СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 408153 СССР, B 01D 3/42, G 05D 27/00. Способ автоматического регулирования процесса ректификации / П.М. Крицула (СССР). – № 1688908/23–26; заявл. 28.07.71; опубл. 10.12.73, Бюл. № 47. – 4 с.: ил.

2. А.с. 944600 СССР, B 01D 3/42. Способ автоматического регулирования процесса ректификации / В.Б. Покровский, Ю.Л. Павлов и др. (СССР). – № 3237228/23–26; заявл. 20.01.81; опубл. 23.07.82, Бюл. № 27. – 3 с.: ил.

3. А.с. 1095921 СССР, B 01D 3/42. Система автоматического управления тепловым режимом ректификационной колонны / В.В. Ажогин, В.Д. Романенко и др.(СССР). – № 3567739/23–26; заявл. 30.03.83; опубл. 07.06.84, Бюл. № 21. – 4 с.: ил.

4. А.с. 1430053 СССР, B 01D 3/42, G 05D 27/00. Способ автоматического регулирования теплового режима ректификационной колонны / Б.Г. Лещев (СССР). – № 4098903/23–26; заявл. 1.05.86; опубл. 15.10.88, Бюл. № 38. – 3 с.: ил.

5. А.с. 1526723 СССР, B 01D 3/42, G 05D 27/00. Способ автоматического регулирования процесса ректификации / Н.Ю. Булатов, А.А. Большаков (СССР). – № 4127249/23–26; заявл. 01.10.86; опубл. 07.12.89, Бюл. № 45. – 4 с.: ил.

6. Агринская С.А. Исследование алгоритмов управления качеством процесса ректификации // Инновационные технологии в обучении и производстве: Материалы V Всероссийской научно–практической конференции, г. Камышин, 4–6 декабря 2008 г.: В 3 т. Т1. – Волгоград, 2008. – с. 145 – 146.

7. Агринская С.А. Робастное управление процессом ректификации // Ресурсо-энергосбережение и эколого-энергетическая безопасность промышленных городов: Третья Всероссийская научно–практическая

конференция, г. Волжский, 28–30 сентября 2010 г. / Сборник материалов конференции. – Волжский: Филиал «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2010. – с. 211 – 213.

8. Агринская С.А. Робастное управление ректификационной колонной // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Семнадцатая Международная научно–техническая конференция студентов и аспирантов: Тез. докл. В 3 т. Т.3. М.: Издательский дом МЭИ. – 2011. – с. 202 – 203.

9. Агринская С.А., Ванина Е.А. Исследование и разработка алгоритмов управления процессом ректификации в укрепляющей части ректификационной колонны // Сборник материалов XIII межвузовской научно-практической конференции молодых ученых и студентов г. Волжского. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)», 2007. – с. 21 – 22.

10. Агринская С.А., Ванина Е.А. Исследование и разработка алгоритмов управления процессом ректификации в укрепляющей части ректификационной колонны // Интеллектуальные измерительные системы в промышленности Южного региона: Материалы Всероссийской научно–практической конференции / Сборник научных статей. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)», 2007. – с. 115 – 118.

11. Агринская С.А., Власова О.С. Исследование и разработка алгоритмов управления процессом ректификации в кубе ректификационной колонны // Сборник материалов XIII межвузовской научно–практической конференции молодых ученых и студентов г. Волжского. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)», 2007. – с. 23 – 24.

12. Агринская С.А., Власова О.С. Исследование и разработка алгоритмов управления процессом ректификации в кубе ректификационной колонны // Интеллектуальные измерительные системы в промышленности Южного региона: Материалы Всероссийской научно–практической конференции / Сборник научных статей. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)», 2007. – с. 119 – 122.

13. Агринская С.А., Гордеев В.Ю., Филатова С.О. Математическое описание ректификационной колонны // XIV межвузовская научно–практическая конференция молодых ученых и студентов. г. Волжский, 26–30 мая 2008 г.: Тезисы докладов. В 4 т. Т. 2. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2008. – с. 7 – 9.

14. Агринская С.А., Королева М.И., Немировская А.А. Разработка аналитической математической модели ректификационной колонны // Сборник материалов XIV межвузовской научно-практической конференции молодых ученых и студентов, 25–29 мая 2009 г.: Тезисы докладов. В 4 т. Т.1. –Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)», 2009. – с. 35 – 36.

15. Агринская С.А., Филатова С.О. Адаптивное управление процессом ректификации // Ресурсо–энергосбережение и эколого–энергетическая безопасность промышленных городов: Сборник материалов второй всероссийской научно-практической конференции. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)», 2008. – с. 112 – 117.

16. Агринская С.А., Филатова С.О. Адаптивное управление процессом ректификации // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тез. докл. XV МНТК студентов и аспирантов: В 3 т. Т.3. – М.: МЭИ, 2009. – с. 213 – 214.

17. Агринская С.А., Филатова С.О. Оптимальное управление ректификационной колонной по критерию эффективности работы // Моделирование и создание объектов энерго–ресурсосберегающих технологий: Межрегиональная научно-практическая конференция, г. Волжский, 22 – 25 сентября 2009 г./ Сборник материалов конференции. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2009. – с. 150 – 154.

18. Агринская С.А., Филатова С.О. САР эффективности работы ректификационной колонны тарельчатого типа // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Шестнадцатая Междунар. науч. –техн. конф.

студентов и аспирантов: Тез. докл. В 3 т. Т.3. М.: Издательский дом МЭИ. – 2010. – с. 255 – 256.

19. Агринская С.А., Филатова С.О. Супервизорное управление ректификационной колонной тарельчатого типа // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия Прогрессивные технологии в машиностроении. Вып.6: межвуз. сб. науч. ст. № 12(72) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – с. 69 – 70.

20. Агринская С.А., Филатова С.О., Шевчук В.П. Система управления эффективностью работы ректификационной колонны тарельчатого типа // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2010. – №7. – с. 25 – 29.

21. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. – М.: Высш. школа, 1989. – 263 с.

22. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Методы расчёта и основы конструирования. – М.: Химия, 1978. – 278 с.

23. Анисимов И.В., Бодров В.И., Покровский В.Б. Математическое моделирование и оптимизация ректификационных установок. – М.: Химия, 1975.

24. Аракелян Э.К., Пикина Г.А. Оптимизация и оптимальное управление: Учебное пособие / Под ред. Т.Е. Щедеркиной. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 356 с.

25. Бесекерский В.А., Небылов А.В. Робастные системы автоматического управления. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 240 с.

26. Бочаров М.Г., Шевчук В.П. Разработка и исследование алгоритмов управления флегмовым числом в технологическом процессе азеотропной ректификации // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2006. – №8. – с.7 – 10.

27. Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. – М.: Химия, 1969.

28. Быков Ю.М. Основы обработки информации в АСУ химических производств: Теория и расчет информационных подсистем. – Л.: Химия, 1986. – 152 с.

29. Быков Ю.М., Трояновский В.М. О количественной оценке эффективности алгоритмов управления // Приборы и системы управления. – 1977. – №3. – с. 17 – 19.

30. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – 3-е изд., исправл. – М.: Наука, 1964 г. – 576 с.

31. Волгин В.В. Модели случайных процессов для вероятностных задач синтеза АСУ. Генеральная совокупность реализаций. Эргодичность. Единственная реализация. – М.: Изд-во МЭИ, 1998. – 64 с.

32. Волгин В.В., Ажикин В.А. Расчет настроек дискретно-непрерывных систем управления / Под ред. В.С. Мухина. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 20 с.

33. Волгин В.В., Щедеркина Т.Е. Определение вероятностных характеристик случайных процессов: Методическое пособие – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 27 с.

34. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1981. – 217 с.

35. Голубятников В.А., Шувалов В.В. Автоматизация процессов в химической промышленности. – М.: Химия, 1972. – 247 с.

36. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы. – М.: Наука, 1973. – 228 с.

37. Джон М. Смит. Математическое и цифровое моделирование для инженеров и исследователей / Пер. с англ. Н.П.Ильиной; под ред. О.А. Чембровского – М.: Машиностроение, 1980 г. – 271 с.

38. Долежалик В. Подобие и моделирование в химической технологии. Пер. с чешского. Под ред. Н.И. Гельперина. – М.: Гостоптехиздат, 1960. – 96 с.

39. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления / Пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.

40. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ: Пер. с англ. – М.: Статистика, 1973. – 392 с.

41. Заявка № 2010148090 на патент РФ, МПК: B 01 D 3/42. – Способ автоматического управления процессом ректификации // Авторы Агринская С.А., Филатова С.О., Шевчук В.П.

42. Ицкович Э.Л. Контроль производства с помощью вычислительных машин. – М.: Энергия, 1975. – 416 с.

43. Каганов В.И. Радиоэлектронные системы автоматического управления. Компьютеризированный курс: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 432 с.

44. Капля Е.В., Кузеванов В.С., Шевчук В.П. Моделирование процессов управления в интеллектуальных измерительных системах. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 512 с.

45. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 784 с.

46. Касаткин А.Г., Плановский А.Н., Чехов О.С. Расчет тарельчатых ректификационных и абсорбционных аппаратов. – М.: Стандартгиз, 1961.

47. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. Учебное пособие для хим.-технол. ВУЗов и хим.-технол. фак. политехнич. ВУЗов. – М.: Химия, 1971. – 496 с.

48. Кафаров В.В. Проблемы управления химическими процессами. – М.: Знание, 1978. – 276 с.

49. Кафаров В.В., Перов В.А., Мешалкин В.П. Принципы математического моделирования химико-технологических систем. – М.: Химия, 1974. – 344 с.

50. Квакернаак Х., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления / Пер. с англ. В.А. Васильева, Ю.А. Николаева. – М.: Мир, 1977. – 653 с.

51. Киселёв В.М. Ректификация в химической промышленности. – Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1973. – 173 с.

52. Клюев А.С. Автоматическое регулирование. – М.: Энергия, 1967. – 344 с.

53. Коган В.Б., Фридман В.Д., Кафаров В.В. Равновесие между жидкостью и паром. – М.: Наука, 1966.

54. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1973. – 832 с.

55. Кривсунов В.Н. Вопросы математического описания переходных процессов в тарельчатой ректификационной колонне. Комплексная автоматизация химических производств. Сборник трудов МИХМ. – М.: Машгиз, 1963.

56. Куржанский А.Б. Управление и наблюдение в условиях неопределенности. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1977. – 392 с.

57. Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные автоматические системы. – М.: Машиностроение, 1982. – 505 с.

58. Масленников И.М., Цирлин А.М., Добролюбов Г.В. Практикум по автоматике и системам управления производственными процессами химической промышленности. – М.: Химия, 1971.

59. Математическое моделирование химических производств / Кроу К. и др. Пер. с англ. Под ред. Г.М. Островского. – М.: Мир, 1973. – 392 с.

60. Муха Ю.П., Шевчук В.П. Прикладные методы для автоматизированного проектирования АСУ ТП. Ч. 1. Методы проектирования информационных подсистем АСУ ТП: Учебное пособие. – Волгоград: Волгоград. политехн. ин-т, 1990. – 80 с.

61. Муха Ю.П, Шевчук В.П. Прикладные методы для автоматизированного проектирования АСУ ТП. Ч. 2. Методы проектирования управляющих подсистем АСУ ТП: Учеб. пособие. – Волгоград: Волгоград . политехн. ин-т, 1992. – 80 с.

62. Островский Г.М., Волин Ю.М. Моделирование сложных химико-технологических схем. – М.: Химия, 1975 – 312 с.

63. Пат. 84965 Российская Федерация, G 01D 3/02. Изменяемый полевой прибор / Болдырев И.А., Шевчук В.П. – опубл. 20.07.09, Бюл. № 20.

64. Пат. 94333 Российская Федерация, G 01D 21/00. Стенд для диагностики программного обеспечения и измерительных каналов многофункциональных систем контроля и управления / Болдырев И.А., Шамигулов П.В., Шевчук В.П. – опубл. 20.05.10, Бюл. № 14.

65. Пат. 104475 Российская Федерация, МПК: B 01 D 3/42. Устройство автоматического регулирования процессом ректификации / Шевчук В.П., Агринская С.А., Филатова С.О.; заявитель и патентообладатель Московский энергетический институт. – № 2010150625/05; заявл. 10.12.10; опубл. 20.05.11, Бюл. № 14. – 5 с.: ил.

66. Перов В.Л. Основы теории автоматического регулирования химико-технологических процессов / Под ред. Чл.-кор. АНСССР В.В. Кафарова. – М.: Химия, 1970.

67. Плановский А.Н., Николаев Л.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. – М.: Химия, 1987. – 495 с.

68. Плютто В.П. Практикум по теории автоматического регулирования химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1969. – 112 с.

69. Погодаев А.К., Блюмин С.Л. Адаптация и оптимизация в системах автоматизации и управления: Монография. – Липецк: ЛЭГИ, 2003. – 128 с.

70. Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление. – М.: Наука, 2002. – 303 с.

71. Портнов Л.П., Филиппов Г.Г. В кн.: Математические проблемы химии. Ч.1. – Новосибирск, 1975. – 98 с.

72. Построение математических моделей химико-технологических объектов / Е.Г. Дудников, В.С. Балакирев, В.Н. Кривсунов, А.М. Цырлин. – М.: Химия, 1970. – 312 с.

73. Пугачев В.С. Теория случайных функций и её применение к задачам автоматического управления. Изд. 3-е, испр. – М:: Физматгиз, 1962. – 883 с.

74. Пьявченко Т.А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами и технологическими объектами: Учебное пособие. – Таганрог: изд-во ТРТУ, 1997 – 128 с.

75. Родякина Р.В. Автоматизированное проектирование и математическое моделирование технологических процессов: В 2 ч. Ч.2: учебное пособие/ Р.В. Родякина; под ред. В.М. Качалова. – М.: Издательство МЭИ, 2006. – 60 с.

76. Розенберг В.Я. Введение в теорию точности измерительных систем. – М.: Советское Радио, 1975. – 304 с.

77. Ротач В. Я. Теория автоматического управления: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 400 с.

78. Руководство пользователя TRACE MODE 6. В 2 т. Т.2. – М.: AdAstra Research Group, Ltd, 2008. – 518 с.

79. Семенов А.Д., Артамонов Д.В., Брюхачев А.В. Идентификация объектов управления: Учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2003. – 211 с.

80. Справочная система «Круг-2000» // НПФ «Круг». Комплект поставки «Круг-2000».

81. Справочная система «MasterSCADA 2» // ИнСАТ. Комплект поставки «MasterSCADA 2».

82. Справочная система «TraceMode 5» // AdAstrA. Комплект поставки «TraceMode 5».

83. Тюкин И. Ю., Терехов В.А. Адаптация в нелинейных динамических системах. – С-Пб.: Санк-Петербургский Государственный

университет, 2006. – 378 с.

84. Филиппов Г.Г., Шевырева Л.И. Математическое обеспечение ректификационных колонн на ЭЦВМ. Метод характеристических температур. – М.: НИИТЭХИМ, 1972.

85. Фишер Р.А. Статистические методы для исследователей. – М.: Госстатиздат, 1958.

86. Фомин В.Н., Фрадков А.Л., Якубович В.А. Адаптивное управление динамическими объектами. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 448 с.

87. Цыкунов А.М. Адаптивное и робастное управление динамическими объектами по выходу: Монография. – М.: Физматлит, 2009. – 267 с.

88. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1968. – 400 с.

89. Цыпкин Я.З. Основы теории автоматических систем. – М.: Наука, 1977. – 560 с.

90. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем. – М.: Физматгиз, 1963 г.

91. Чичилин А.А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Учебное пособие. – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2004. – 30 с.

92. Чичилин А.А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Учебное пособие по SCADA-системе ТРЕЙС МОУД 5 (базовый курс). – Волжский: ВФ МЭИ (ТУ), 2003. – 48 с.

93. Чураков Е.П. Оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 256 с.

94. Шамигулов П.В.Использование программы Mathcad для решения задач теории автоматического управления. Учебное пособие по дисциплине «Теория автоматического управления». – Волжский: Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2004. – 38 с.

95. Шевчук В.П. Расчет динамических погрешностей интеллектуальных измерительных систем. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 288 с.

96. Шевчук В.П. Теория информационных каналов систем управления. Ч. 3. Математические основы описания линейных и нелинейных программно-аппаратных каналов обработки информации: Учебное пособие. – Волгоград: ВолгГТУ, 1993. – 128 с.

97. Шевчук В.П., Агринская С.А. и др. Моделирование переходных процессов в ректификационной колонне тарельчатого типа по текущему значению эффективности работы колонны // Отчёт о НИР МЭИ № 107-10. Информационная карта ГР №01201056680, инв. № 0220.1 057075. М.: ФГНУ «Центринформ», 2010. – 97 с. (грант РФФИ № 10-08-00125-а)

98. Шенброт И.М., Алиев В.М. Проектирование вычислительных систем распределенных АСУТП. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 88 с.

99. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 420 с.

100. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления / Пер. с англ. под ред. Н.С. Райбмана. – М.: Мир, 1975 г. – 680 с.

101. Экспериментальное определение моделей статики и динамики объектов управления: учебное пособие / Т.Е. Щедеркина, В.В. Волгин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 56 с.

102. Яглом А.М. Корреляционная теория стационарных случайных функций. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 280 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Экспериментальные данные

Таблица А.1– Исчерпывающая часть колонны

Время, час	Расход перег. пара, кг/час	Температура куба %	Температура 16-й тарелки %	Температура 22-й тарелки %	Температура 28-й тарелки %	Время, час	Расход перег. пара, кг/час	Температура куба %	Температура 16-й тарелки %	Температура 22-й тарелки %	Температура 28-й тарелки%
0	4800	83	65.5	50	40 5	96.5	4800	84	65	50	40
0.5	4900	82.5	66	50	40.5	97	4900	84	65	50 5	40
1	4900	83	65.5	50	40.5	97.5	4800	84	65	50.5	40
1 5	4900	83	65.5	50	40.5	98	4800	84	65	51	39.5
2	4900	83	65.5	50	40.5	98.5	4800	84	65	51	40
2 5	4800	83	65.5	50	40.5	99	4700	84	65	51 5	39.5
3	4700	83	65.5	50	40.5	99.5	4900	83 5	65	51.5	39.5
3.5	4800	83	66	50	40.5	100	4900	83 5	64.5	51.5	39.5
4	4800	84	65 5	50	40 5	100 5	5000	83.5	64.5	51	39.5
4.5	4800	84	65.5	50	40.5	101	4700	83.5	64.5	50	39.5
5	4800	84.5	65 5	50	40.5	101.5	4800	83	64.5	49.5	39.5
5 5	4900	84.5	65.5	50	40.5	102	4800	83	65	49	39.5
6	4900	84.5	66	50	41	102.5	4800	83	65	49	39 5
6.5	4900	84.5	66	50	41	103	4800	83	65	49	39 5
7	4700	84.5	66	50	41	103.5	4900	83	65	49	40
7.5	4700	84.5	66	50	41	104	4900	83	65	49.5	40
8	4800	84.5	66	50	40.5	104.5	4900	83.5	65.5	50	40
8.5	4800	85	66	50	40.5	105	4800	83.5	65.5	50	40.5
9	4800	84	66	50	40.5	105.5	4800	83.5	65.5	50	40.5
9.5	4800	84	66	50	40.5	106	4800	83 5	65.5	50	40
10	4900	84	66	50	40.5	106.5	4700	83.5	65.5	50	40
10.5	4900	84	65.5	50	40.5	107	4700	83.5	65	50	40
11	4900	84	66	50	40.5	107.5	4700	83.5	65.5	49 5	40
11.5	4800	84	66	50	40.5	108	4800	83	65	49.5	40
12	4800	83.5	66	50	40.5	108 5	4800	83	65	49.5	40
12.5	4800	83	66	50	40.5	109	4800	83	65	49.5	39.5
13	4800	83	66	50	40 5	109 5	4800	83	65	49.5	40
13.5	4800	83	66	50	40.5	110	5000	83	65	49.5	40
14	4700	82.5	66	50	40.5	110.5	4800	83	65	49.5	39.5
14 5	4700	82.5	66	50	40.5	111	4700	83	65	49.5	39.5
15	4800	82.5	65.5	50	40.5	111.5	4800	83	65	49.5	40
15.5	4800	82.5	65.5	50	40.5	112	4900	83	65	49.5	40
16	4800	82	65.5	50	40.5	112.5	4900	83	65	49 5	40
16.5	4800	82	66	50	40.5	113	4900	83	65	49.5	40
17	4900	82	66	50	40.5	113 5	4800	83	65	49.5	40
17.5	4900	82	66	50	40.5	114	4800	83	65	49.5	39.5
18	4800	82	65.5	49.5	40.5	114.5	4900	83.5	65	49.5	39.5
18.5	4800	82	65	49.5	40	115	4900	83.5	65	49.5	39.5
19	4900	81.5	65	49.5	40	115.5	5000	84	65	49.5	39.5
19.5	4900	81	65	49.5	40	116	5000	84	65	49.5	39.5
20	4900	81	65	49.5	40	116.5	4900	84	65	49.5	39.5
20.5	5000	81.5	65	49.5	40	117	4800	84	65	49.5	39.5
21	5000	81.5	65	49.5	40	117 5	4800	84	65	49.5	40
21.5	5000	81.5	65	49.5	40	118	4900	84	65	49.5	39.5
22	5000	81.5	65	49.5	40	118.5	4900	84	65	49.5	40
22 5	5000	81.5	65	49.5	40	119	4900	84	65	49.5	39.5
23	5000	81.5	65	49.5	40	119.5	4800	83.5	65	49.5	39.5
23.5	4800	82	65	49.5	40	120	4700	83.5	65	49.5	39.5

