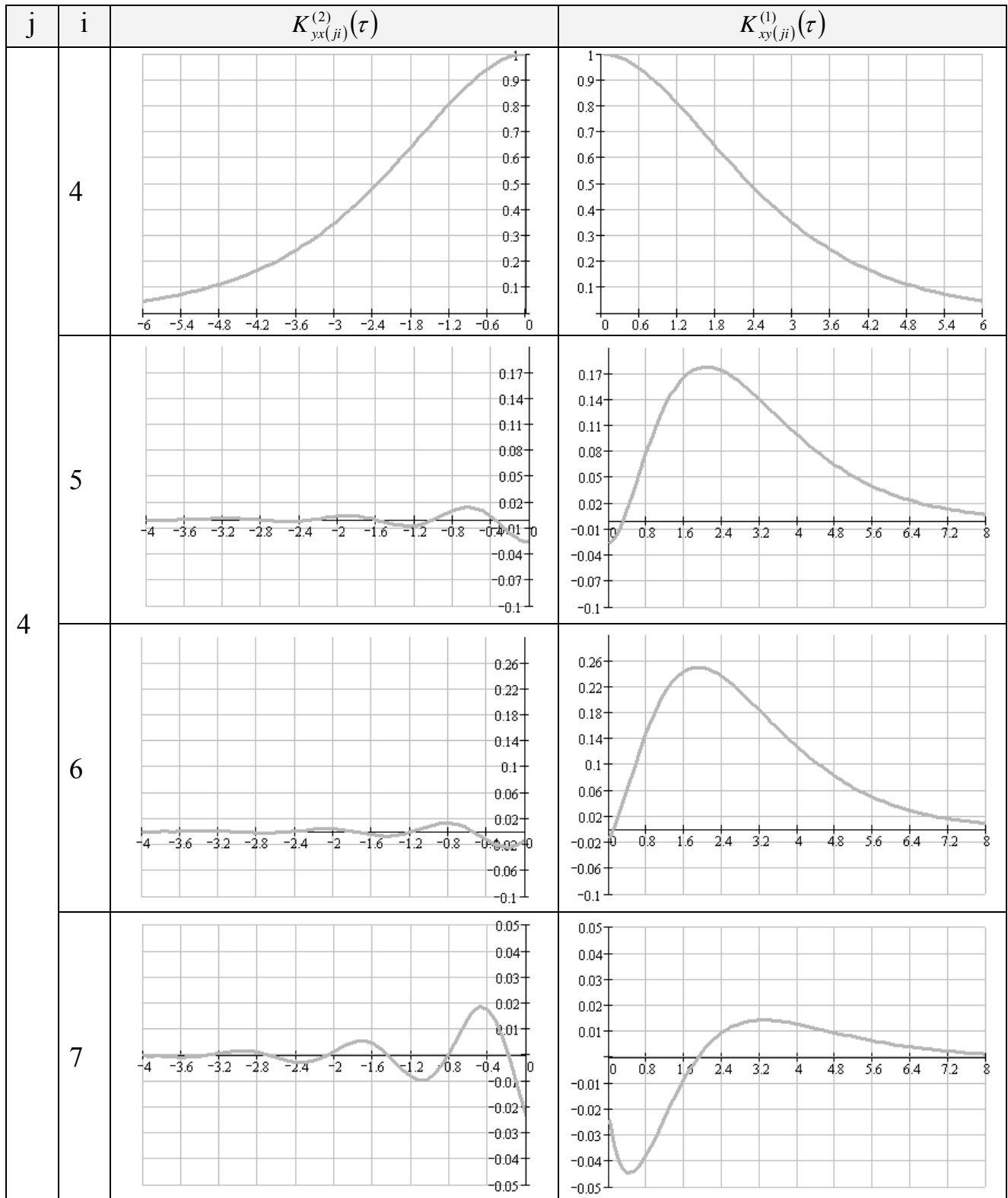
j	i	$K_{yx(ji)}^{(2)}(\tau)$	$K_{xy(ji)}^{(1)}(\tau)$
3	3		
	4		
	5		
	6		