24	4900	82	65	49.5	39.5	120.5	4700	83	65	49.5	39.5
24.5	4900	81.5	65	49.5	39.5	121	4700	83	65	49.5	39.5
25	4900	82	65	49.5	39.5	121.5	4800	83	65	49.5	40
25.5	4900	82	65	49.5	39.5	122	4800	83	65	49.5	40
26	4800	82	65	49.5	39.5	122.5	4800	83	65	49.5	40
26.5	4800	81.5	65	49.5	39.5	123	4900	83	65	49.5	40
27	4800	81	65	50	39.5	123.5	4900	83	65	49.5	40
27.5	4800	81	65	50	40	124	4900	83	65	49.5	40
28	4800	81	65	50	40	124.5	4700	83	65	49.5	40
28.5	4900	81	65	50	40	125	4800	83.5	65	49.5	40
29	4900	81	65	50	40	125.5	4800	83.5	65	49.5	40
29.5	4900	81	65	49.5	40	126	4800	83.5	65	49.5	40
30	4900	81	65	49.5	40	126.5	4900	83.5	65	50	40
30.5	4900	81	65	50	40	127	4900	83.5	65	50	40
31	4700	81	65	50	40	127.5	4800	83	65	49.5	40
31.5	4700	81	65	50	39.5	128	4800	83	65	49.5	39.5
32	4700	81.5	65	50	39.5	128.5	4800	83	65	49.5	39.5
32.5	4800	81.5	65	50	39.5	129	4800	83	65	49.5	40
33	4800	81.5	65	49.5	39.5	129.5	4700	83	65	49.5	40
33.5	4800	81	65	49.5	39.5	130	4700	83	65	49.5	40
34	4900	81	65	50	39.5	130.5	4700	83	65	49.5	40
34.5	4900	81	65	50	39.5	131	4900	83.5	65	49.5	40
35	4800	81	65	50	39.5	131.5	4800	83.5	65	49.5	40
35.5	4800	81	65	50	39.5	132	4800	83.5	65	49.5	40
36	4800	81	65	50	39.5	132.5	4700	83.5	65	49.5	40
36.5	4800	81	65	50	39.5	133	4800	83.5	65	49.5	40
37	4800	81	65	50	39.5	133.5	4800	84	65	49.5	40.5
37.5	4800	81	65	50	39.5	134	4800	84	65	50	40.5
38	4700	81.5	65	50	40	134.5	4800	84	65	49.5	39.5
38.5	4700	81.5	65	50	40	135	4900	83	65	49.5	39
39	4700	82	65	50	39.5	135.5	4900	83	65	49.5	39
39.5	4700	82	65	50	39.5	136	5000	83	65	49.5	40
40	4700	82	65	50	39.5	136.5	5000	83	65	49.5	39.5
40.5	4700	82	64.5	50	39.5	137	4900	83.5	65	49.5	39.5
41	4700	82	64.5	50	39.5	137.5	4900	83.5	65	49.5	40
41.5	4700	82	64.5	50	39.5	138	5000	83	65	49.5	39.5
42	4700	82	64.5	50	39.5	138.5	5000	83	65	49	39.5
42.5	4700	82	64.5	49.5	39.5	139	4900	83	65	49	39.5
43	4700	82	64.5	49.5	39.5	139.5	4900	83	65	49.5	40
43.5	5000	82	64.5	49.5	39.5	140	4900	83	65	49.5	40
44	5000	82	64.5	49.5	39.5	140.5	4800	83	65	49.5	40
44.5	5000	82	64.5	49.5	39.5	141	4800	83	66	49.5	40
45	5000	82	64.5	49.5	39.5	141.5	4900	83	64.5	49.5	40.5
45.5	4900	82	64.5	49.5	39.5	142	4900	83	64.5	50	40.5
46	4900	82	64.5	49.5	39.5	142.5	4900	83	63.5	50	40.5
46.5	4800	82	64.5	49.5	39.5	143	4800	83	65	50	40.5
47	4800	82	64.5	49.5	39.5	143.5	4800	83	65	49.5	39.5
47.5	4900	82	64.5	49.5	39.5	144	4800	83	65	49.5	40
48	4900	82	64.5	49.5	39.5	144.5	4800	82.5	65	49.5	39.5
48.5	4900	82	64.5	50	39.5	145	4900	82	65	49.5	39.5
49	4800	82	64.5	50	39.5	145.5	4800	82	64.5	49.5	39.5
49.5	4800	82	64.5	50	39.5	146	4800	82	64.5	49.5	39.5
50	4800	82	64.5	50	39.5	146.5	5000	82	65	49.5	39.5
50.5	4800	82	64.5	50	39.5	147	5000	82	65	49.5	39.5
51	4700	82	64.5	50	39.5	147.5	5000	82.5	65	49.5	39.5
51.5	4700	82	64.5	50	39.5	148	4800	82	65.5	49.5	40
52	4800	81.5	64.5	50	39.5	148.5	4800	82	65.5	49.5	40
52.5	4800	81.5	64.5	50	39.5	149	4800	82	65.5	49.5	40
53	4900	82	64.5	50	39.5	149.5	4800	82	66	49.5	40
53.5	4900	82	64.5	50	39.5	150	4800	82	66	50	40

54	4700	82	65	50	39.5	150.5	4800	82	65	50	40
54 5	4700	82 5	65	50	40	151	4900	82	64.5	50	40
55	4700	82 5	65	50	40	151.5	4900	82	64.5	50	40
55.5	4700	83	65	50	40	152	4900	82.5	64.5	50	39.5
56	4700	83	65	50	40	152 5	4800	82.5	64.5	49.5	39.5
56.5	4900	83	65	50	40	153	4800	83	64.5	49.5	39.5
57	4900	83	65	50	40	153.5	4800	83	65	49.5	39.5
57 5	4900	83	65.5	50	40	154	4700	83	65	49.5	39.5
58	4900	83 5	65.5	50	40	154.5	4700	83	65	49.5	39.5
58.5	4800	83 5	65.5	50	40.5	155	4800	83	65	49.5	39.5
59	4800	83.5	65.5	50	40 5	155.5	4800	83	65	49	39.5
59.5	4800	84	65.5	50	40	156	4800	83	65	49	39.5
60	4700	83.5	65.5	50	40	156.5	4900	83	65.5	49	39.5
60.5	4700	83	65	50	39.5	157	4800	83	65.5	49	39.5
61	4700	83	65	50	39.5	157.5	4800	83	65.5	49	40
61.5	4800	82 5	65	50	39.5	158	4900	83	65	49	40
62	4800	82.5	64.5	50	39.5	158.5	4900	83	64.5	49	39.5
62.5	4800	82	64.5	49.5	39.5	159	4800	83	64.5	49	39.5
63	4800	82	64.5	50	39.5	159.5	4900	83	64.5	49	39.5
63.5	5000	82	64.5	50	39.5	160	4900	83	64.5	49	39.5
64	5000	82	64.5	50	39.5	160.5	4800	83	64 5	49	39 5
64.5	5000	82	64.5	50	39 5	161	4900	82.5	64.5	49	39.5
65	4900	82.5	65	50	39.5	161.5	4900	82.5	64.5	49	39.5
65.5	4900	83	65	50	39.5	162	4900	83	64.5	49	39 5
66	4900	83.5	65	49.5	39.5	162.5	4900	83	64.5	49	39.5
66.5	4800	84	64.5	49.5	39.5	163	4900	83	64 5	49	39.5
67	4800	84	64.5	49.5	39.5	163.5	4800	83	65	49	39 5
67.5	4900	84	64.5	49.5	39.5	164	4800	83	64.5	49	39.5
68	4900	84.5	65	50	39.5	164.5	4800	82.5	64.5	49.5	39.5
68.5	4700	84.5	65	50	39.5	165	4900	82.5	64.5	49.5	39.5
69	4700	84.5	65	49 5	39 5	165.5	4900	82.5	64 5	49.5	40
69.5	4800	84.5	65	49.5	40	166	4900	82.5	64.5	49.5	40
70	4800	84.5	65	49.5	40	166.5	4800	82.5	64.5	49.5	39.5
70.5	4900	84.5	65	49.5	40	167	4800	82.5	64.5	49	39.5
71	4900	84.5	65	49.5	39.5	167.5	4700	82.5	64.5	49	39.5
71.5	4900	84.5	65	49.5	40	168	4700	82.5	64.5	49	39.5
72	4900	84.5	65	50	40.5	168.5	4800	82.5	64.5	49	39.5
72.5	4800	84	65.5	50	40 5	169	4800	82.5	64.5	49	39.5
73	4800	84	65.5	50	40.5	169.5	4800	82.5	64.5	49	39.5
73.5	4800	84	65.5	50	40.5	170	4900	82.5	65	49	39.5
74	4800	84	65.5	50	40.5	170.5	4900	82.5	65	49	39.5
74.5	4800	84	65	50	40.5	171	4900	82.5	65	49	39.5
75	4800	83.5	65	50	40	171.5	4700	82.5	64.5	49	39.5
75.5	5000	83	65	49.5	40	172	4800	82.5	64.5	49	39
76	5000	83	65	50	40	172.5	4800	82	64.5	49	39
76.5	4900	83	65	49.5	40	173	4800	82	64.5	49	39
77	4900	83	65	49.5	40	173.5	5000	82	64.5	49	39
77.5	4700	83	65	50	40	174	5000	82 5	64.5	49	39
78	4700	83	65	50	40	174.5	4800	83	64.5	49	39.5
78.5	4700	83	65	50	40	175	4900	83	64.5	49	39.5
79	4800	83	65	50	40	175.5	4900	83	64.5	49	39
79.5	4800	83	65	50	39.5	176	4800	83	64.5	49	39
80	4900	83	65	50	40	176.5	4800	82.5	64.5	49	39
80.5	4900	83	65.5	50	40	177	4900	82 5	64.5	49	39
81	4900	83	65	50	40	177.5	4800	82 5	64	49	39
81.5	4800	83	65.5	50	40	178	4700	82.5	64	49	39
82	4800	83	65.5	50	40	178.5	4700	82.5	64	49.5	39
82.5	4800	83	65	50	40	179	4800	82.5	64	49.5	39
83	4800	83	65	50	40.5	179.5	4800	82.5	64	49.5	39
83.5	4700	83	65.5	50	40.5	180	4800	82.5	64	49.5	39

84	4700	83	65	50	40	180.5	4900	82.5	64	49	39
84.5	4700	83	65	50	40	181	4900	82.5	64	49	39
85	4800	83	65	50	40	181.5	4800	82.5	64	49	39
85.5	4800	83	65	50	40	182	4800	82.5	64	49	39
86	4800	83	65.5	50	40	182.5	4900	82.5	64	49.5	39.5
86.5	4800	83	65.5	50	40	183	4900	82.5	64	49.5	39.5
87	4900	82.5	65	49.5	40	183.5	4900	82.5	64	49.5	39.5
87.5	4900	82.5	65	49.5	40	184	4800	82.5	64	49.5	39.5
88	4800	82.5	65	49.5	40	184.5	4800	82	64	49.5	39.5
88.5	4800	83	65	49.5	40	185	4900	82	64	49.5	39.5
89	4800	83	65	49.5	40	185.5	4900	82	64	49.5	39.5
89.5	4900	83	65	49.5	40	186	4900	82	64	49.5	39.5
90	4900	83	65	49.5	40	186.5	5000	82	64	49	39.5
90.5	4900	83	65	49.5	40	187	5000	82	64	49	39.5
91	4900	83	65	49.5	39.5	187.5	4800	82	64	49	39.5
91.5	5000	83	65	49.5	39.5	188	4800	82	64	49	39.5
92	5000	83	65	49.5	39.5	188.5	4900	82	64	49	39.5
92.5	4900	83	65	49.5	39.5	189	4900	82	64	49	40
93	4700	83	65	49.5	39.5	189.5	4700	82.5	64	49	40
93.5	4700	83	65	49.5	39.5	190	4700	82.5	64	49	40
94	4900	83.5	65	49.5	40	190.5	4800	83	64	49	40
94.5	4900	83.5	65	49.5	40	191	4800	83	64	49.5	40
95	4900	84	65	50	40	191.5	4800	83	64	49.5	39.5
95.5	4900	84	65	50	40	192	4700	83	64	49.5	39.5
96	4800	84	65	50	40	192.5	4800	83.5	64.5	49.5	39.5

Таблица А.2.– Укрепляющая часть колонны

Время, час	Расход хладагента, кг/час	Температура верха %	Температура 37-й тарелки %	Температура 28-й тарелки %	Время, час	Расход хладагента, кг/час	Температура верха %	Температура 37-й тарелки %	Температура 28-й тарелки %
0	12100	31	37.5	40.5	96.5	12000	32.5	37.5	40
0.5	12100	31	37.5	40.5	97	12000	33	37	40
1	12100	31	37.5	40.5	97.5	12000	33.5	37	40
1.5	12200	31	37.5	40.5	98	12000	34	37	39.5
2	12100	31	37.5	40.5	98.5	12000	34	37	40
2.5	12100	31.5	37.5	40.5	99	12100	34	37	39.5
3	12100	32.5	37.5	40.5	99.5	12100	33.5	37	39.5
3.5	12100	34	37.5	40.5	100	12100	33	37	39.5
4	12100	35.5	37.5	40.5	100.5	12100	32.5	37	39.5
4 5	12100	37.5	37.5	40.5	101	12100	32	37	39.5
5	12200	39	37.5	40.5	101.5	12100	31.5	36.5	39.5
5.5	12200	39.5	37.5	40.5	102	12100	31	36.5	39.5
6	12200	40	37.5	41	102.5	12100	31	36.5	39.5
6.5	12200	40	38	41	103	1100	31	36.5	39.5
7	12200	40	38	41	103.5	12100	31	36.5	40
7.5	12200	41	38	41	104	12100	31	36.5	40
8	12200	41	38	40.5	104.5	12100	31	36.5	40
8.5	12200	41	38	40.5	105	12100	31	36.5	40.5
9	12100	40.5	38	40.5	105.5	12100	31.5	37	40.5
9.5	12100	40	38	40.5	106	12100	31.5	37	40
10	12100	39	38	40.5	106.5	12100	31.5	37.5	40
10.5	12200	38.5	38	40.5	107	12100	31.5	37.5	40
11	12100	37	38	40.5	107.5	12100	31.5	37.5	40
11.5	12100	35	38	40.5	108	12100	31	37.5	40
12	12100	34	38	40.5	108.5	12100	31	37	40
12.5	12100	34	38.5	40.5	109	12100	31	37	39.5
13	12100	34	38	40.5	109.5	12200	31	37	40
13.5	12100	33	38.5	40.5	110	12200	31	37	40

14	12100	32.5	38	40.5	110.5	12200	31	37	39.5
14.5	12100	32.5	38	40.5	111	12200	31	37	39.5
15	12100	32	38	40.5	111.5	12200	31	37	40
15.5	12200	31.5	38	40.5	112	12200	31	37	40
16	12200	31	38	40.5	112.5	12200	31	36.5	40
16.5	12100	30.5	38	40.5	113	12200	31	36.5	40
17	12200	30.5	38	40.5	113.5	12200	31	37	40
17.5	12100	30.5	38	40.5	114	12200	31	36.5	39.5
18	12100	30.5	38	40.5	114.5	12200	31	36.5	39.5
18.5	12100	30	38	40	115	12100	31	37	39.5
19	12000	30	38	40	115.5	12200	31.5	37	39 5
19.5	12000	30	37.5	40	116	12200	31.5	36.5	39.5
20	12100	30	37.5	40	116.5	12200	32	36.5	39.5
20.5	12100	30	37.5	40	117	12200	32	36.5	39.5
21	1100	30	37.5	40	117.5	12200	32.5	36.5	40
21.5	12100	30	37.5	40	118	12200	33	36.5	39.5
22	12100	30	37.5	40	118.5	12200	33	36.5	40
22.5	12100	30	37.5	40	119	12100	33	36.5	39.5
23	12100	30	37.5	40	119.5	12100	33	36.5	39.5
23.5	12100	30	37.5	40	120	12100	33	36.5	39 5
24	12100	30	37.5	39.5	120.5	12100	32.5	36.5	39.5
24 5	12100	30	37.5	39.5	121	12100	32	36.5	39.5
25	12000	30	37	39.5	121.5	12100	32	36.5	40
25.5	12200	30	37	39.5	122	12100	32	36.5	40
26	12100	30	37	39.5	122.5	12100	31.5	36.5	40
26.5	12100	30 5	37	39.5	123	12100	31.5	36.5	40
27	12100	30.5	37	39.5	123.5	12100	31.5	36.5	40
27.5	12100	30.5	37.5	40	124	12100	31.5	36.5	40
28	12100	30	37.5	40	124.5	12100	32	36.5	40
28.5	12200	30	37.5	40	125	12100	32	36.5	40
29	12200	30	37.5	40	125.5	12100	32.5	36.5	40
29.5	12200	30	37.5	40	126	12100	33	37	40
30	12000	30	37.5	40	126.5	12100	33	37	40
30.5	12000	30	37	40	127	12100	32.5	37	40
31	11900	30	37	40	127.5	12100	32	37	40
31 5	11900	30	37	39.5	128	12100	32	37	39.5
32	11900	30	37	39.5	128.5	12100	32	37	39.5
32.5	11900	30	37	39.5	129	12100	32	37	40
33	12000	30	37	39.5	129.5	12100	32	37	40
33.5	12000	30	36 5	39.5	130	12100	31.5	37	40
34	12000	30	36.5	39.5	130.5	12200	31.5	37	40
34.5	12000	30	36.5	39.5	131	12200	31.5	36 5	40
35	12000	30	36.5	39.5	131.5	12200	31.5	36.5	40
35.5	12000	30	36.5	39.5	132	12100	31.5	36.5	40
36	12100	30	36.5	39.5	132 5	12200	31.5	36.5	40
36.5	12100	30	36.5	39.5	133	12100	31.5	36.5	40
37	12100	30	36.5	39.5	133.5	12200	31.5	36.5	40.5
37.5	12100	30	36.5	39.5	134	12200	31.5	37	40.5
38	12100	30	36.5	40	134.5	12200	32	37	39.5
38.5	12100	30	36.5	40	135	12100	33.5	37	39
39	12100	30	36.5	39.5	135.5	12100	34.5	37.5	39
39.5	12100	30	36.5	39.5	136	12100	33.5	37.5	40
40	12100	30.5	36.5	39.5	136.5	12100	32	37	39.5
40.5	12100	30.5	36.5	39.5	137	12100	31	36.5	39.5
41	12100	30.5	36	39.5	137.5	12100	30.5	36.5	40
41.5	12100	30.5	36	39.5	138	12100	30	36.5	39.5
42	12200	30.5	36	39.5	138.5	12200	30	36.5	39.5
42.5	12100	30.5	36	39.5	139	12200	30	36.5	39.5
43	12100	31	36	39.5	139.5	12200	30.5	36.5	40
43.5	12100	31	36	39.5	140	12200	31	37	40

44	12100	31	36	39.5	140.5	12200	31	37	40
44.5	12100	31	36	39.5	141	12200	31	37	40
45	12200	31	36	39.5	141 5	12200	31.5	37.5	40.5
45.5	12200	31	36	39.5	142	12200	31.5	37.5	40.5
46	12200	31	36	39.5	142.5	12100	32	37	40.5
46 5	12200	31	36	39.5	143	12100	32	36.5	40.5
47	12200	31.5	36	39.5	143.5	12100	32	36.5	39.5
47.5	12200	31.5	36	39.5	144	12200	32	36.5	40
48	12200	32	36	39.5	144.5	12100	32	36.5	39.5
48.5	12200	32	36	39.5	145	12100	32	36.5	39.5
49	12200	31.5	36	39.5	145.5	12100	32	36.5	39.5
49.5	12200	31.5	36	39.5	146	12100	32	36.5	39.5
50	12200	31.5	36	39.5	146.5	12100	32	36.5	39.5
50.5	12200	31.5	36	39.5	147	12100	32	36.5	39.5
51	12200	31.5	36	39.5	147.5	12100	33	36.5	39.5
51.5	12200	31.5	36	39.5	148	12100	33.5	37	40
52	12200	31.5	35.5	39.5	148.5	12100	34	37	40
52.5	12200	31.5	35.5	39.5	149	12200	34	37	40
53	12200	31	35.5	39.5	149.5	12200	34	37.5	40
53 5	12200	31	35.5	39.5	150	12100	33.5	37.5	40
54	12200	31	35.5	39.5	150.5	12200	33.5	37.5	40
54.5	12200	31	35.5	40	151	12100	33	37.5	40
55	12200	31	35.5	40	151.5	12100	32.5	37.5	40
55.5	12200	31.5	36	40	152	12100	32.5	37	39.5
56	12200	31.5	36	40	152.5	12100	32.5	37	39.5
56.5	12200	32	36	40	153	12100	32.5	36.5	39.5
57	12200	32	36	40	153 5	12100	32.5	36.5	39 5
57.5	12200	33	36	40	154	12100	33	36.5	39 5
58	12200	33	36	40	154.5	12100	34	36.5	39.5
58 5	12200	33.5	36.5	40.5	155	12200	35	36.5	39.5
59	12200	34	36.5	40.5	155.5	12200	35.5	37	39.5
59.5	12200	34.5	36.5	40	156	12200	35	37	39.5
60	12200	35	36.5	40	156.5	12200	34.5	37	39.5
60.5	12200	35.5	36.5	39.5	157	12200	34	37	39.5
61	12200	35	36.5	39.5	157.5	12200	33.5	37	40
61.5	12200	34.5	36.5	39.5	158	12200	33	37	40
62	12200	34	36.5	39.5	158.5	12200	33	37	39.5
62.5	12200	33.5	36.5	39.5	159	12200	32	37	39.5
63	12200	32.5	36.5	39.5	159.5	12200	32	37	39.5
63.5	12200	32	36.5	39.5	160	12200	31	37	39.5
64	12200	32	36	39.5	160.5	12200	30.5	37	39.5
64 5	12200	32	36.5	39.5	161	12200	30	36.5	39.5
65	12100	32	36.5	39.5	161.5	12200	30	36.5	39.5
65.5	12100	32	36.5	39.5	162	12200	30	36.5	39.5
66	12100	32.5	36.5	39.5	162.5	12200	30	36.5	39.5
66.5	12100	33	36.5	39.5	163	12200	30	36.5	39.5
67	12100	34	36.5	39.5	163.5	12200	30	36.5	39 5
67.5	12100	35	36.5	39.5	164	12200	30	36.5	39.5
68	12100	36 5	36.5	39.5	164.5	12200	30	37	39.5
68.5	12100	37.5	36.5	39.5	165	12200	30	37	39.5
69	12100	38	36.5	39.5	165.5	12100	31	37	40
69.5	12200	48	36.5	40	166	12200	31.5	36.5	40
70	12200	37.5	36.5	40	166.5	12200	32	36.5	39.5
70.5	12100	37	36.5	40	167	12100	32.5	36.5	39.5
71	12100	36	36.5	39.5	167.5	12100	32.5	36.5	39.5
71.5	12100	35	36.5	40	168	12100	32.5	36.5	39.5
72	12100	35	36.5	40.5	168.5	12100	32	36.5	39.5
72.5	12100	34.5	36.5	40.5	169	12100	32	36.5	39.5
73	12100	34	36.5	40.5	169.5	12100	32	36.5	39.5
73.5	12200	34	36.5	40.5	170	12100	32	36.5	39.5

74	12200	33.5	37	40.5	170.5	12100	32	36.5	39.5
74.5	12100	33.5	37	40.5	171	12100	32	36.5	39.5
75	12100	33	37	40	171.5	12100	32	36.5	39.5
75.5	12100	33	37	40	172	12100	32	36.5	39
76	12200	32.5	37	40	172.5	12100	32	36.5	39
76.5	12100	32.5	37	40	173	12100	32	36.5	39
77	12200	32	37	40	173.5	12100	32	36.5	39
77.5	12100	32	37	40	174	12200	32	36.5	39
78	12100	32	37	40	174.5	12200	33	36.5	39.5
78.5	12100	31.5	37	40	175	12200	33.5	36.5	39.5
79	12100	31.5	37	40	175.5	12200	34	36.5	39
79.5	12200	31.5	37	39.5	176	12200	34.5	36.5	39
80	12200	31.5	37	40	176.5	12200	34	36.5	39
80.5	12200	31.5	37	40	177	12200	33.5	36.5	39
81	12200	31.5	37.5	40	177.5	12200	33	36.5	39
81.5	12200	31.5	37	40	178	12200	32.5	36.5	39
82	12200	31.5	37	40	178.5	12200	32	36	39
82.5	12100	31.5	37	40	179	12200	32	36	39
83	12200	31.5	37	40.5	179.5	12200	31.5	36	39
83.5	12100	31.5	37	40.5	180	12200	31.5	36	39
84	12200	31.5	37	40	180.5	12200	31	36	39
84.5	12200	31.5	37.5	40	181	12100	31	36	39
85	12100	31.5	37.5	40	181.5	12100	31	36	39
85.5	12100	31.5	37.5	40	182	12100	31	36	39
86	12100	31.5	37.5	40	182 5	12100	31	36	39.5
86.5	12100	31.5	37.5	40	183	12100	31	36	39.5
87	12200	31	37.5	40	183.5	12100	30.5	36	39.5
87.5	12100	31	37.5	40	184	12100	30.5	36	39.5
88	12100	31	37	40	184.5	12100	30	36	39.5
88.5	12100	31	37	40	185	12200	30	36	39.5
89	12100	31.5	37	40	185.5	12200	30	36	39.5
89.5	12000	31.5	37	40	186	12200	30	36	39.5
90	12000	31.5	37	40	186.5	12200	30	36	39.5
90.5	12100	31.5	37	40	187	12200	30	36	39.5
91	12100	31.5	37	39.5	187.5	12200	30	35.5	39.5
91.5	12100	31.5	37	39.5	188	12200	30	35.5	39.5
92	12100	31.5	37	39.5	188.5	12200	30	35.5	39.5
92.5	12100	31.5	37	39.5	189	12200	30	35.5	40
93	12000	31.5	37	39.5	189.5	12200	30.5	35.5	40
93.5	12000	31.5	37	39.5	190	12200	31	35.5	40
94	12000	31.5	37	40	190.5	12200	31	36	40
94.5	12000	32	37	40	191	12200	31	35.5	40
95	12000	32	37	40	191.5	12100	31	35.5	39.5
95.5	12000	32	37	40	192	12100	31	35.5	39.5
96	12000	32.5	37	40	192.5	12100	31	35.5	39.5

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Пакет прикладных программ

Б.1 Математические модели измерительной информации и проверка их адекватности

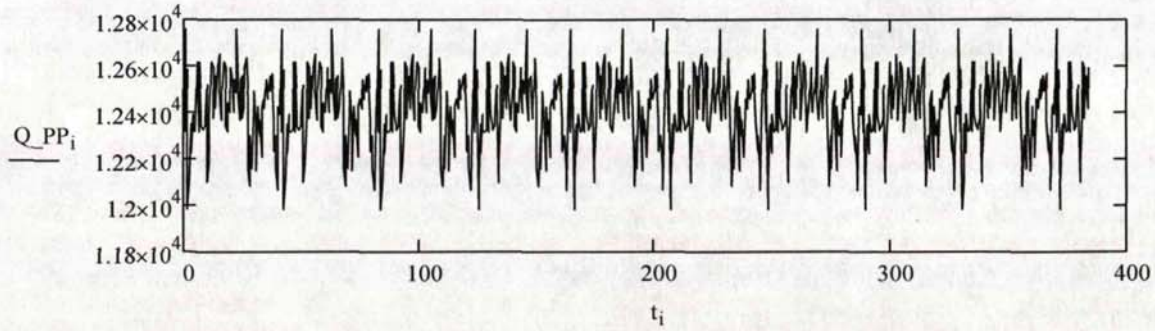
Б.1.1 Моделирование управляющего сигнала «расход перегретого пара»

$i := 0..768$ $\qquad t_i := i \cdot 0.5$

Q_PP0 := READPRN("C:\расход_пп.txt")

$Q_PP^T =$

	0	1	2	3	4	5
0	$1.239 \cdot 10^4$	$1.276 \cdot 10^4$	$1.231 \cdot 10^4$	$1.258 \cdot 10^4$	$1.198 \cdot 10^4$	...



$N := 769$ $\qquad i := 0..768$

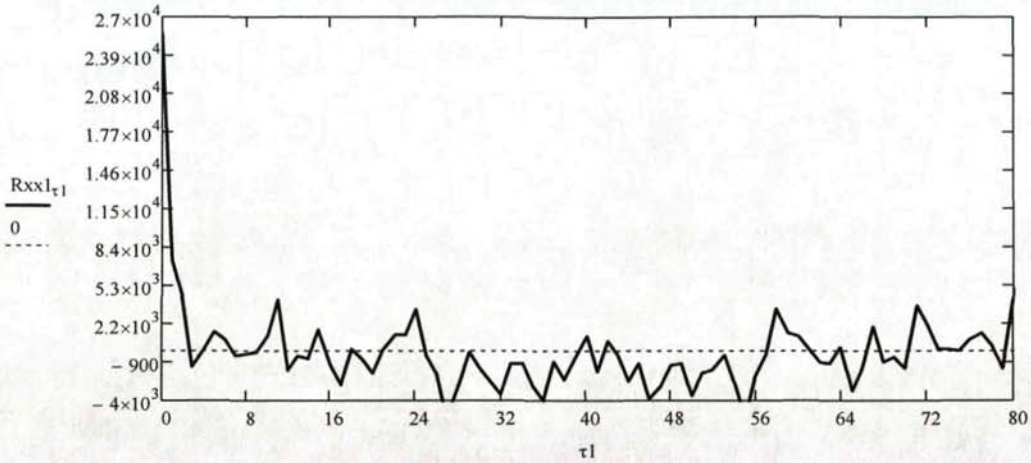
$$m_Q_PP := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} Q_PP_i \qquad m_Q_PP = 1.241 \times 10^4$$

$$\sigma_Q_PP := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \left(Q_PP_i - m_Q_PP\right)^2 \qquad \sigma_Q_PP = 2.569 \times 10^4$$

$$Q_0PP_i := Q_PP_i - m_Q_PP$$

$\tau 1 := i$

$$Rxx1_{\tau 1} := \frac{1}{(N - \tau 1)} \cdot \sum_{i=0}^{N-\tau 1-1} \left(Q_0PP_i \cdot Q_0PP_{i+\tau 1}\right)$$



$w1(t, k1, \alpha 1) := k1 \cdot e^{-\alpha 1 \cdot t}$

$A10 := \begin{pmatrix} 1 \\ 10 \end{pmatrix}$

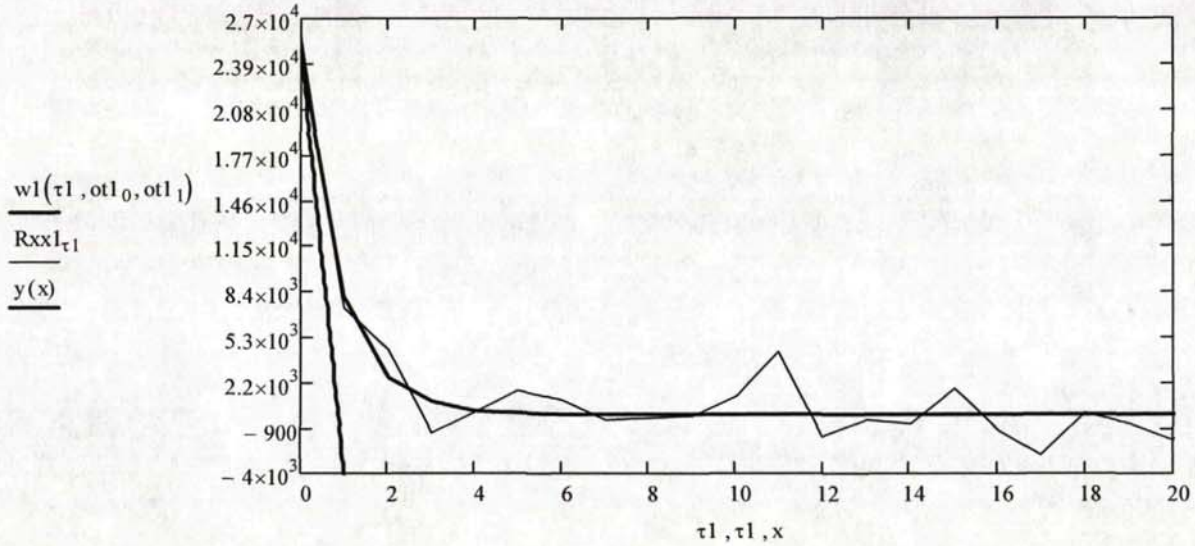
$Sum(A1) := \sum_{\tau 1 = 0}^{768} \left(w1\left(\tau 1, A1_0, A1_1\right) - Rxx1_{\tau 1} \right)^2$

$ot1 := Minimize(Sum, A10)$

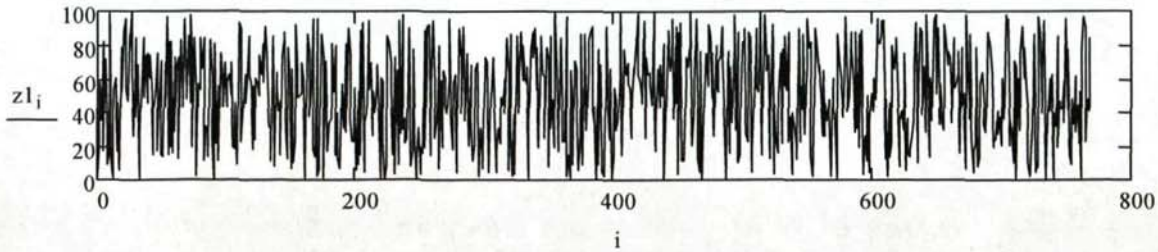
$ot1 = \begin{pmatrix} 2.48 \times 10^4 \\ 1.138 \end{pmatrix}$

$k1 := 2.48 \times 10^4$ $\quad \alpha 1 := 1.138$ $\quad T\phi := \frac{1}{\alpha 1}$ $\quad T\phi = 0.879$

$y(x) := 2.48 \times 10^4 - x \cdot \left(2.821 \times 10^4\right)$

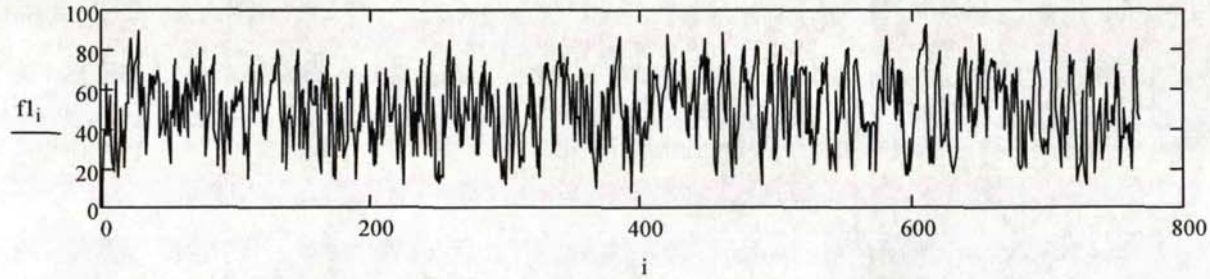


$i := 0 .. 768$ $\quad z1_i := rnd(100)$

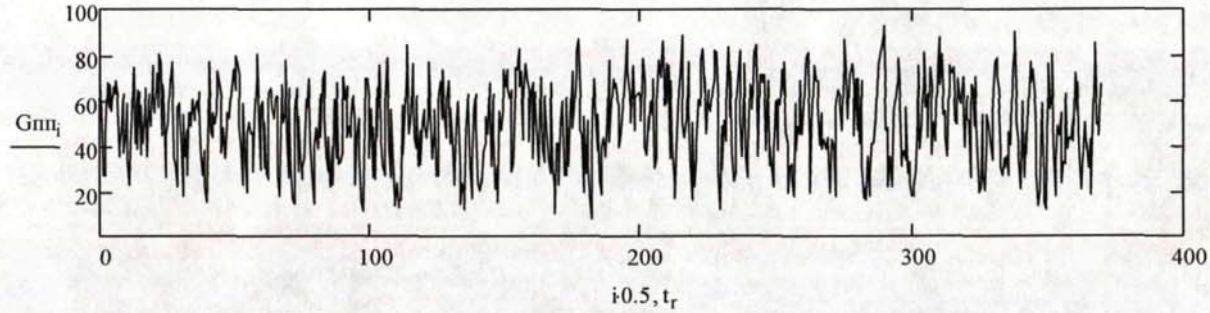


$Ts := 0.5$ $\qquad fl_0 := 0$

$$fl_{i+1} := fl_i + \frac{Ts}{T\phi} \cdot \left(z1_i - fl_i\right)$$



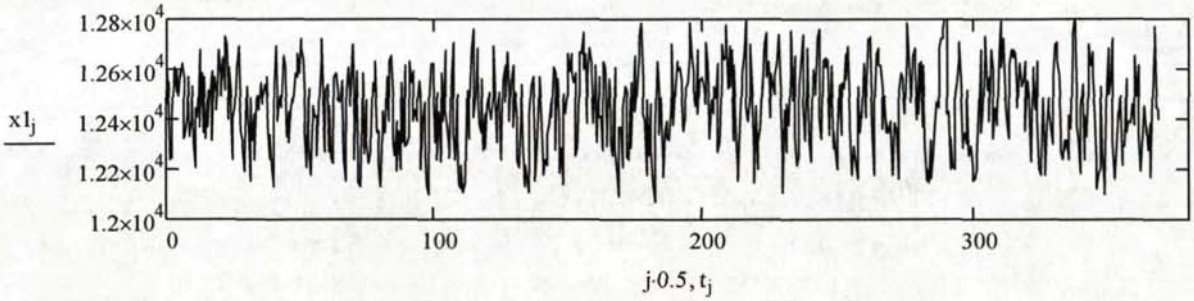
Gпп := submatrix(fl, 30, 769, 0, 0)



$x1 := Gпп \cdot 9.05 + 1200($ $\qquad j := 0..738$ $\qquad t_j := j \cdot 0.5$

$x1^T =$

	0	1	2	3	4	5
0	$1.261 \cdot 10^4$	$1.246 \cdot 10^4$	$1.255 \cdot 10^4$	$1.224 \cdot 10^4$	$1.225 \cdot 10^4$	...



$N1 := 200$ $\qquad j := 0..199$

$$m_x1 := \frac{1}{N1} \cdot \sum_{j=0}^{N1-1} \left(x1_j\right)$$

$m_x1 = 1.244 \times 10^4$

$$\sigma_x1 := \frac{1}{N1} \cdot \sum_{j=0}^{N1-1} \left(x1_j - m_x1\right)^2$$

$\sigma_x1 = 2.188 \times 10^4$

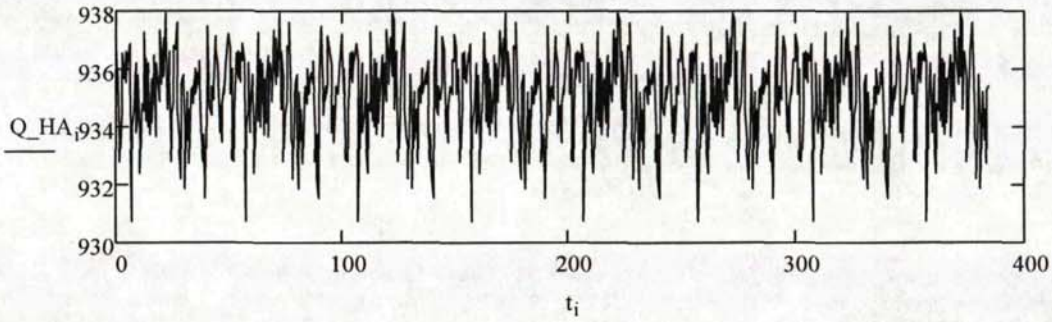
Б.1.2 Моделирование управляющего сигнала «расход хладагента»

$i := 0..768$ $\qquad t_i := i \cdot 0.5$

Q_HA0 := READPRN("C:\расход_ха.txt")

$Q_HA^T =$

	0	1	2	3	4	5	6
0	936.75	935.15	936.02	932.84	932.79	934.45	...