#### 4. ВКФ для модели:

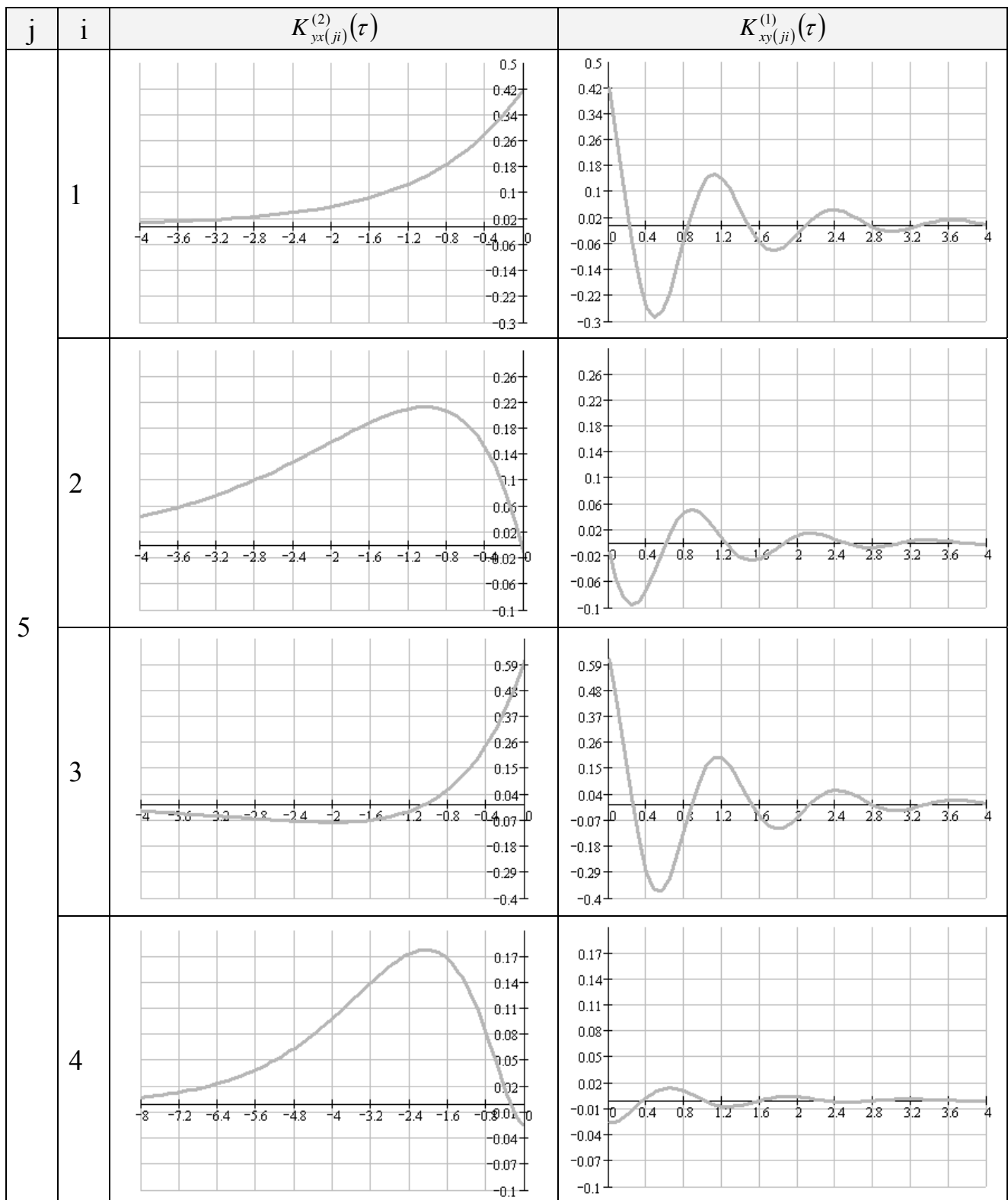
$$K_{x(4)}(\tau, \lambda_4, \omega_{0,4}) = \sigma_x e^{-\lambda_4 |\tau|} \cdot \left( 1 + \lambda_4 |\tau| + \frac{\lambda_4^2 \tau^2}{3} \right)$$



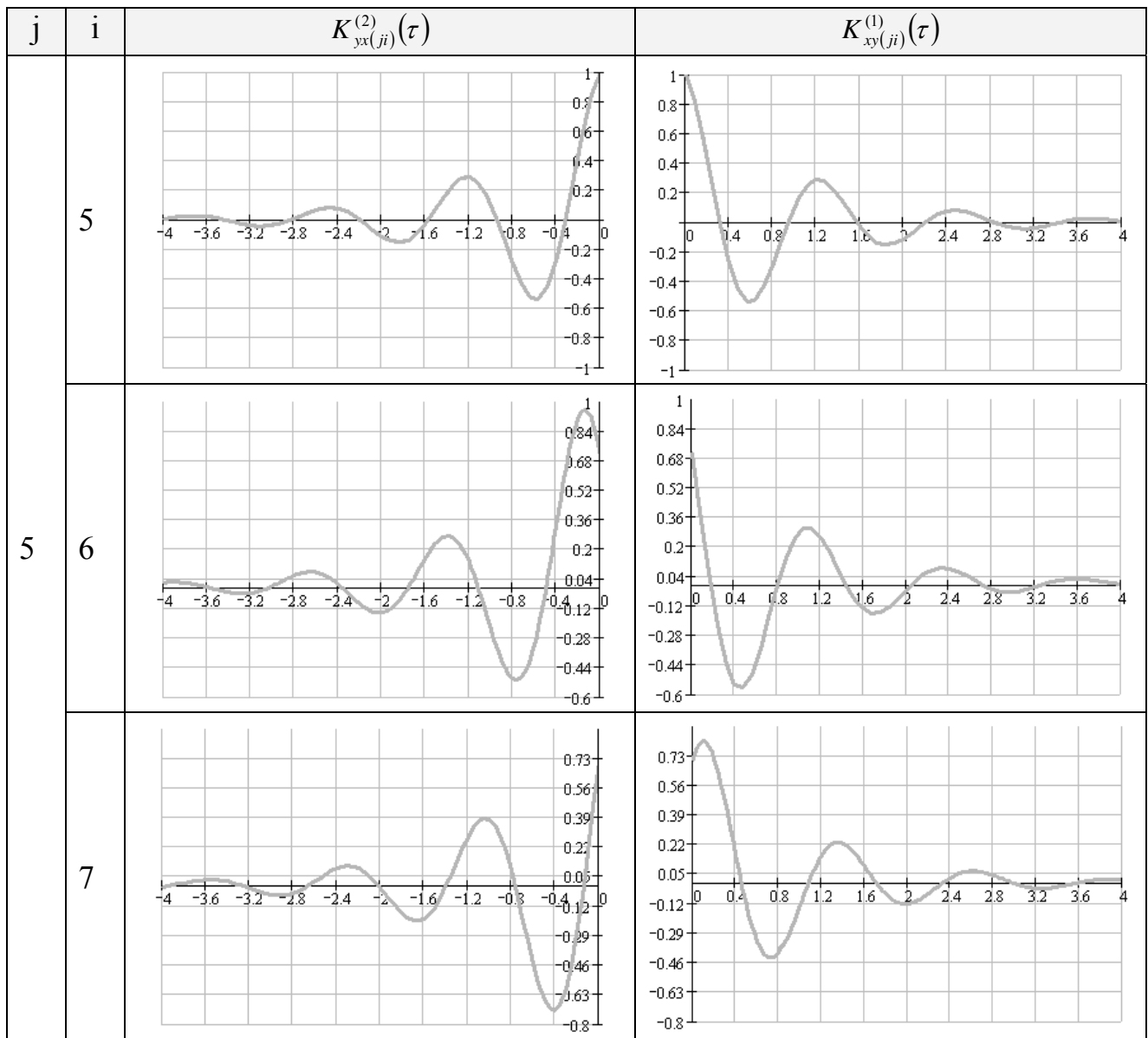


**5. ВКФ для модели:**

$$K_{x(s)}(\tau, \lambda_s, \omega_{0,s}) = \sigma_x e^{-\lambda_s |\tau|} \cdot \cos(\omega_{0,s} \tau)$$