$N := 769$ $\qquad i := 0..768$

$$m_Q_HA := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} Q_HA_i$$

$m_Q_HA = 935.103$

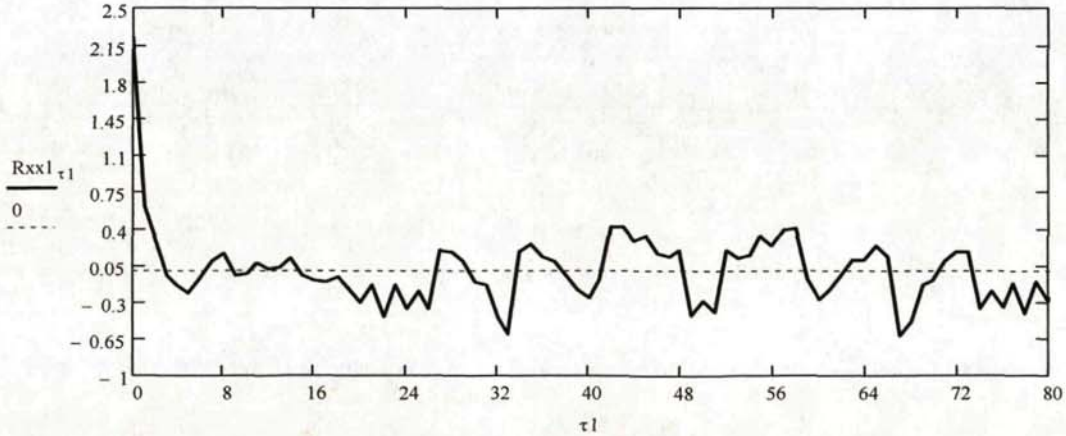
$$\sigma_Q_HA := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \left(Q_HA_i - m_Q_HA\right)^2$$

$\sigma_Q_HA = 2.217$

$Q_0HA_i := Q_HA_i - m_Q_HA$

$\tau 1 := i$

$$Rxx1_{\tau 1} := \frac{1}{(N - \tau 1)} \cdot \sum_{i=0}^{N-\tau 1-1} \left(Q_0HA_i \cdot Q_0HA_{i+\tau 1}\right)$$



$w1(t, k1, \alpha 1) := k1 \cdot e^{-\alpha 1 \cdot t}$

$A10 := \begin{pmatrix} 1 \\ 10 \end{pmatrix}$

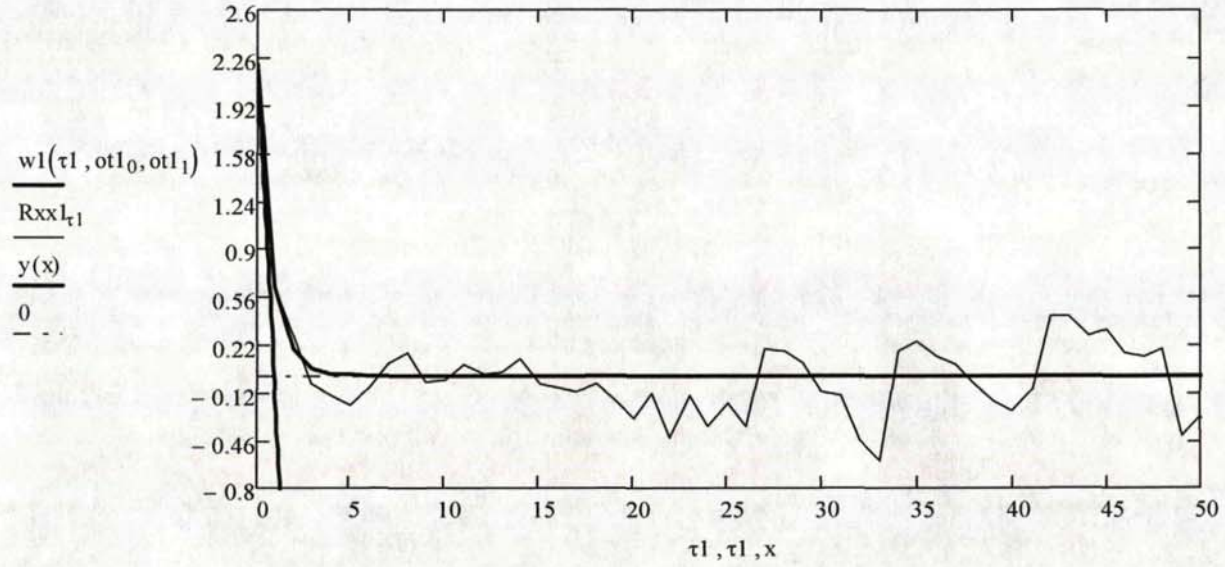
$Sum(A1) := \sum_{\tau 1 = 0}^{768} \left(w1\left(\tau 1, A1_0, A1_1\right) - Rxx1_{\tau 1} \right)^2$

$ot1 := Minimize(Sum, A10)$

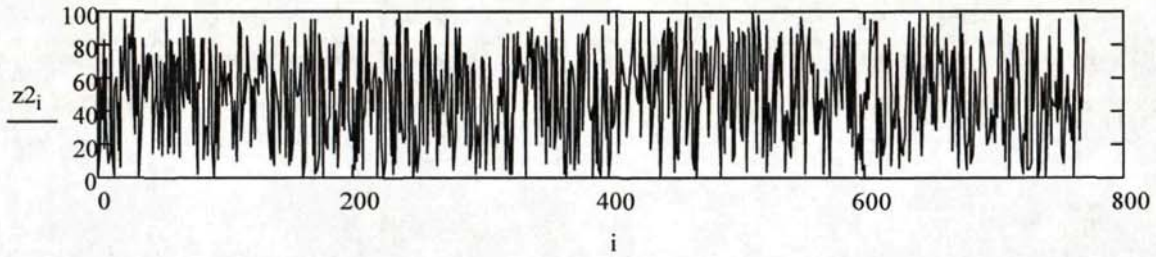
$ot1 = \begin{pmatrix} 2.218 \\ 1.255 \end{pmatrix}$

$k1 := 2.218$ $\alpha 1 := 1.255$ $T\phi := \frac{1}{\alpha 1}$ $T\phi = 0.797$

$y(x) := 2.218 - x \cdot (2.38)$

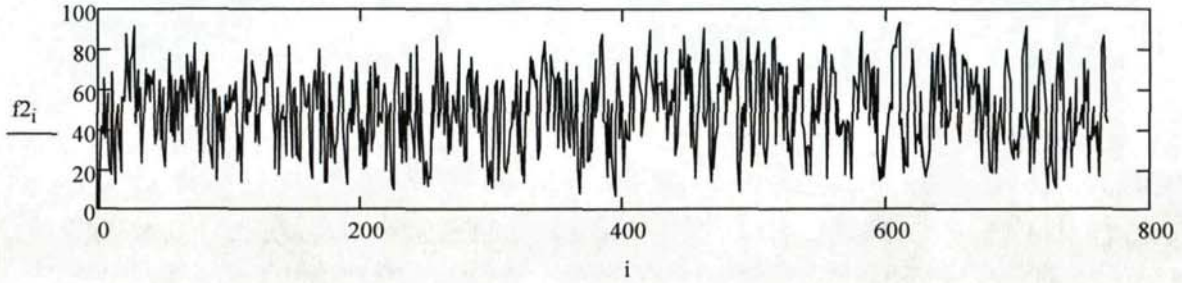


$i := 0..768$ $z2_i := rnd(100)$

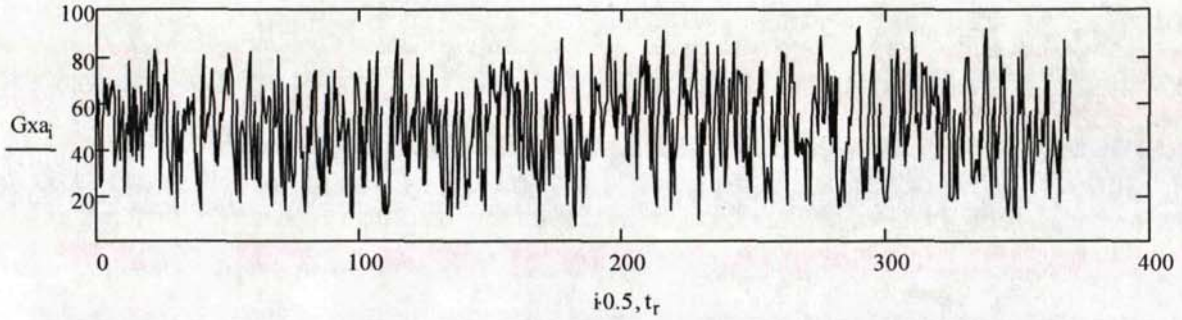


$Ts := 0.5$ $f2_0 := 0$

$f2_{i+1} := f2_i + \frac{Ts}{T\phi} \cdot \left(z2_i - f2_i \right)$



Gxa:= submatrix(f2, 30, 769, 0, 0)

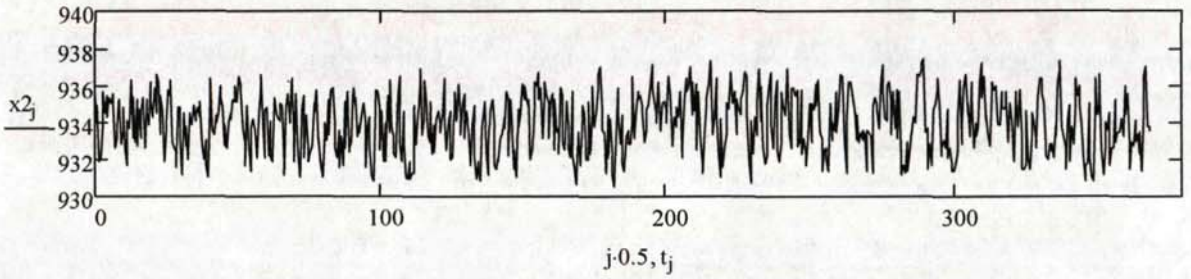


x2:= Gxa· 0.08 + 93(

$x2^T =$

	0	1	2	3	4	5	6
0	935.518	933.942	934.868	931.858	932.077	933.725	...

j := 0.. 73{ t_j := j · 0.5



N1 := 20(j := 0.. 19{

$$m_x2 := \frac{1}{N1} \cdot \sum_{j=0}^{N1-1} \left(x2_j\right) \qquad m_x2 = 933.911$$

$$\sigma_x2 := \frac{1}{N1} \cdot \sum_{j=0}^{N1-1} \left(x2_j - m_x2\right)^2 \qquad \sigma_x2 = 2.007$$

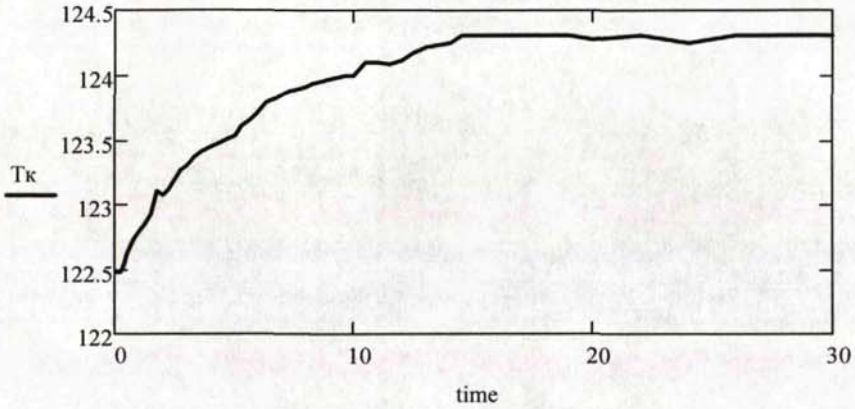
Б.2 Математическое описание температурного профиля ректификационной колонны и проверка его на адекватность

Б.2.1 Математическая модель нижней части температурного профиля

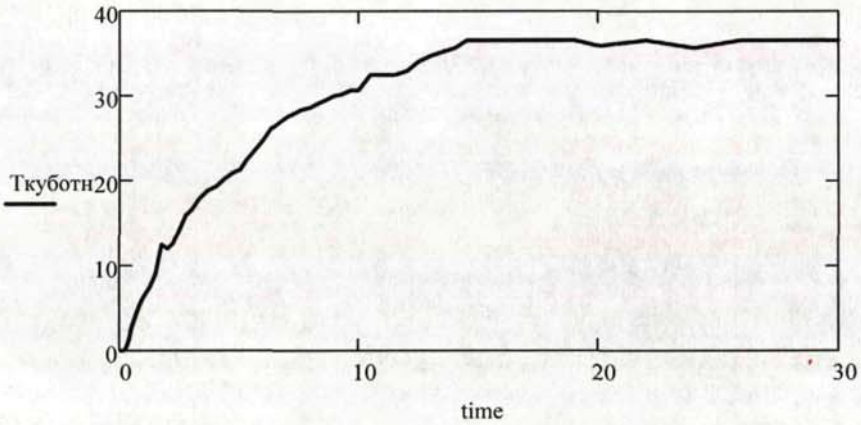
Передаточная функция по каналу «расход перегретого пара - температура куба колонны»

time1 := (0 0.083 0.167 0.25 0.333 0.417 0.5 0.667 0.833 1 1.25 1.5 1.75 2 2.25 2.5 2.75 3 3.333 3.667 4 4.3

$time := time1^T$ $\quad$ $Tк := T1^T$



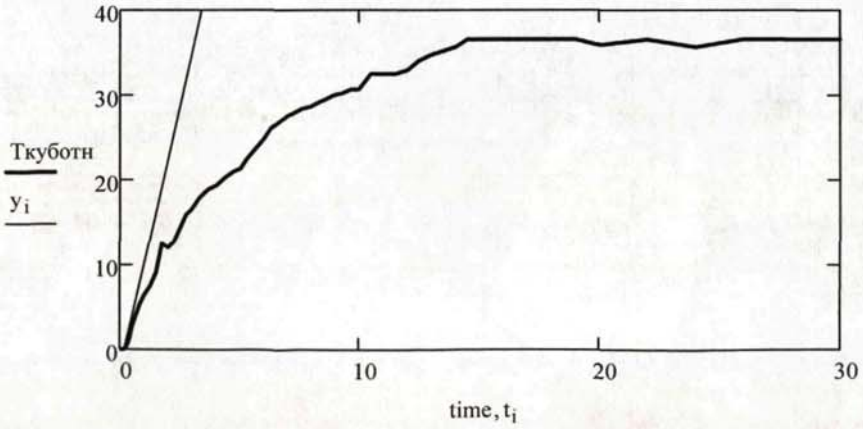
$$Tкуботн := \frac{Tк - 122.47}{0.05}$$



hy := 38.3 $\quad$ To := 3.1 $\quad$ tp := 0.5 $\quad$ hp := 3.99

i := 0.. 10 $\quad$ $t_i := 3 \cdot i$

$$y_i := \frac{hy}{To} \cdot \left(t_i - tp\right) + hp$$

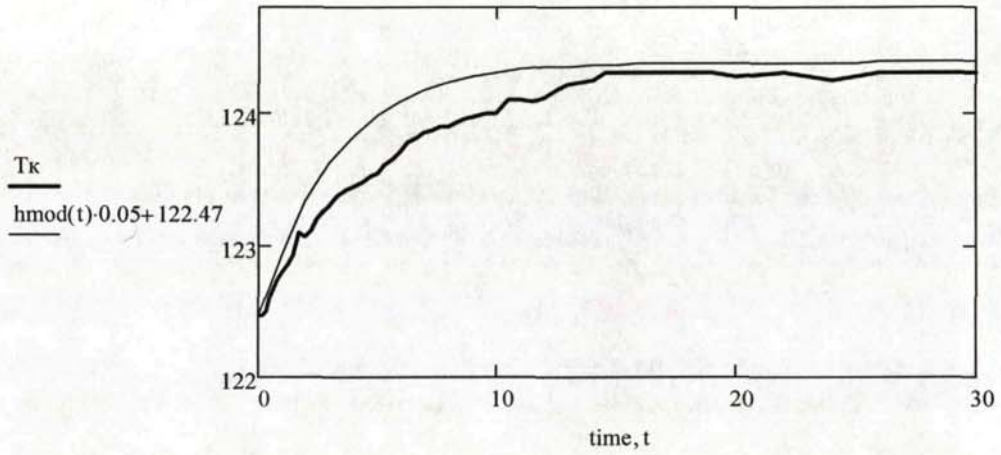


$Tmod := To$ $\qquad t := 0..30$

$kmod := hy$ $\qquad kmod = 38.3$

$$\tau mod := tp - \frac{To}{hy} \cdot hp \qquad \tau mod = 0.177$$

$$hmod(t) := if\left[t < \tau mod, 0, kmod \cdot \left(1 - exp\left(\frac{-t + \tau mod}{Tmod}\right)\right)\right]$$



В результате, получаем передаточную функцию:

$$W11(p) := \frac{1.915}{3.1 \cdot p + 1} \cdot e^{-0.177 \cdot p}$$

Передаточная функция по каналу «температура куба колонны - температура шестнадцатой тарелки»

Temк := READPRN("C:\температура куба.txt")

$Temк^T =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	83	82.5	83	83	83	83	83	83	84	...

$$Tк := \frac{150 \cdot Temк}{100}$$

$Tк^T =$

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	124.5	123.75	124.5	124.5	124.5	124.5	124.5	...

Tem16:= READPRN("C:\температура 62%.txt")

$Tem16^T =$

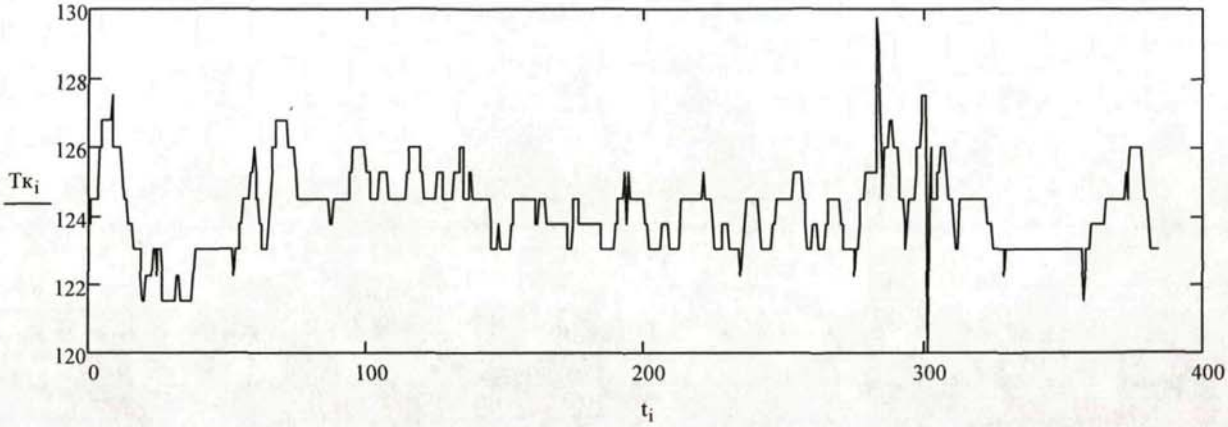
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	65.5	66	65.5	65.5	65.5	65.5	65.5	66	65.5	...

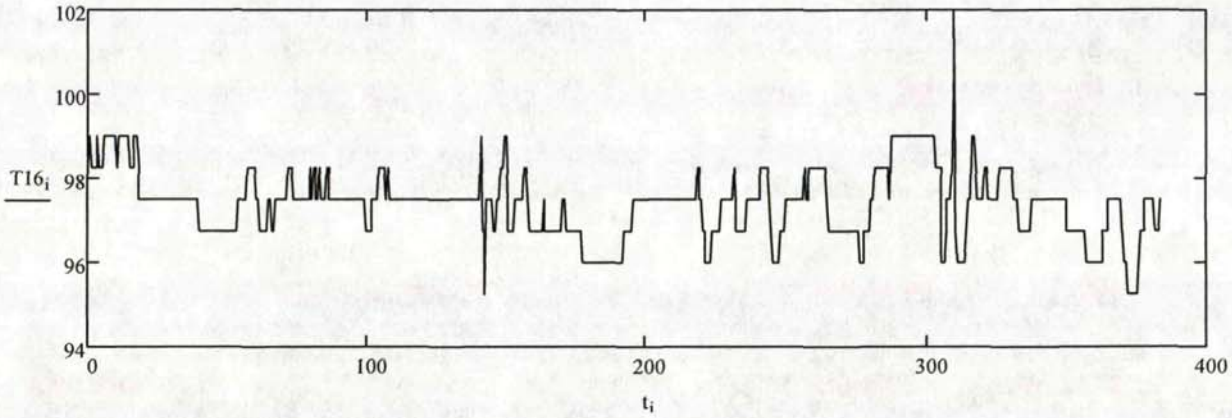
$$T16 := \frac{150 \cdot Tem16}{100}$$

$T16^T =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	98.25	99	98.25	98.25	98.25	98.25	98.25	99	...

$i := 0..768$ $\qquad t_i := i \cdot 0.5$





$N := 769$ $\qquad i := 0..768$

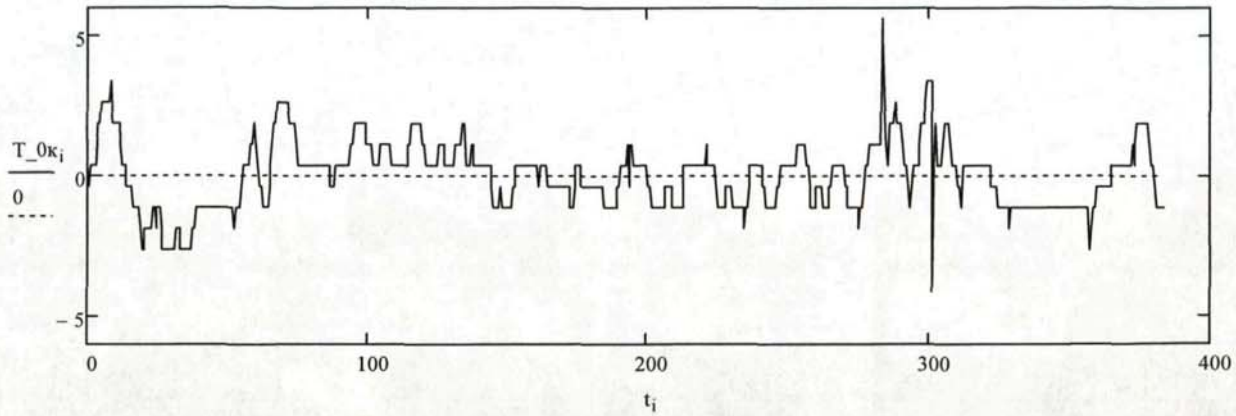
$$m_T\kappa := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} T\kappa_i \qquad m_T\kappa = 124.114$$

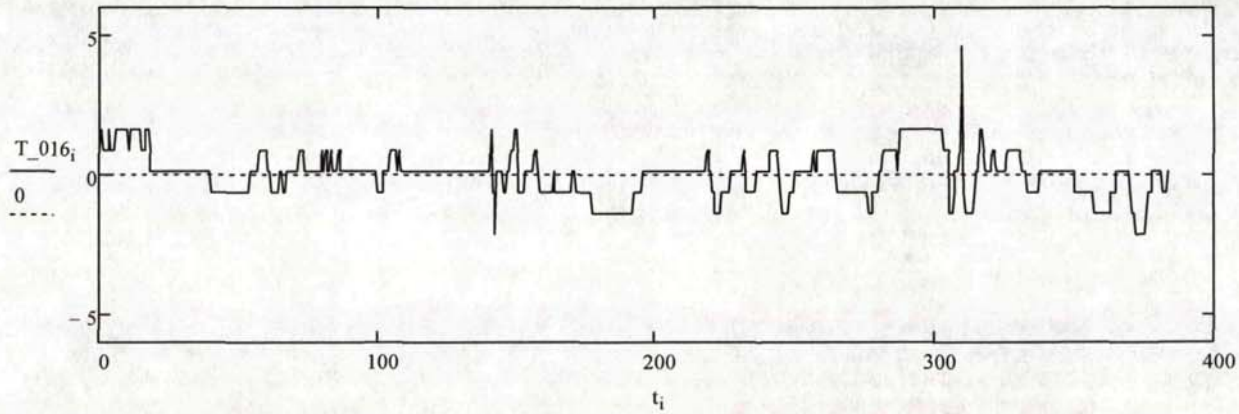
$$m_T16 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} T16_i \qquad m_T16 = 97.387$$

$$\sigma_T\kappa := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \left(T\kappa_i - m_T\kappa\right)^2 \qquad \sigma_T\kappa = 1.438$$

$$\sigma_T16 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \left(T16_i - m_T16\right)^2 \qquad \sigma_T16 = 0.656$$