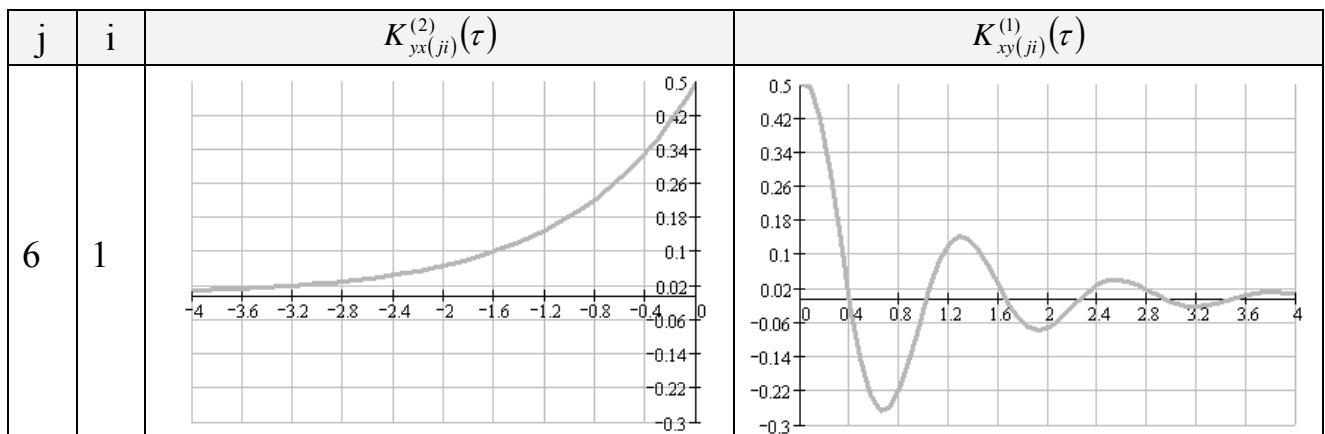


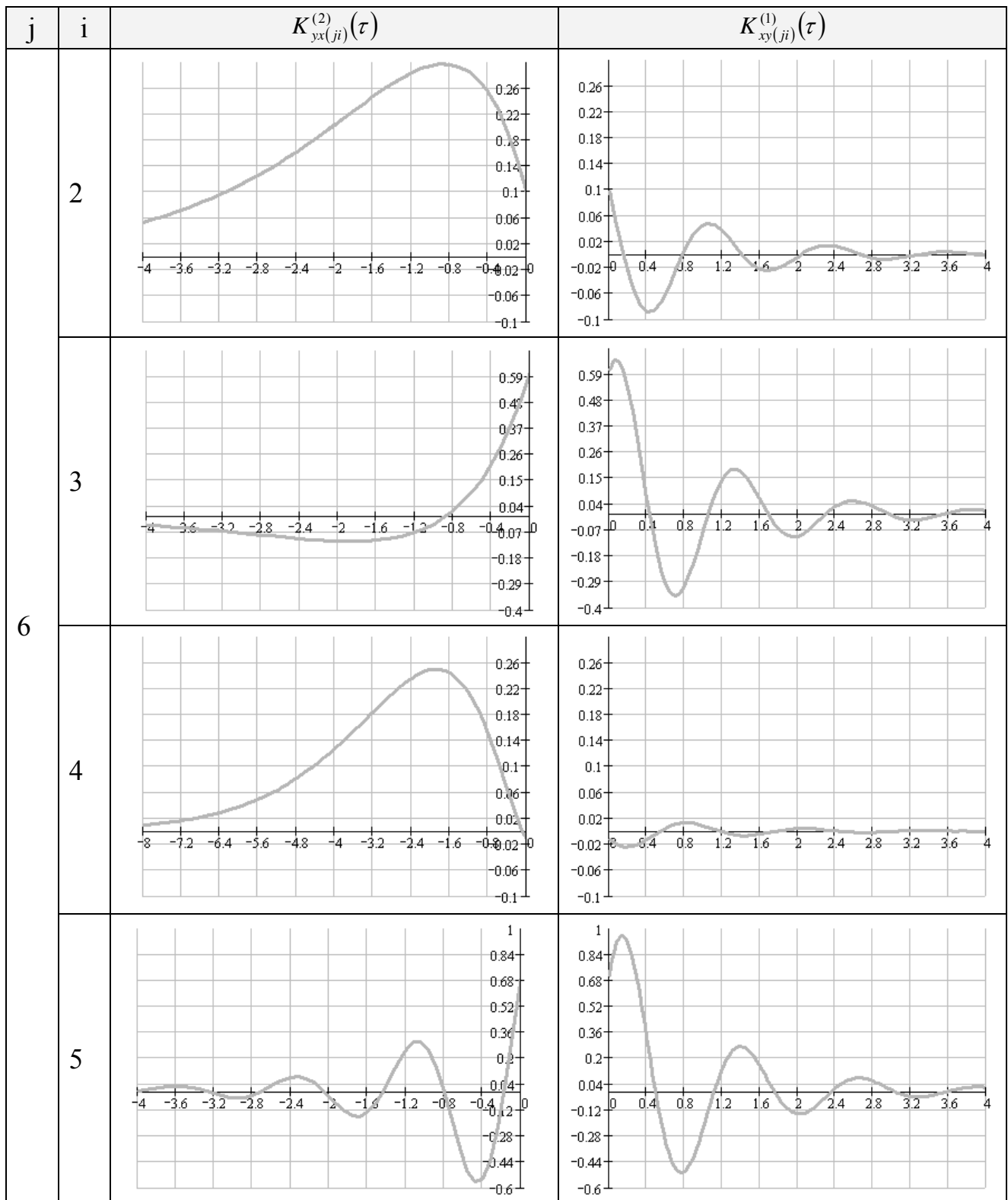


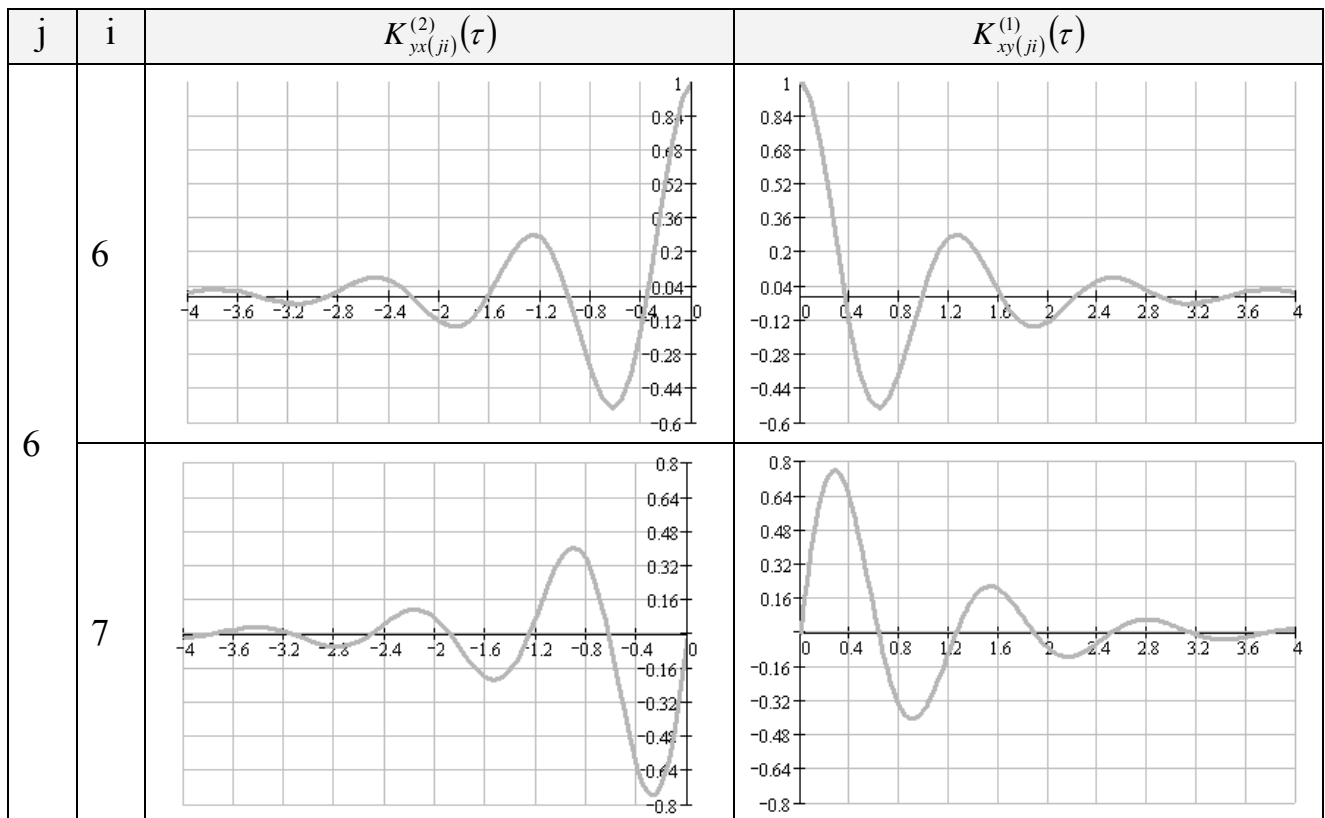


**6. ВКФ для модели:**

$$K_{x(6)}(\tau, \lambda_6, \omega_{0,6}) = \sigma_x e^{-\lambda_6 |\tau|} \cdot \left( \cos(\omega_{0,6} \tau) + \frac{\lambda_6}{\omega_{0,6}} \sin(\omega_{0,6} \tau) \right)$$