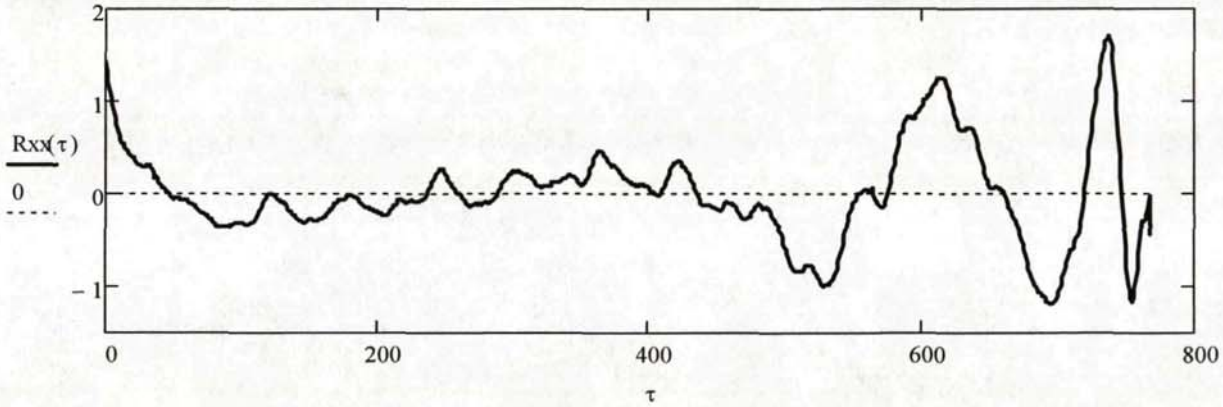
$T_0\kappa_i := T\kappa_i - m_T\kappa$ $\qquad T_016_i := T16_i - m_T1\epsilon$

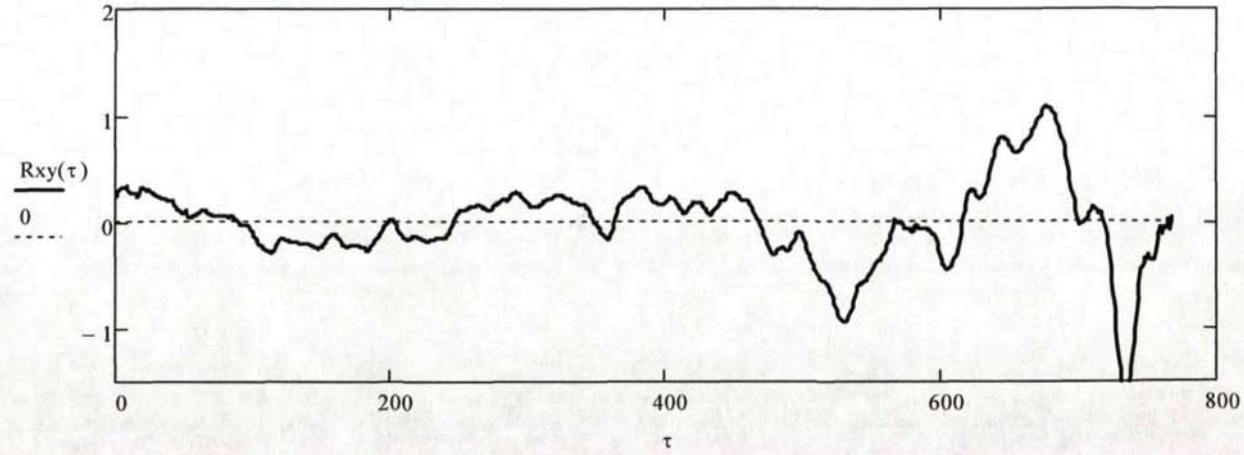




$\tau := i$

$$Rxx(\tau) := \frac{1}{(N-\tau)} \cdot \sum_{i=0}^{N-\tau-1} \left(T_0\kappa_i \cdot T_0\kappa_{i+\tau}\right) \qquad Rxy(\tau) := \frac{1}{(N-\tau)} \cdot \sum_{i=0}^{N-\tau-1} \left(T_0\kappa_i \cdot T_016_{i+\tau}\right)$$





$$Kx := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..768 \\ \quad \text{for } j \in 0..768 \\ \quad\quad \left| \begin{array}{l} kx_{i,j} \leftarrow Rxx(0) \ \text{ if } i = j \\ kx_{i,j} \leftarrow Rxx(i-j) \ \text{ if } i > j \\ kx_{i,j} \leftarrow Rxx(j-i) \ \text{ if } i < j \end{array} \right. \\ kx \end{array} \right.$$

$$Kxy := \left| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0..768 \\ \quad kxy_j \leftarrow Rxy(j) \\ kxy^T \end{array} \right.$$

$$w(\tau\tau, k, T) := \frac{k}{T} \cdot e^{\frac{-\tau\tau}{T}}$$

$$h := Kx^{-1} \cdot Kxy^T$$

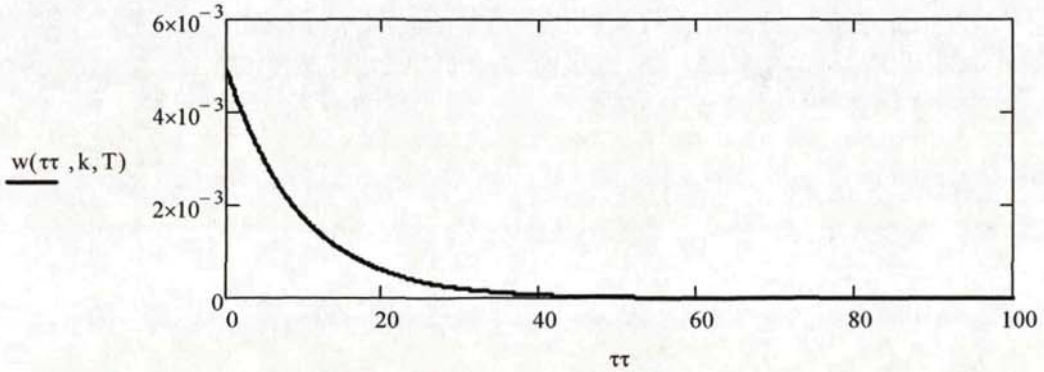
$$S(\tau\tau, k, T) := \sum_{i=0}^{768} \left(w(\tau\tau, k, T) - h_i\right)^2$$

$k := 1$ $\quad T := 10$ $\quad \tau\tau := 10$

$ot := \text{Minimize}(S, \tau\tau, k, T)$

$$ot = \begin{pmatrix} 22.208 \\ 0.047 \\ 9.528 \end{pmatrix}$$

$\tau\tau := 0, 0.1..300$ $\quad k := 0.047$ $\quad T := 9.528$



В результате, получаем передаточную функцию:

$$W12(p) := \frac{0.047}{9.528 \cdot p + 1} \cdot e^{-22.21 \cdot p}$$

Передаточная функция по каналу «температура шестнадцатой тарелки - температура двадцать второй тарелки»

Tem16:= READPRN("C:\температура 62%.txt")

$Tem16^T =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	65.5	66	65.5	65.5	65.5	65.5	65.5	66	65.5	...

$$T16 := \frac{150 \cdot Tem16}{100}$$

$T16^T =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	98.25	99	98.25	98.25	98.25	98.25	98.25	99	...

Tem22:= READPRN("C:\температура 50%.txt")

$Tem22^T =$

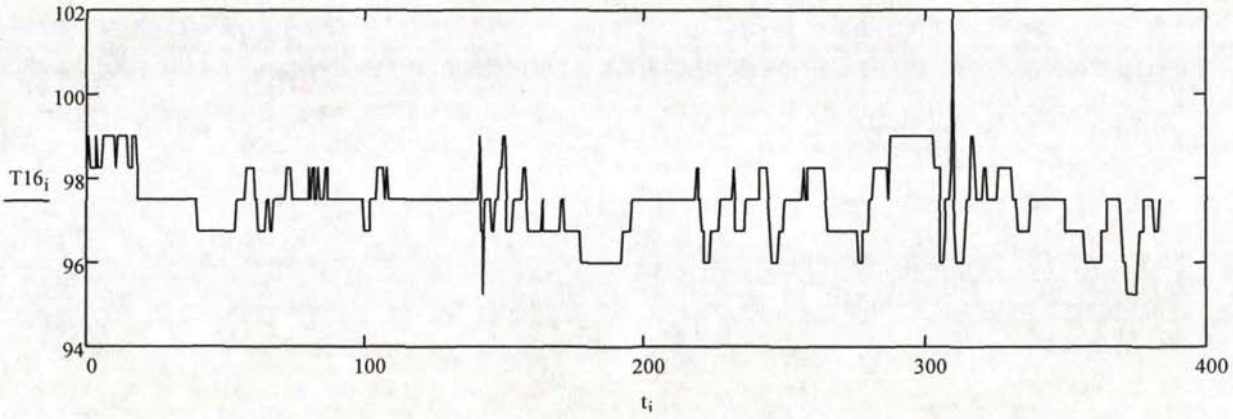
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	50	50	50	50	50	50	50	50	50	...

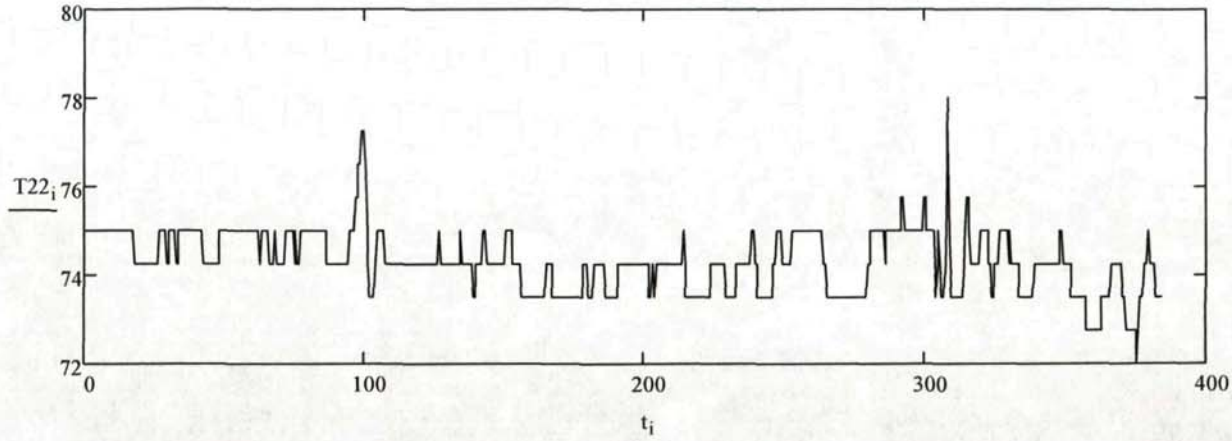
$$T22 := \frac{150 \cdot Tem22}{100}$$

$T22^T =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	75	75	75	75	75	75	75	75	...

$i := 0..768$ $\qquad t_i := i \cdot 0.5$





$N := 769$ $\qquad$ $i := 0..768$

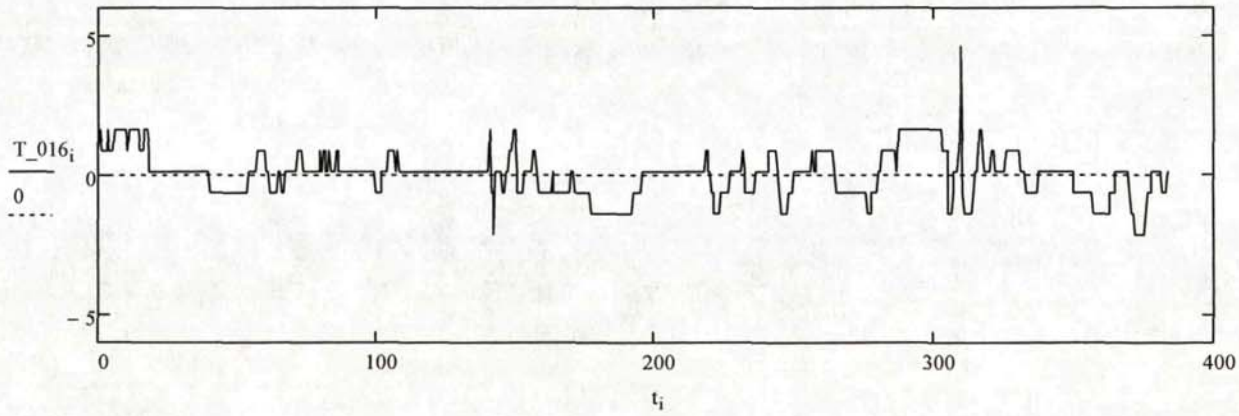
$$m_T16 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} T16_i \qquad m_T16 = 97.387$$

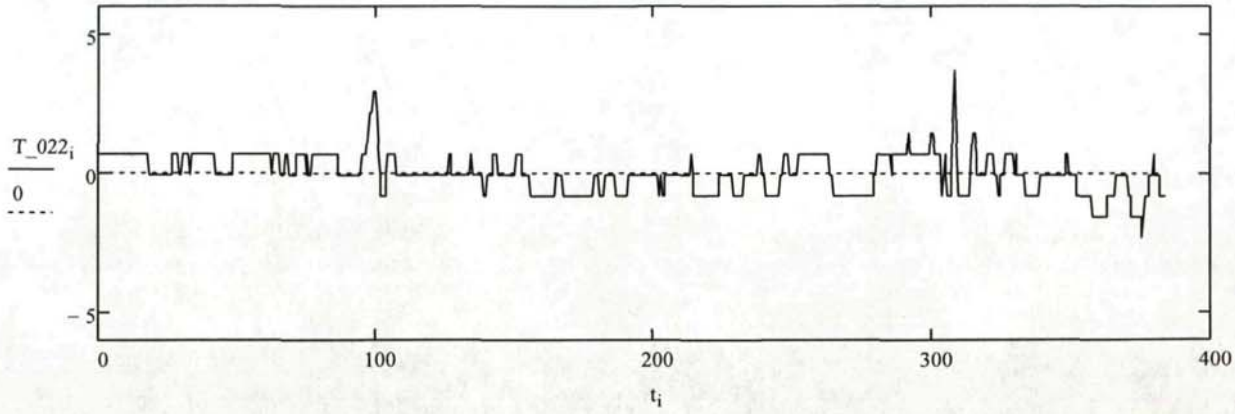
$$m_T22 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} T22_i \qquad m_T22 = 74.309$$

$$\sigma_T16 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \left(T16_i - m_T16\right)^2 \qquad \sigma_T16 = 0.656$$

$$\sigma_T22 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \left(T22_i - m_T22\right)^2 \qquad \sigma_T22 = 0.473$$

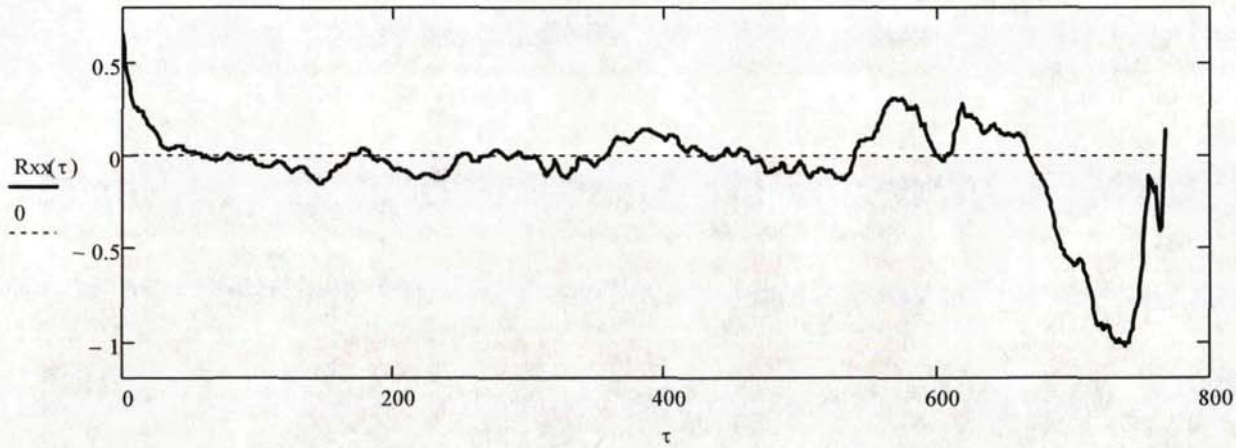
$T_016_i := T16_i - m_T16$ $\qquad$ $T_022_i := T22_i - m_T22$

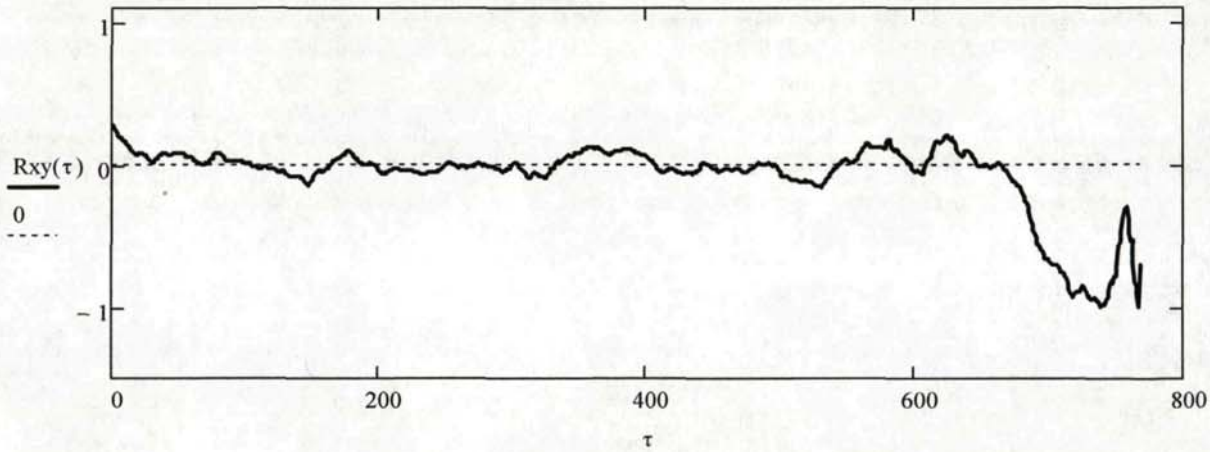




$\tau := i$

$$Rxx(\tau) := \frac{1}{(N-\tau)} \cdot \sum_{i=0}^{N-\tau-1} \left(T_016_i \cdot T_016_{i+\tau}\right) \qquad Rxy(\tau) := \frac{1}{(N-\tau)} \cdot \sum_{i=0}^{N-\tau-1} \left(T_016_i \cdot T_022_{i+\tau}\right)$$





$$Kx := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..768 \\ \quad \text{for } j \in 0..768 \\ \quad\quad \left| \begin{array}{l} kx_{i,j} \leftarrow Rxx(0) \ \text{ if } i = j \\ kx_{i,j} \leftarrow Rxx(i-j) \ \text{ if } i > j \\ kx_{i,j} \leftarrow Rxx(j-i) \ \text{ if } i < j \end{array} \right. \\ kx \end{array} \right.$$

$$Kxy := \left| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0..768 \\ \quad kxy_j \leftarrow Rxy(j) \\ kxy^T \end{array} \right.$$

$$h := Kx^{-1} \cdot Kxy^T$$

$$w(\tau\tau, k, T) := \frac{k}{T} \cdot e^{\frac{-\tau\tau}{T}}$$

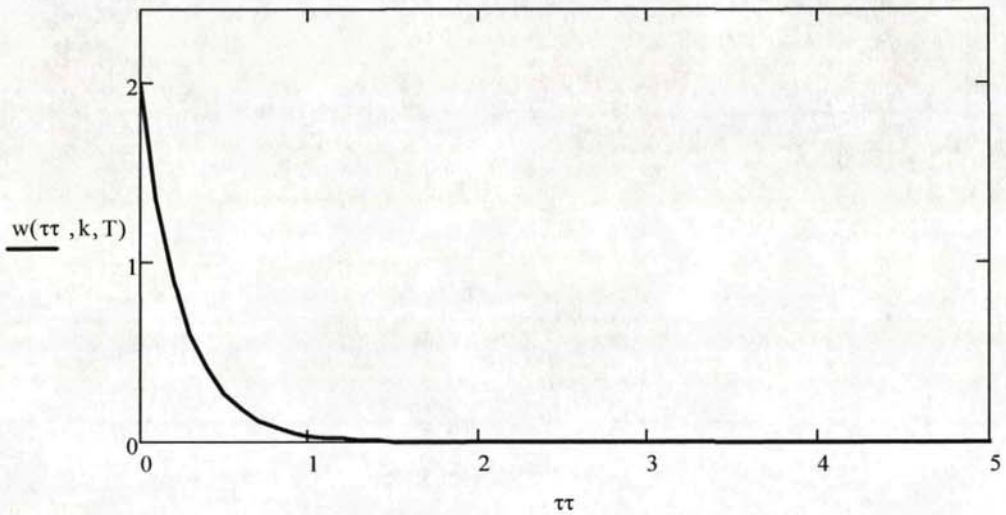
$$S(\tau\tau, k, T) := \sum_{i=0}^{768} \left(w(\tau\tau, k, T) - h_i\right)^2$$

$k := 5$ $\quad T := 5$ $\quad \tau\tau := 10$

$ot := \text{Minimize}(S, \tau\tau, k, T)$

$$ot = \begin{pmatrix} 6.503 \\ 0.499 \\ 0.25 \end{pmatrix}$$

$\tau\tau := 0, 0.1..300$ $\quad k := 0.499$ $\quad T := 0.25$



В результате, получаем передаточную функцию:

$$W23(p) := \frac{0.499}{0.25 \cdot p + 1} \cdot e^{-6.5 \cdot p}$$

Передаточная функция по каналу «температура двадцать второй тарелки - температура двадцать восьмой тарелки»

Tem22:= READPRN("C:\температура 50%.txt")

$Tem22^T =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	50	50	50	50	50	50	50	50	50	...

$$T22 := \frac{150 \cdot Tem22}{100}$$

$T22^T =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	75	75	75	75	75	75	75	75	...