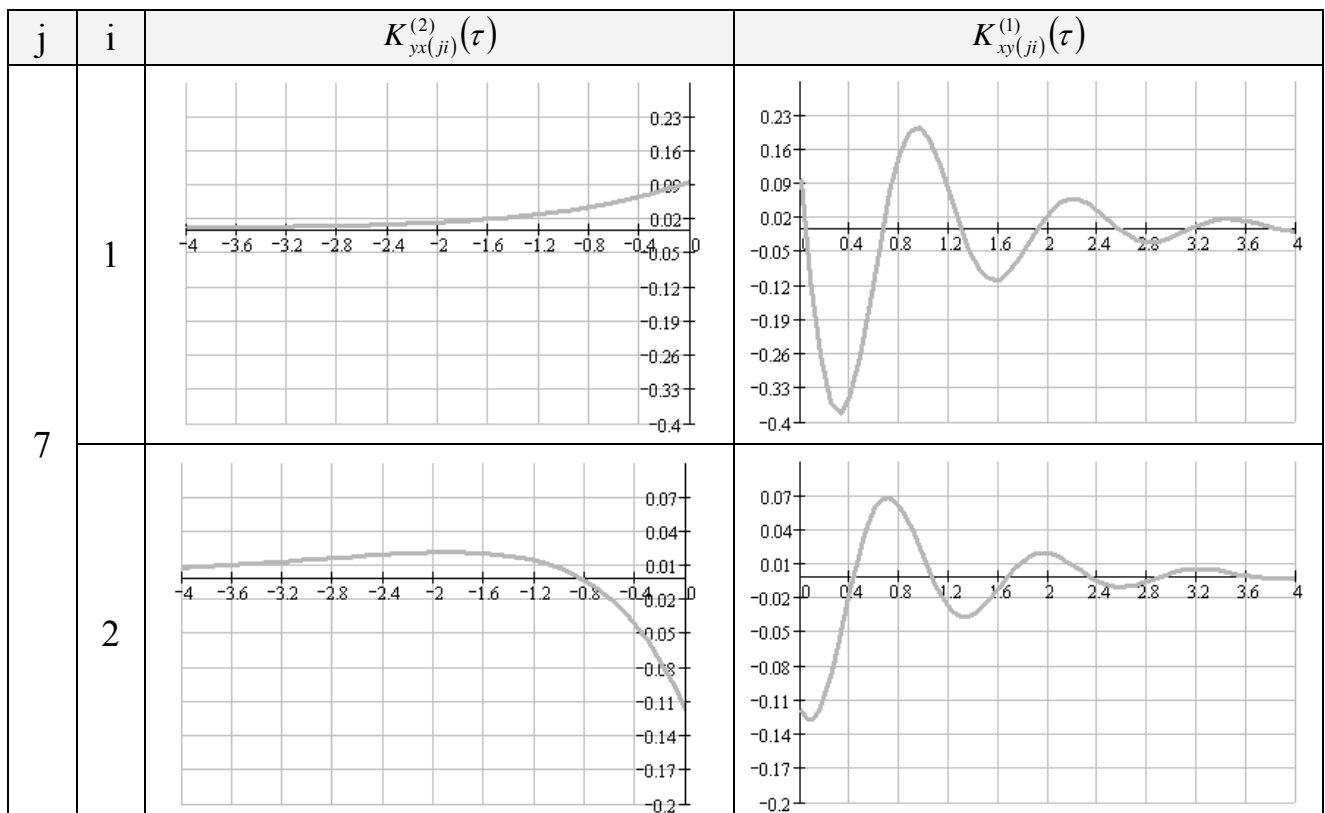


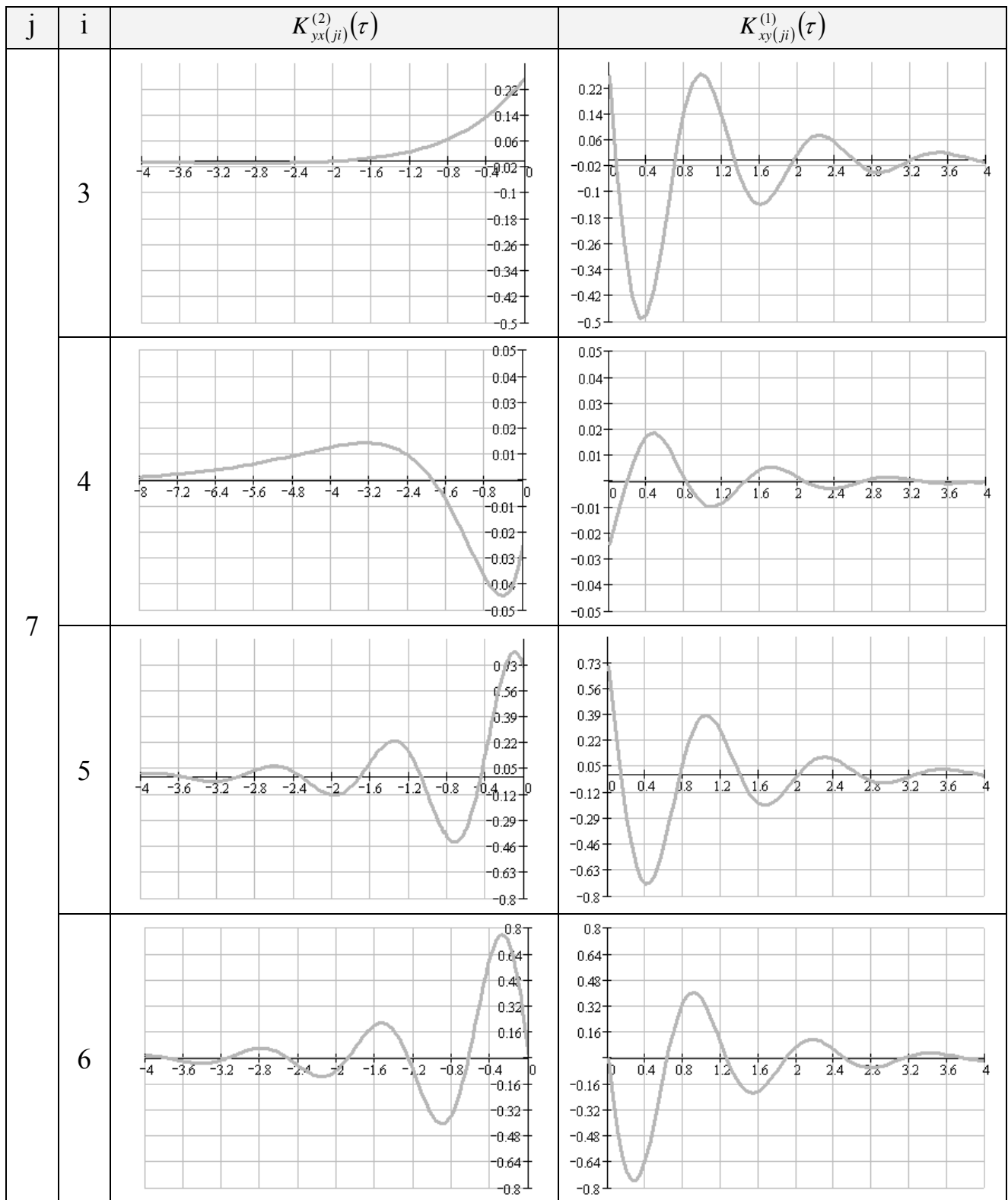




**7. ВКФ для модели:**

$$K_{x(7)}(\tau, \lambda_7, \omega_{0,7}) = \sigma_x e^{-\lambda_7 |\tau|} \cdot \left( \cos(\omega_{0,7} \tau) - \frac{\lambda_7}{\omega_{0,7}} \sin(\omega_{0,7} \tau) \right)$$





j	i	$K_{yx(ji)}^{(2)}(\tau)$	$K_{xy(ji)}^{(1)}(\tau)$
7	7		

### Формат файлов автоматизированного комплекса

Система функциональных модулей	
МОДУЛИ	
[Наименование модуля № 1]	
[координата X]	
[координата Y]	
[тип функционального модуля]	
...	
[Наименование модуля № N]	
[координата X]	
[координата Y]	
[тип функционального модуля]	
ДУГИ	
[Наименование дуги №1]	
[Наименование модуля источника]	
[Наименование модуля приемника]	
...	
[Наименование дуги № M]	
[Наименование модуля источника]	
[Наименование модуля приемника]	

#### Примечание:

В квадратных скобках указывается содержимое параметра.

N – Количество функциональных модулей в системе.

M – Число дуг в системе.

Параметр «Тип функционального модуля» принимает следующие значения:

Функциональный модуль	
Наименование	Тип
Источник СП	3
Фильтр	4
Линия задержки	5
Формирователь ВКФ	6
Ортогональный фильтр	7
Формирователь спектра	9
Звуковая карта	11
Накопитель	12
НВЛ-08	13

<b>Формат файла СП (РД)</b>
[N] – число отсчетов
[dt] – шаг дискретизации
[x(0)] – отсчет СП № 0
...
[x(N-1)] – отсчет СП № N-1

**Примечание:**

N – Число отсчетов СП.