Tem28 := READPRN("C:\температура 40%.txt")

$Tem28^T =$

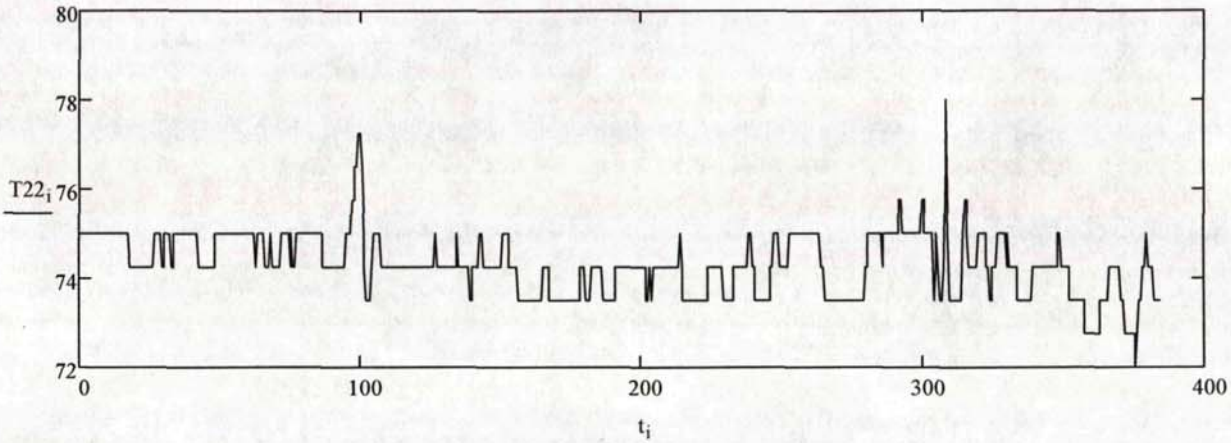
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	...

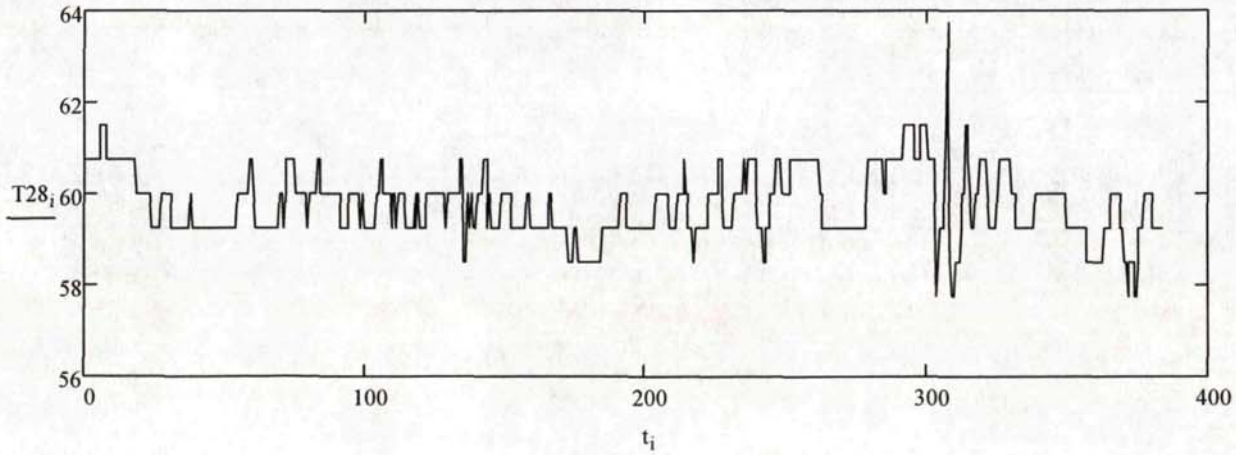
$$T28 := \frac{150 \cdot Tem28}{100}$$

$T28^T =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	60.75	60.75	60.75	60.75	60.75	60.75	60.75	60.75	...

$i := 0..768$ $\qquad t_i := i \cdot 0.5$





$N := 769$ $\qquad i := 0..768$

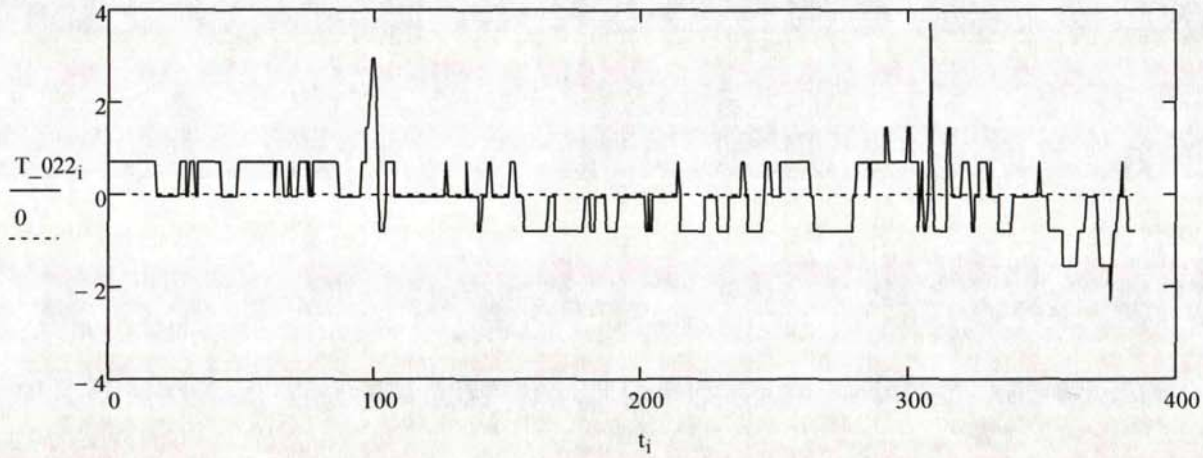
$$m_T22 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} T22_i \qquad m_T22 = 74.309$$

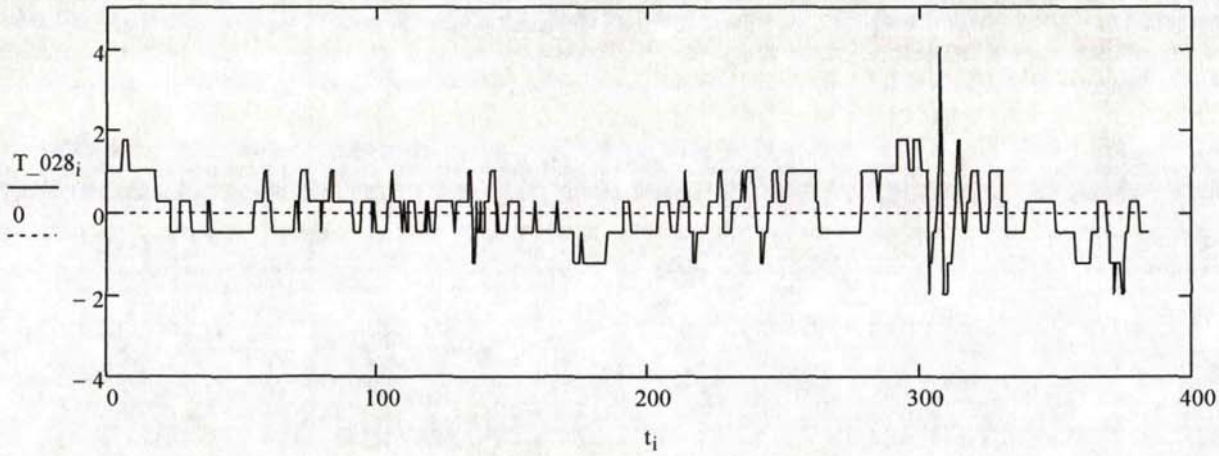
$$m_T28 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} T28_i \qquad m_T28 = 59.745$$

$$\sigma_T22 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \left(T22_i - m_T22\right)^2 \qquad \sigma_T22 = 0.473$$

$$\sigma_T28 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \left(T28_i - m_T28\right)^2 \qquad \sigma_T28 = 0.552$$

$$T_022_i := T22_i - m_T22 \qquad T_028_i := T28_i - m_T28$$

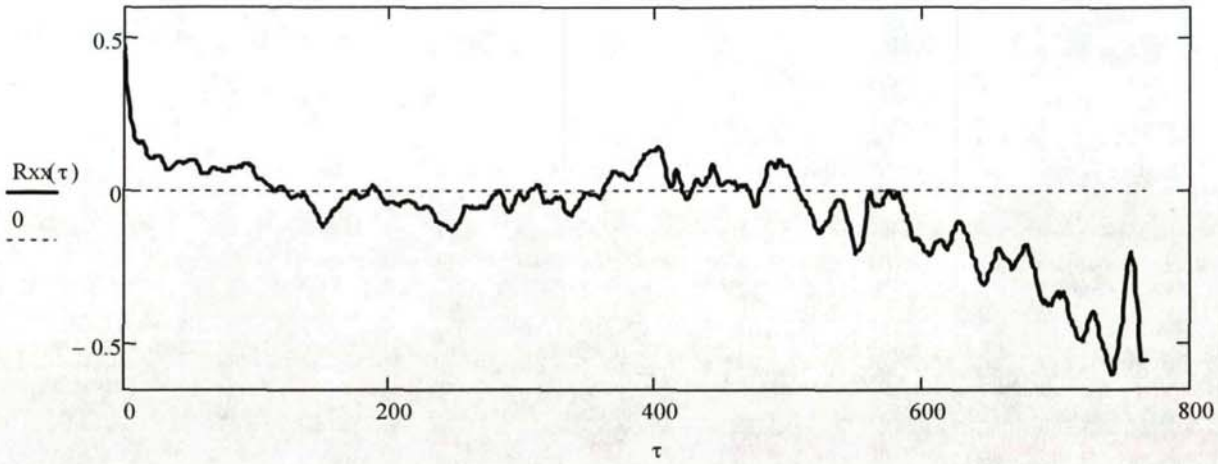


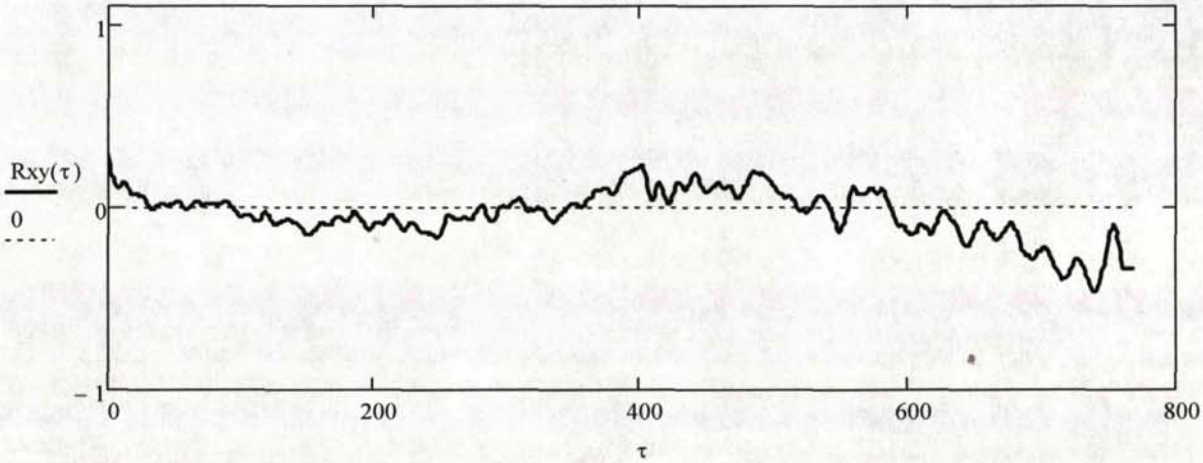


$\tau := i$

$$Rxx(\tau) := \frac{1}{(N-\tau)} \cdot \sum_{i=0}^{N-\tau-1} \left(T_022_i \cdot T_022_{i+\tau}\right)$$

$$Rxy(\tau) := \frac{1}{(N-\tau)} \cdot \sum_{i=0}^{N-\tau-1} \left(T_022_i \cdot T_028_{i+\tau}\right)$$





$$Kx := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..768 \\ \quad \text{for } j \in 0..768 \\ \quad\quad \left| \begin{array}{l} kx_{i,j} \leftarrow Rxx(0) \ \text{ if } i = j \\ kx_{i,j} \leftarrow Rxx(i-j) \ \text{ if } i > j \\ kx_{i,j} \leftarrow Rxx(j-i) \ \text{ if } i < j \end{array} \right. \\ kx \end{array} \right.$$

$$Kxy := \left| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0..768 \\ \quad kxy_j \leftarrow Rxy(j) \\ kxy^T \end{array} \right.$$

$$w(\tau\tau, k, T) := \frac{k}{T} \cdot e^{\frac{-\tau\tau}{T}}$$

$$h := Kx^{-1} \cdot Kxy^T$$

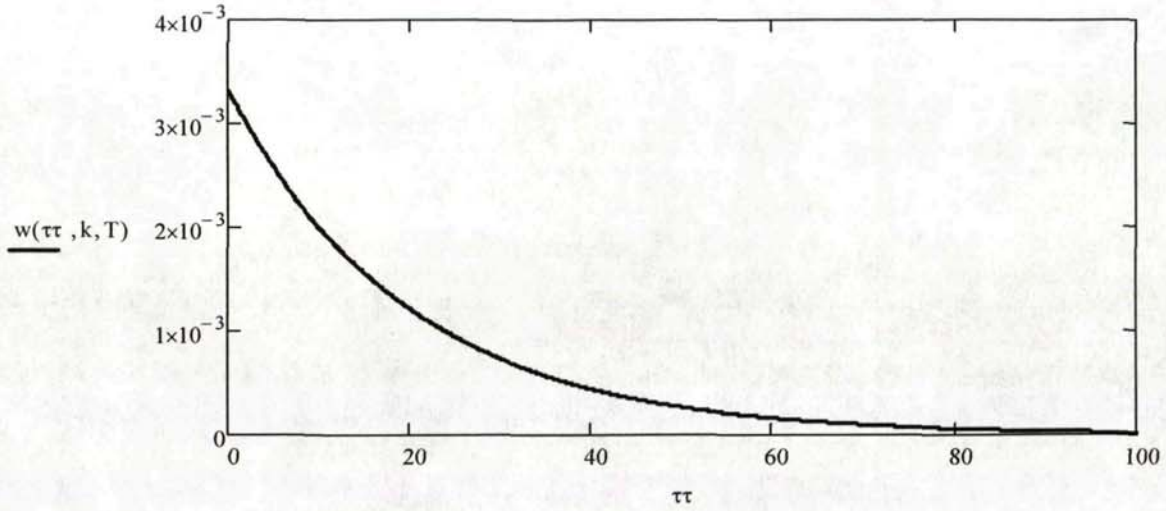
$$S(\tau\tau, k, T) := \sum_{i=0}^{768} \left(w(\tau\tau, k, T) - h_i\right)^2$$

$k := 1$ $\quad T := 10$ $\quad \tau\tau := 1$

$ot := \text{Minimize}(S, \tau\tau, k, T)$

$$ot = \begin{pmatrix} 1.11 \\ 0.066 \\ 19.86 \end{pmatrix}$$

$\tau\tau := 0, 0.1 .. 300$ $\quad k := 0.066$ $\quad T := 19.86$



В результате, получаем передаточную функцию:

$$W34(p) := \frac{0.066}{19.86 \cdot p + 1} \cdot e^{-1.11 \cdot p}$$

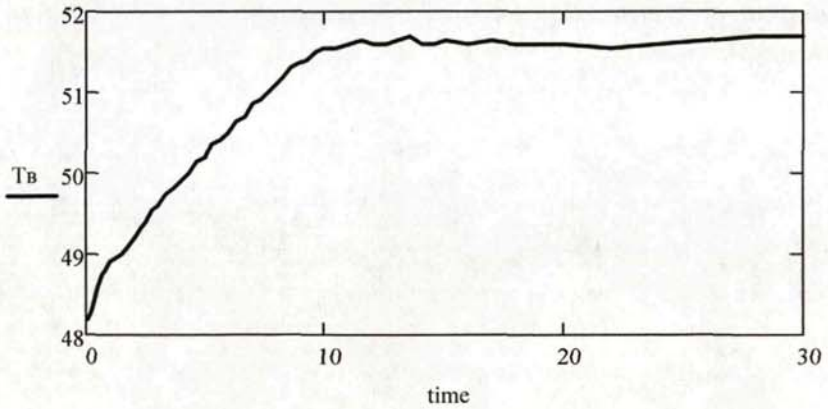
Б.2.1 Математическая модель верхней части температурного профиля

Передаточная функция по каналу «расход хладагента – температура верха колонны»

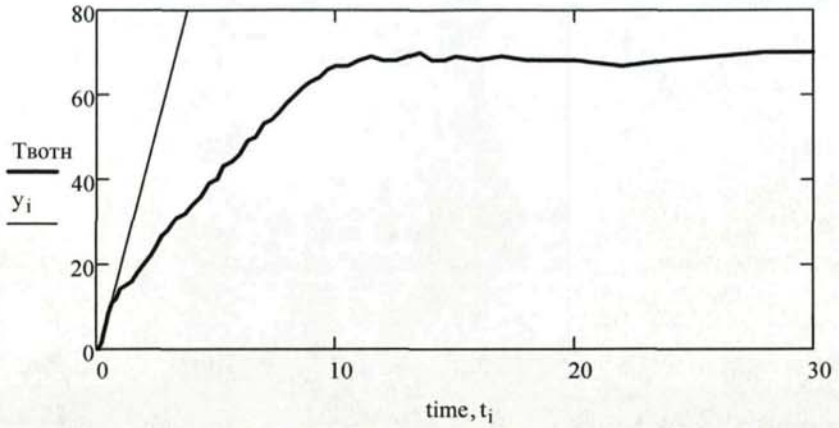
time1 := (0 0.083 0.167 0.25 0.333 0.417 0.5 0.667 0.833 1 1.25 1.5 1.75 2 2.25 2.5 2.75 3 3.333 3.667 4 4.3

T0 := (48.2 48.2 48.25 48.3 48.4 48.5 48.6 48.75 48.8 48.9 48.95 49.0 49.1 49.2 49.3 49.4 49.55 49.6 49.75 49.

time := $time1^T$ $\quad$ Тв := $T0^T$

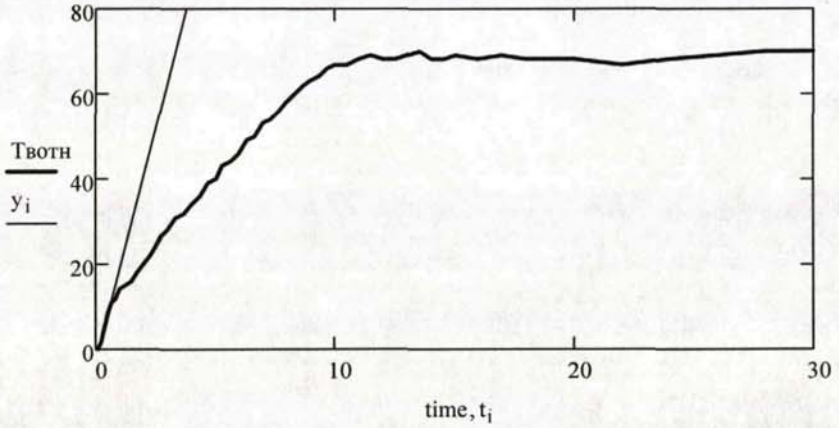


$$Твотн := \frac{Тв - 48.2}{0.05}$$



$hy := 70$ $\quad To := 3.2$ $\quad tp := 0.43$ $\quad hp := 6.43$

$i := 0..10$ $\quad t_i := 3 \cdot i$ $\quad y_i := \frac{hy}{To} \cdot (t_i - tp) + hp$

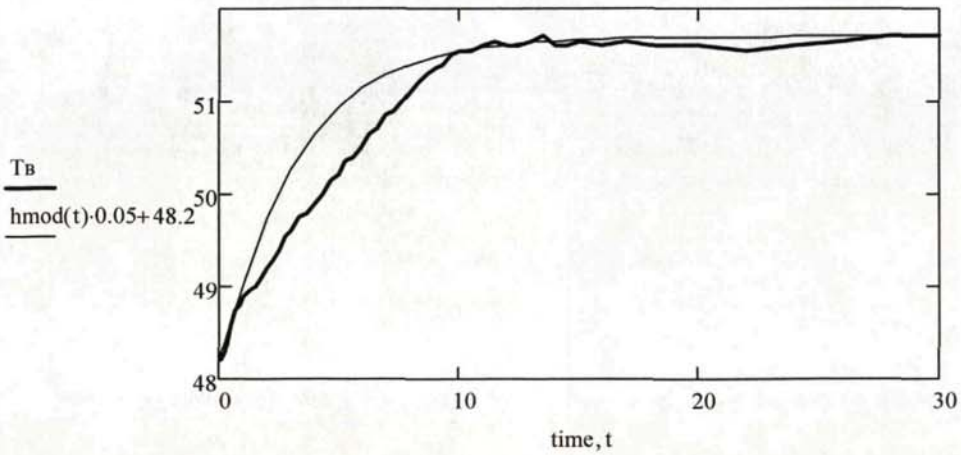


$Tmod := To$ $\quad t := 0..30$

$kmod := hy$ $\quad kmod = 70$

$\tau mod := tp - \frac{To}{hy} \cdot hp$ $\quad \tau mod = 0.136$

$hmod(t) := if\left[t < \tau mod, 0, kmod \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-t + \tau mod}{Tmod}\right)\right)\right]$



В результате, получаем передаточную функцию:

$$W28(p) := \frac{3.5}{3.06 \cdot p + 1} \cdot e^{-0.171 \cdot p}$$

Передаточная функция по каналу «температура верха колонны - температура тридцать седьмой тарелки»

Temв := READPRN("C:\температура 30%.txt")

$Temв^T =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	31	31	31	31	31	31.5	32.5	34	35.5	...

$$Tв := \frac{150 \cdot Temв}{100}$$

$Tв^T =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	47.25	48.75	51	...

Tem37 := READPRN("C:\температура 36%.txt")

$Tem37^T =$

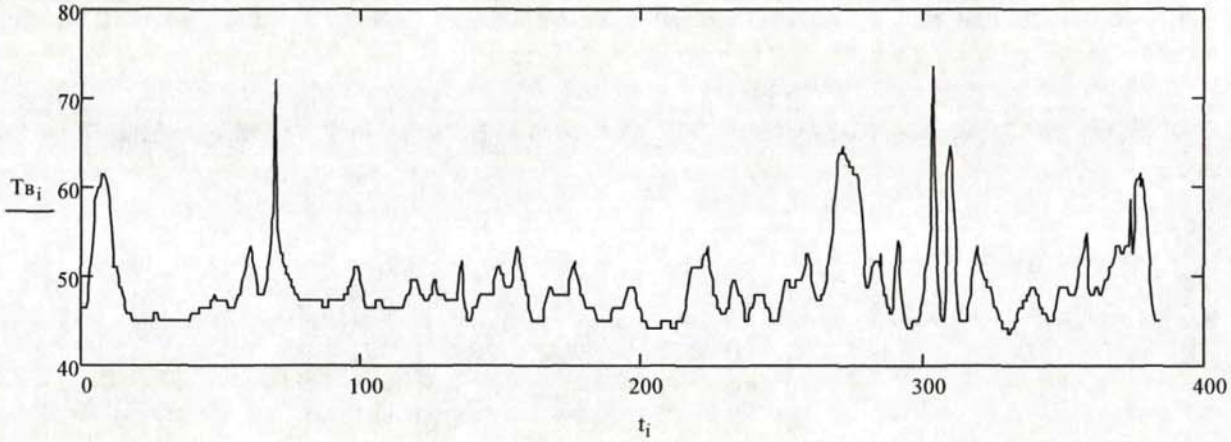
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	...

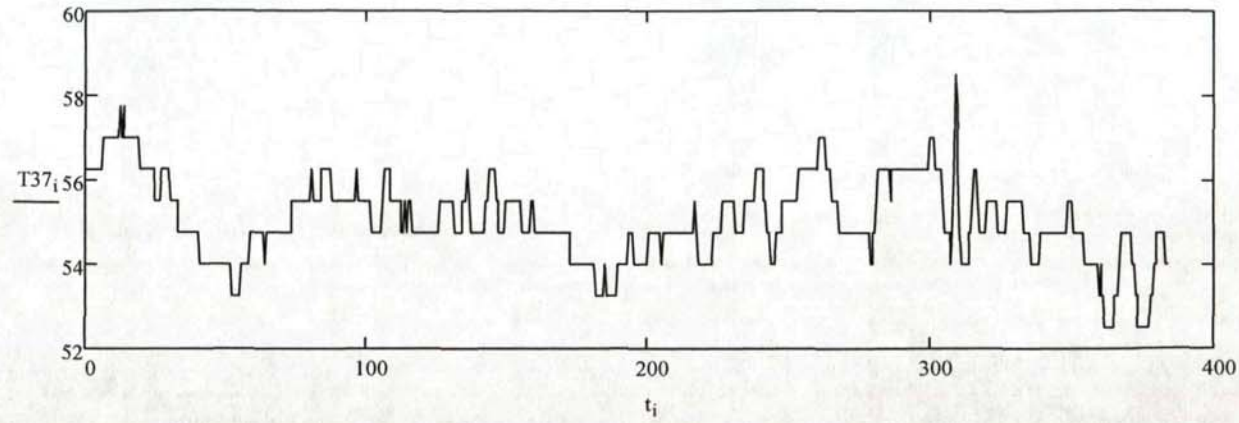
$$T37 := \frac{150 \cdot Tem37}{100}$$

$T37^T =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	56.25	56.25	56.25	56.25	56.25	56.25	56.25	56.25	...

$i := 0..768$ $\qquad t_i := i \cdot 0.5$





$N := 769$ $\qquad$ $i := 0..768$

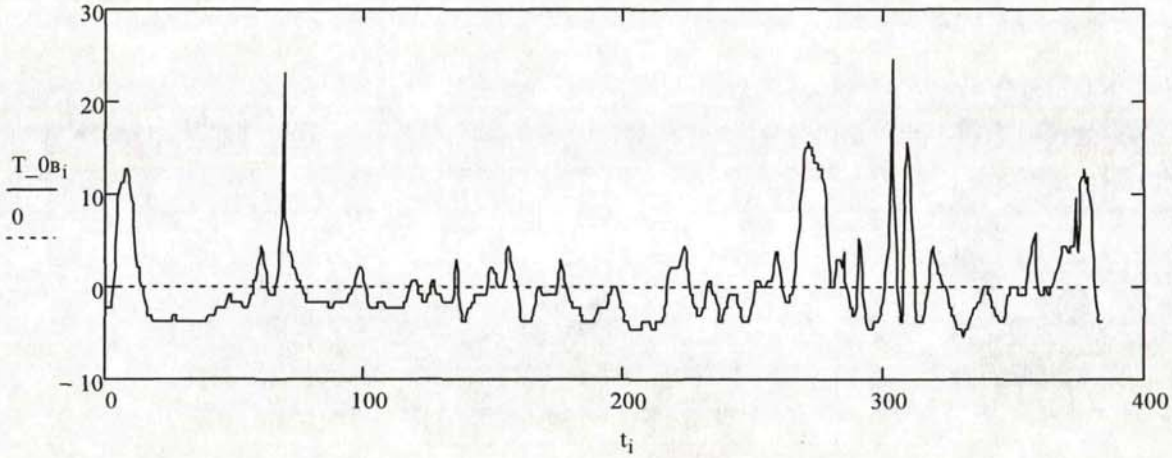
$$m_T_B := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} T_{B_i} \qquad m_T_B = 48.837$$

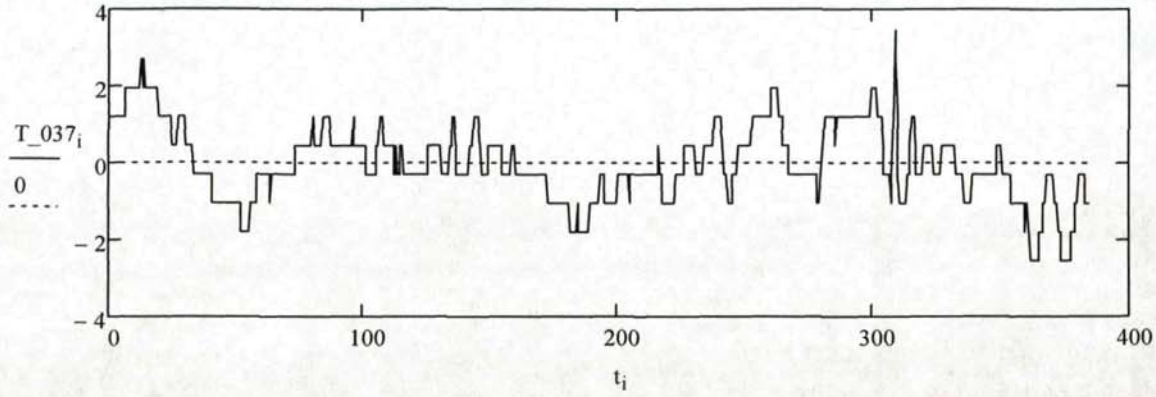
$$m_T37 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} T37_i \qquad m_T37 = 55.041$$

$$\sigma_T_B := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \left(T_{B_i} - m_T_B\right)^2 \qquad \sigma_T_B = 18.129$$

$$\sigma_T37 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \left(T37_i - m_T37\right)^2 \qquad \sigma_T37 = 0.941$$

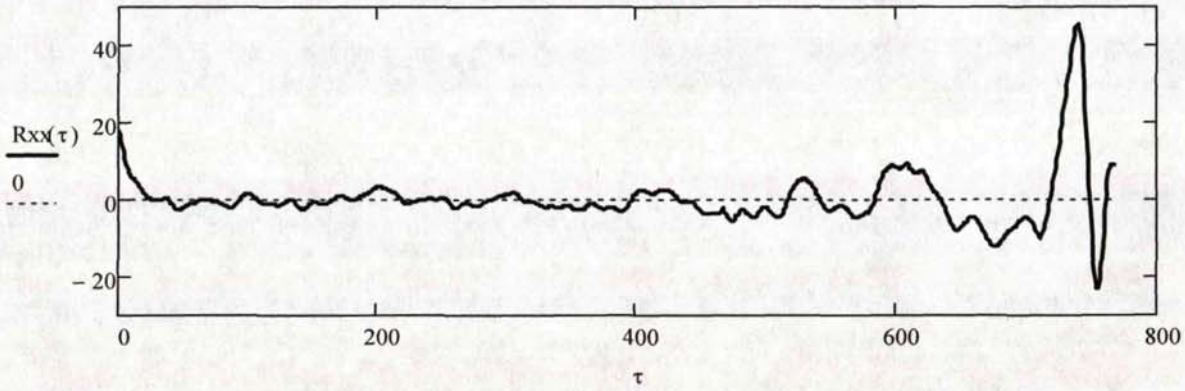
$T_0_{B_i} := T_{B_i} - m_T_B$ $\qquad$ $T_037_i := T37_i - m_T37$

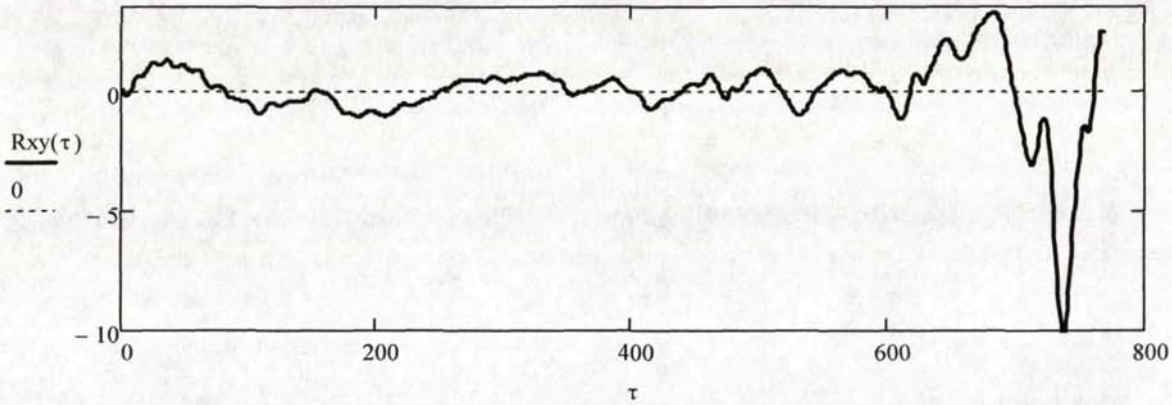




$\tau := i$

$$Rxx(\tau) := \frac{1}{(N-\tau)} \cdot \sum_{i=0}^{N-\tau-1} \left(T_0B_i \cdot T_0B_{i+\tau}\right) \qquad Rxy(\tau) := \frac{1}{(N-\tau)} \cdot \sum_{i=0}^{N-\tau-1} \left(T_0B_i \cdot T_037_{i+\tau}\right)$$






```
Kx:= | for i ∈ 0..768
       for j ∈ 0..768
         | kx_{i,j} ← Rxx(0)  if i = j
         | kx_{i,j} ← Rxx(i − j)  if i > j
         | kx_{i,j} ← Rxx(j − i)  if i < j
     | kx
```

```
Kxy:= | for j ∈ 0..768
        kxy_j ← Rxy(j)
      | kxy^T
```

$h := Kx^{-1} \cdot Kxy^{T}$ $\qquad$ $w(\tau\tau, k, T) := \frac{k}{T} \cdot e^{\frac{-\tau\tau}{T}}$

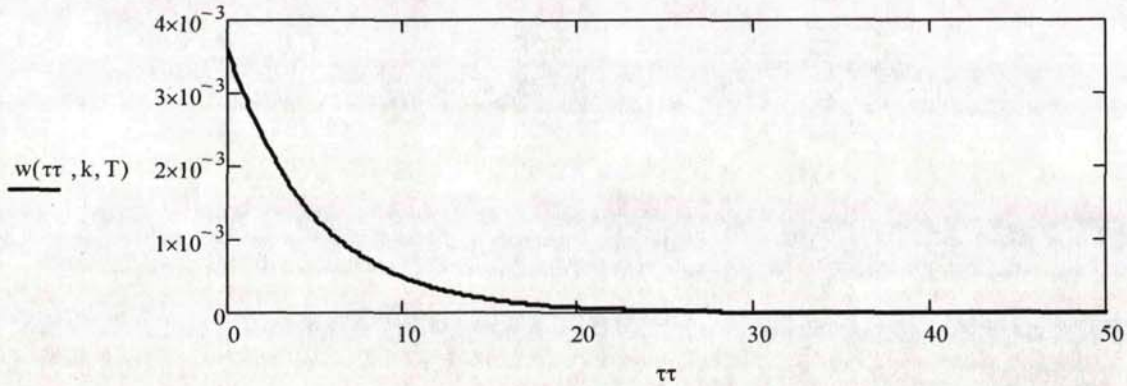
$$S(\tau\tau, k, T) := \sum_{i=0}^{768} \left(w(\tau\tau, k, T) - h_i\right)^2$$

$k := 1$ $\qquad$ $T := 10$ $\qquad$ $\tau\tau := 1$

$ot := \text{Minimize}(S, \tau\tau, k, T)$

$$ot = \begin{pmatrix} 0.278 \\ 0.018 \\ 5.01 \end{pmatrix}$$

$\tau\tau := 0, 0.1 .. 300$ $\qquad$ $k := 0.018$ $\qquad$ $T := 5.01$



В результате, получаем передаточную функцию:

$$W87(p) := \frac{0.018}{5.01 \cdot p + 1} \cdot e^{-0.28 \cdot p}$$

Передаточная функция по каналу «температура тридцать седьмой тарелки - температура двадцать восьмой тарелки»

$Tem37 := \text{READPRN}(\text{"C:\температура 36\%.txt"})$

$Tem37^{T} =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	...

$$T37 := \frac{150 \cdot Tem37}{100}$$

$T37^{T} =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	56.25	56.25	56.25	56.25	56.25	56.25	56.25	56.25	...

$Tem28 := \text{READPRN}(\text{"C:\температура 40\%.txt"})$

$Tem28^{T} =$

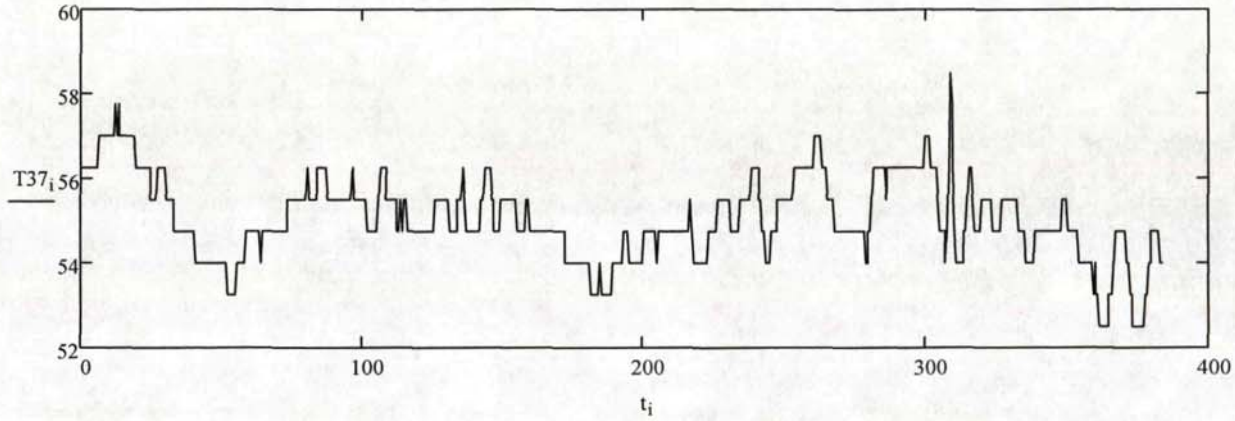
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	...

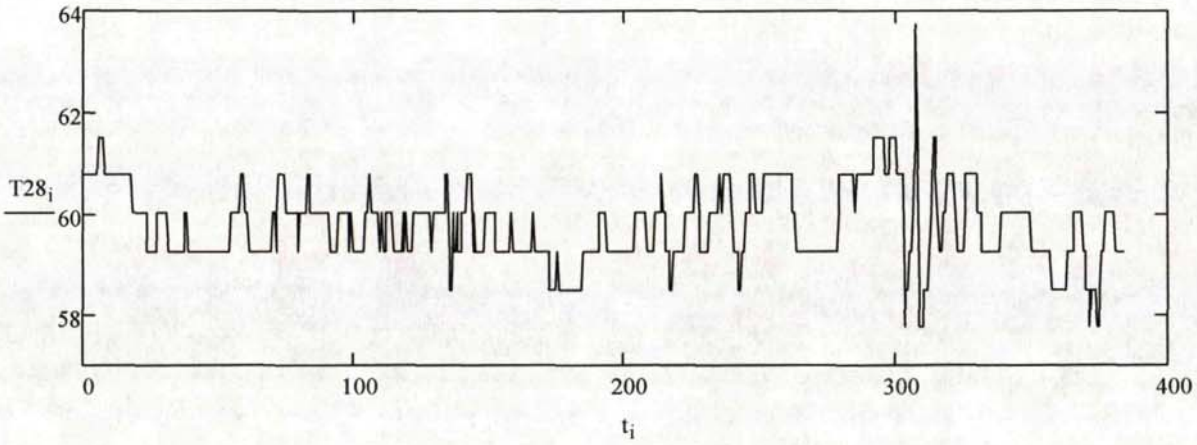
$$T28 := \frac{150 \cdot Tem28}{100}$$

$T28^T =$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	60.75	60.75	60.75	60.75	60.75	60.75	60.75	60.75	...

$i := 0..768$ $\qquad t_i := i \cdot 0.5$





$N := 769$ $\qquad i := 0..768$

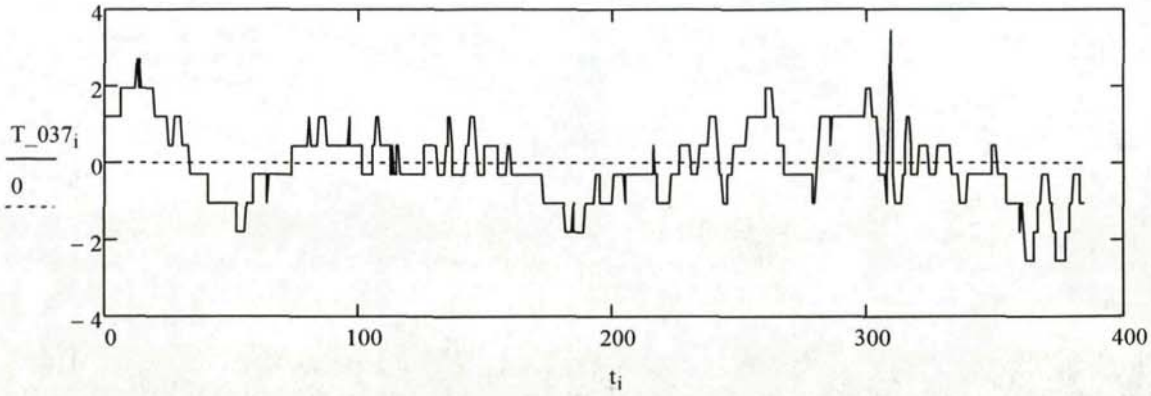
$$m_T37 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} T37_i \qquad m_T37 = 55.041$$

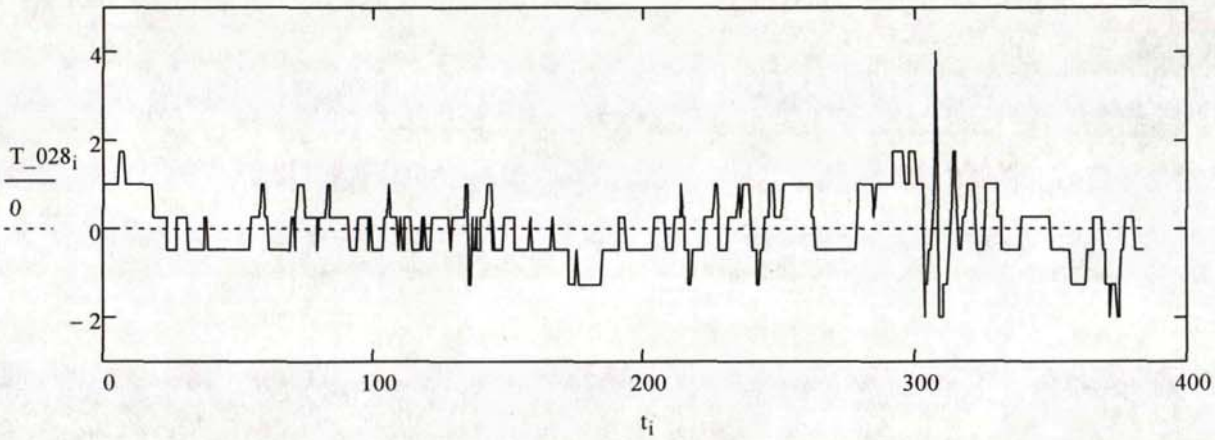
$$m_T28 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} T28_i \qquad m_T28 = 59.745$$

$$\sigma_T37 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \left(T37_i - m_T37\right)^2 \qquad \sigma_T37 = 0.941$$

$$\sigma_T28 := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \left(T28_i - m_T28\right)^2 \qquad \sigma_T28 = 0.552$$