<b>Формат файла с ВКФ (РД)</b>
[N <sub>прав.</sub> ] – число отсчетов <b>правой</b> ветви
[N <sub>лев.</sub> ] – число отсчетов <b>левой</b> ветви
[dt] – шаг дискретизации ВКФ
[Kху <sub>прав.</sub> (0)] – отсчет <b>правой</b> ветви № 0
...
[Kху <sub>прав.</sub> (N-1)] – отсчет <b>правой</b> ветви № N-1
[Kху <sub>лев.</sub> (0)] – отсчет <b>левой</b> ветви № 0
...
[Kху <sub>лев.</sub> (N-1)] – отсчет <b>левой</b> ветви № N-1

**Примечание:** при сохранении КФ, сгенерированной на первой странице, число отсчетов левой ветви равно 1, а его значение равно значению КФ в нуле.

<b>Формат файла с коэффициентами (beta/b)</b>
1
[alfa <sub>прав.</sub> ] – параметр ортогональной функций правой ветви
[beta <sub>прав.</sub> (0)] – коэффициент правой ветви № 0
...
[beta <sub>прав.</sub> (M <sub>прав.</sub> )] – коэффициент правой ветви № M <sub>прав.</sub>
[alfa <sub>лев.</sub> ] – параметр ортогональных функций левой ветви
[beta <sub>лев.</sub> (0)] – коэффициент левой ветви № 0
...
[beta <sub>лев.</sub> (M <sub>лев.</sub> )] – коэффициент левой ветви № M <sub>лев.</sub>
MAX X, Y, SHIFT:
[MAX x] – координата x точки максимума
[MAX y] – координата y точки максимума
[MAX shift] – сдвиг максимума относительно нуля (номер отсчета)
$\tau_k^{(2)}$ – интервал корреляции
$\tau_k^{(4)}$ – интервал корреляции
[M <sub>прав.</sub> ] – порядок аппроксимирующей функции правой ветви
[M <sub>лев.</sub> ] – порядок аппроксимирующей функции левой ветви
[basis <sub>прав.</sub> ] – базис ортогональных функций правой ветви

1
[basis <sub>лев.</sub> ] – базис ортогональных функций левой ветви
[err_мет <sub>прав.</sub> ] – методическая погрешность правой ветви
[err_мет <sub>лев.</sub> ] – методическая погрешность левой ветви
[err_сред <sub>прав.</sub> ] – среднеквадратическая погрешность правой ветви
[err_мет <sub>лев.</sub> ] – среднеквадратическая погрешность левой ветви

### Формат файлов со спектром

Вещественная часть спектра ReSxy	Мнимая часть спектра ImSxy	Спектральная плотность мощности Sxy
$\Delta\omega$	$\Delta\omega$	$\Delta\omega$
$\omega_3$	$\omega_3$	Re Sxy(0)
Re Sxy( $j\omega_3$ )	Im Sxy( $j\omega_3$ )	...
$\Delta\omega_3$	$\Delta\omega_3$	Re Sxy(N)
Re Sxy(0)	Im Sxy(0)	Im Sxy(0)
...	...	...
Re Sxy(N)	Im Sxy(N)	Im Sxy(N)

Фаза спектра SxyPh	Модуль спектра SxyMo
$\Delta\omega$	$\Delta\omega$
SxyPh(0)	SxyMo(0)
...	...
SxyPh(N)	SxyMo(N)

где  $\Delta\omega$  – шаг дискретизации по частоте;  
 $\omega_3$  – частота max спектра;  
 Re Sxy( $j\omega_3$ ), Im Sxy( $j\omega_3$ ) – значение спектра в точке max;  
 $\Delta\omega_3$  – эквивалентная ширина спектра;  
 N – число отсчетов спектра;  
 Re Sxy( $i \cdot \Delta\omega$ ) – значение вещественной части спектра на частоте  $i \cdot \Delta\omega$ ;  
 Im Sxy( $i \cdot \Delta\omega$ ) – значение мнимой части спектра на частоте  $i \cdot \Delta\omega$ ;  
 SxyPh( $i \cdot \Delta\omega$ ) – значение фазы спектральной плотности мощности на частоте  $i \cdot \Delta\omega$ ;  
 SxyMo( $i \cdot \Delta\omega$ ) – значение модуля спектральной плотности мощности на частоте  $i \cdot \Delta\omega$ .



**Прохоров С.А., Графкин А.В.**

Программный комплекс корреляционно-спектрального анализа  
в ортогональных базисах

Компьютерный набор и верстка:  
Прохоров С.А., Графкин А.В.;  
Лицензия ЛР № 040910 от 10.08.98

Подписано в печать 1.07.2005 г.  
Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 24  
Тираж 500 экз. Заказ № 299

Самарский научный центр Российской академии наук.  
443001, Самара, Студенческий переулок, 3 А.