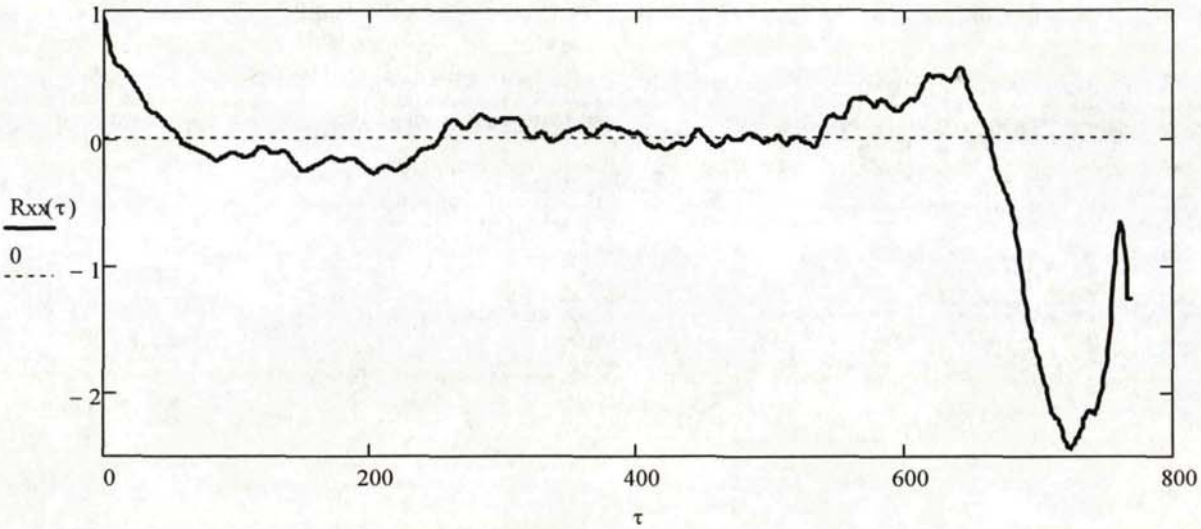
$T_037_i := T37_i - m_T37$ $\qquad T_028_i := T28_i - m_T28$

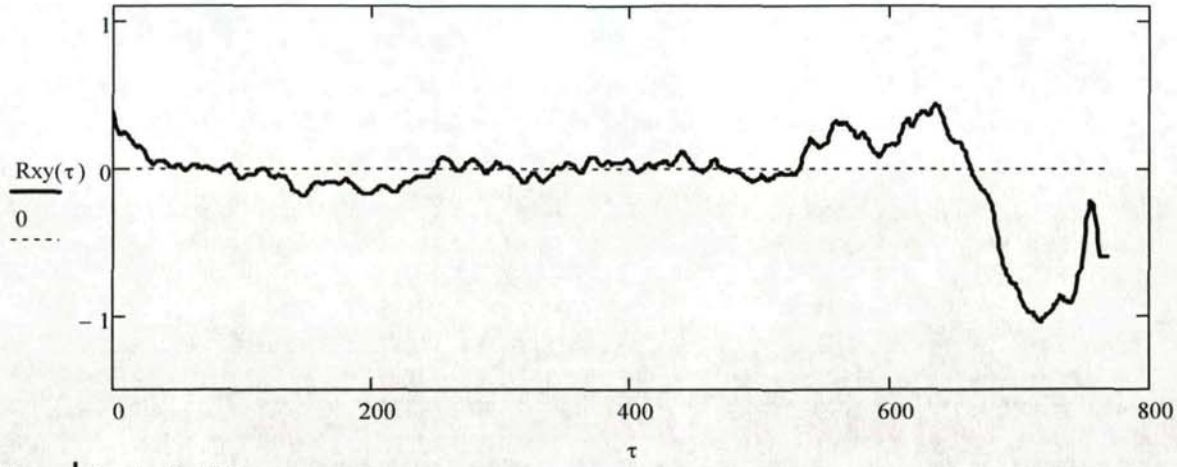




$\tau := i$

$$Rxx(\tau) := \frac{1}{(N-\tau)} \cdot \sum_{i=0}^{N-\tau-1} \left(T_037_i \cdot T_037_{i+\tau}\right) \qquad Rxy(\tau) := \frac{1}{(N-\tau)} \cdot \sum_{i=0}^{N-\tau-1} \left(T_037_i \cdot T_028_{i+\tau}\right)$$





$$Kx := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..768 \\ \quad \text{for } j \in 0..768 \\ \quad\quad \left| \begin{array}{l} kx_{i,j} \leftarrow Rxx(0) \ \text{ if } i = j \\ kx_{i,j} \leftarrow Rxx(i-j) \ \text{ if } i > j \\ kx_{i,j} \leftarrow Rxx(j-i) \ \text{ if } i < j \end{array} \right. \\ kx \end{array} \right.$$

$$Kxy := \left| \begin{array}{l} \text{for } j \in 0..768 \\ \quad kxy_j \leftarrow Rxy(j) \\ kxy^T \end{array} \right.$$

$$w(\tau\tau, k, T) := \frac{k}{T} \cdot e^{\frac{-\tau\tau}{T}}$$

$$h := Kx^{-1} \cdot Kxy^T$$

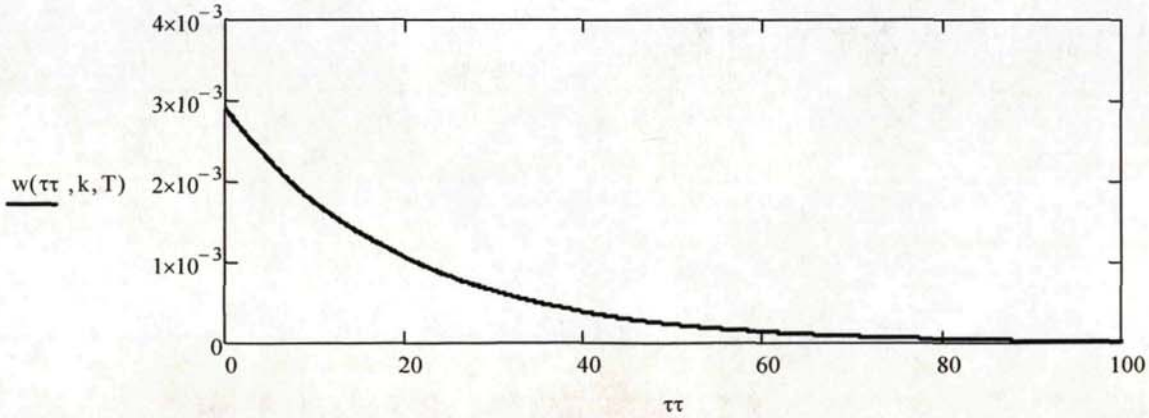
$$S(\tau\tau, k, T) := \sum_{i=0}^{768} \left(w(\tau\tau, k, T) - h_i\right)^2$$

$k := 1$ $\qquad T := 10$ $\qquad \tau\tau := 1$

$ot := \text{Minimize}(S, \tau\tau, k, T)$

$$ot = \begin{pmatrix} 1.109 \\ 0.058 \\ 19.91 \end{pmatrix}$$

$\tau\tau := 0, 0.1..300$ $\qquad k := 0.058$ $\qquad T := 19.91$



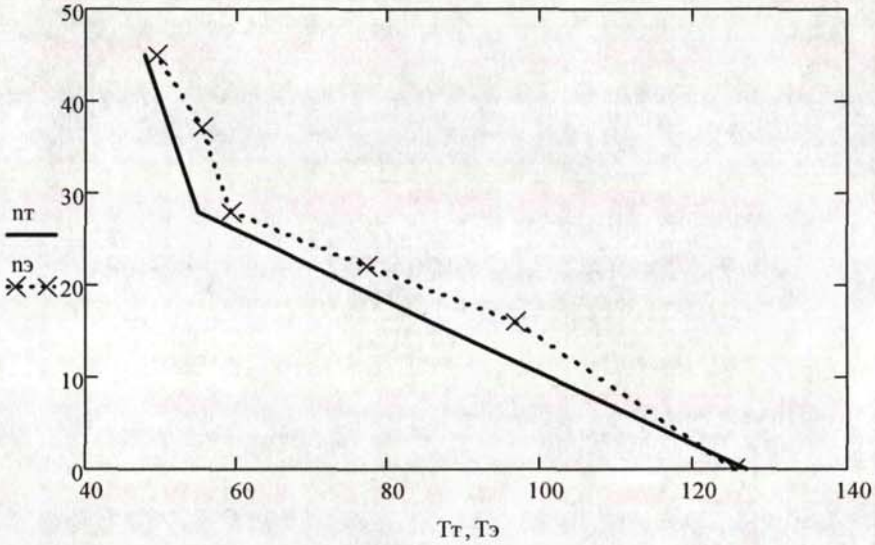
В результате, получаем передаточную функцию:

$$W76(p) := \frac{0.058}{19.91 \cdot p + 1} \cdot e^{-1.11 \cdot p}$$

Б.2.3 Проверка на адекватность математической модели формирования температурного профиля колонны

$пт := (0\ \ 28\ \ 45)^T$ $\qquad$ $Тт := (127\ \ 55\ \ 48)^T$

$пэ := (0\ \ 16\ \ 22\ \ 28\ \ 37\ \ 45)^T$ $\qquad$ $Тэ := (125.25\ \ 96.75\ \ 77.25\ \ 59.25\ \ 55.5\ \ 49.5)^T$



$N := 3$ $\qquad$ $i := 0..2$

$$m_Тт := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} Тт_i \qquad m_Тт = 76.667$$

$$\sigma_Тт := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \left(Тт_i - m_Тт\right)^2 \qquad \sigma_Тт = 1.275 \times 10^3$$

$N := 6$ $\qquad$ $i := 0..5$

$$m_Тэ := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} Тэ_i \qquad m_Тэ = 77.25$$

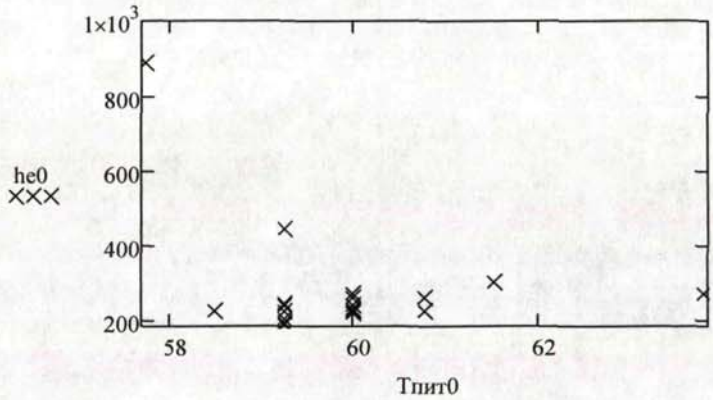
$$\sigma_Тэ := \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} \left(Тэ_i - m_Тэ\right)^2 \qquad \sigma_Тэ = 708.563$$

$$Fэмп := \frac{\sigma_Тт}{\sigma_Тэ} \qquad Fэмп = 1.799$$

Б.3 Получение статической характеристики ректификационной колонны

he0 := READPRN("C:\величина невязки.txt")

Тпит0 := READPRN("C:\температура питания.txt")



$$ht(t,k,b,c) := k \cdot (t-b)^2 + c \qquad dhtk(t,k,b,c) := \frac{d}{dk}ht(t,k,b,c)$$

$$dhtb(t,k,b,c) := \frac{d}{db}ht(t,k,b,c) \qquad dhtc(t,k,b,c) := \frac{d}{dc}ht(t,k,b,c)$$

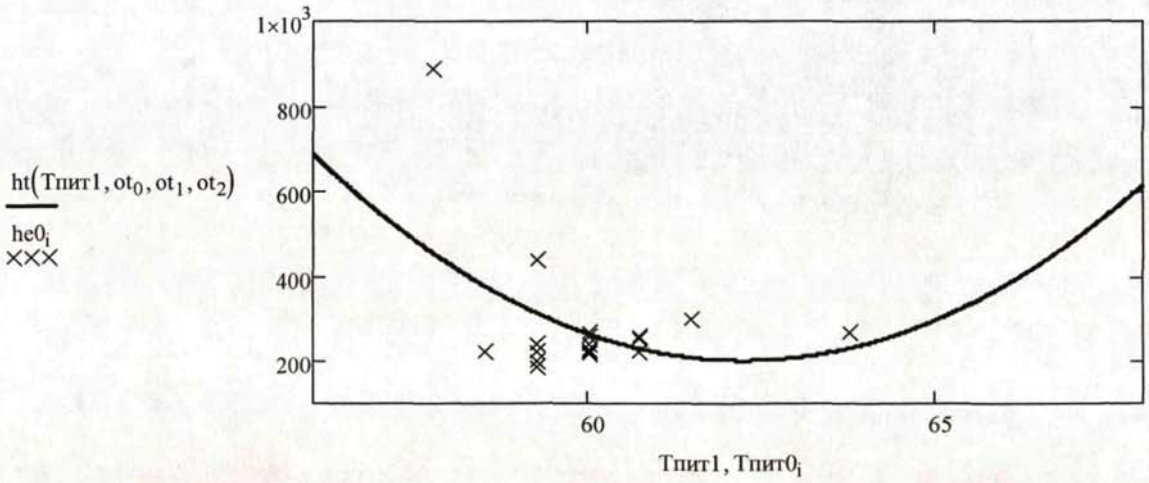
$$A0 := \begin{pmatrix} 30 \\ 30 \\ 300 \end{pmatrix}$$

$$Sum(A) := \sum_{i=0}^{19} \left(ht\left(Тпит0_i, A_0, A_1, A_2\right) - he0_i\right)^2$$

ot := Minimize(Sum, A0)

$$ot = \begin{pmatrix} 12.483 \\ 62.241 \\ 201.093 \end{pmatrix}$$

k1 := 12.483 b1 := 62.241 c1 := 201.093



Б.3 Расчет параметров настройки регуляторов каскадных систем регулирования

Б.3.1 Каскадная система регулирования температуры кубового остатка

$k1 := 1.915$ $\quad T1 := 3.1$

$\tau 1 := 0.177$ $\quad \tau 2 := 0.10$

$j := \sqrt{-1}$ $\quad M := 1.55$

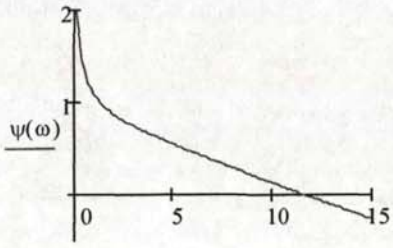
$$Wy(\omega) := \frac{k1 \cdot \exp(-\tau 1 \cdot j \cdot \omega)}{(T1 \cdot \omega \cdot j) + 1}$$

$$Wz(\omega) := \exp(-\tau 2 \cdot j \cdot \omega)$$

$$W(\omega) := \frac{Wy(\omega)}{Wz(\omega)}$$

$\phi(\omega) := \arg(W(\omega))$ $\quad \gamma := \operatorname{asin}\left(\frac{1}{M}\right)$

$$\psi(\omega) := \phi(\omega) + \pi - \gamma$$



$\omega end \equiv 15$ $\quad n \equiv 100$ $\quad \Delta\omega \equiv \frac{\omega end}{n}$ $\quad \omega \equiv \Delta\omega, 2 \cdot \Delta\omega .. \omega end$

$\omega := 12$ $\quad \omega\gamma := \operatorname{root}(\psi(\omega), \omega)$ $\quad \omega\gamma = 11.652$

$d\phi(\omega) := \frac{d}{d\omega}\phi(\omega)$ $\quad Ti1 := \frac{-2}{\omega\gamma^2 \cdot d\phi(\omega\gamma)}$

$Td := \frac{1}{\omega\gamma^2 \cdot Ti1}$ $\quad kr1 := \frac{M}{|W(\omega\gamma)| \cdot \sqrt{M^2 - 1}}$

$kr1 = 24.698$ $\quad Ti1 = 0.186$ $\quad Td = 0.04$

$Wy(\omega) := \frac{k1 \cdot \exp(-\tau 1 \cdot j \cdot \omega)}{(T1 \cdot \omega \cdot j) + 1}$ $\quad Wz(\omega) := \exp(-\tau 2 \cdot j \cdot \omega)$

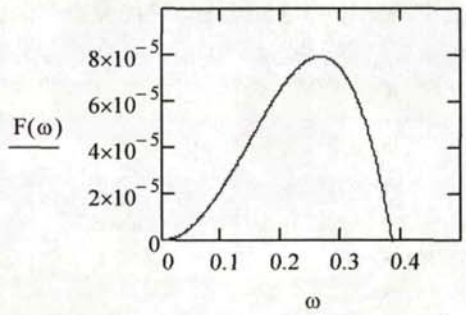
$$Wr1(\omega) := kr1\cdot\left(1 + \frac{1}{Ti1\cdot\omega\cdot j} + Td\cdot\omega\cdot j\right)$$

$$W2(\omega) := Wy(\omega)\cdot Wr1(\omega) + Wz(\omega)$$

$\omega end := 0.5$ $\quad n := 500$ $\quad \Delta\omega := \frac{\omega end}{n}$ $\quad \omega := \Delta\omega, 2\cdot\Delta\omega .. \omega end$

$\phi(\omega) := \arg(W2(\omega))$ $\quad A(\omega) := |W2(\omega)|$

$$F(\omega) := \frac{-\omega\cdot M}{A(\omega)\cdot\left(M^2 - 1\right)}\cdot(M\cdot\sin(\phi(\omega)) + 1)$$



$\omega := 0.25$

Given

$\omega > 0.2$ $\quad \omega < 0.3$

$\omega res := Maximize(F, \omega)$

$\omega res = 0.266$

$Fmax := F(\omega res)$

$Fmax = 7.921\times 10^{-5}$

$\phi res := \phi(\omega res)$

$Ares := A(\omega res)$

$$kr2 := -M^2\cdot\frac{\cos(\phi res)}{\left(M^2 - 1\right)\cdot Ares} \qquad kr2 = 1.469\times 10^{-3}$$

$$Ti2 := \frac{kr2}{Fmax} \qquad Ti2 = 18.545$$

Б.3.2 Каскадная система регулирования температуры верха

$k1 := 3.5$ $\quad T1 := 3.06$ $\quad \tau 1 := 0.171$ $\quad \tau 2 := 0.10$

$j := \sqrt{-1}$ $\quad M := 1.55$

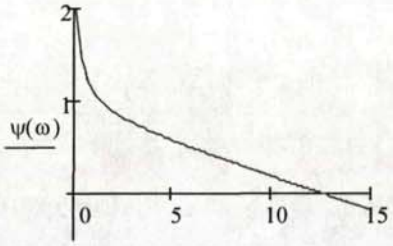
$$Wy(\omega) := \frac{k1\cdot\exp(-\tau 1\cdot j\cdot\omega)}{(T1\cdot\omega\cdot j) + 1}$$

$$Wz(\omega) := \exp(-\tau 2\cdot j\cdot\omega)$$

$$W(\omega) := \frac{Wy(\omega)}{Wz(\omega)}$$

$$\phi(\omega) := \arg(W(\omega)) \qquad \gamma := \operatorname{asin}\left(\frac{1}{M}\right)$$

$$\psi(\omega) := \phi(\omega) + \pi - \gamma$$



$$\omega end \equiv 15 \qquad n \equiv 100 \qquad \Delta\omega \equiv \frac{\omega end}{n} \qquad \omega \equiv \Delta\omega, 2\cdot\Delta\omega .. \omega end$$

$$\omega := 13 \qquad \omega\gamma := root(\psi(\omega), \omega) \qquad \omega\gamma = 12.612$$

$$d\phi(\omega) := \frac{d}{d\omega}\phi(\omega) \qquad Ti1 := \frac{-2}{\omega\gamma^2 \cdot d\phi(\omega\gamma)}$$

$$Td := \frac{1}{\omega\gamma^2 \cdot Ti1} \qquad kr1 := \frac{M}{|W(\omega\gamma)| \cdot \sqrt{M^2 - 1}}$$

$$kr1 = 14.437 \qquad Ti1 = 0.172 \qquad Td = 0.037$$

$$Wy(\omega) := \frac{k1 \cdot \exp(-\tau 1 \cdot j \cdot \omega)}{(T1 \cdot \omega \cdot j) + 1} \qquad Wz(\omega) := \exp(-\tau 2 \cdot j \cdot \omega)$$

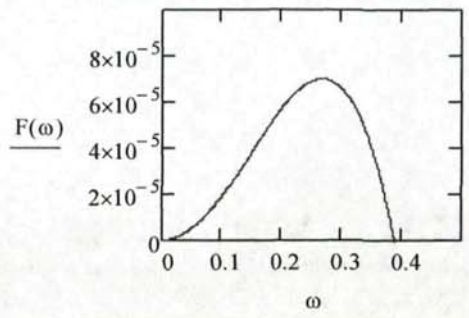
$$Wr1(\omega) := kr1 \cdot \left(1 + \frac{1}{Ti1 \cdot \omega \cdot j} + Td \cdot \omega \cdot j\right)$$

$$W2(\omega) := Wy(\omega) \cdot Wr1(\omega) + Wz(\omega)$$

$$\omega end := 0.5 \qquad n := 500 \qquad \Delta\omega := \frac{\omega end}{n} \qquad \omega := \Delta\omega, 2\cdot\Delta\omega .. \omega end$$

$$\phi(\omega) := \arg(W2(\omega)) \qquad A(\omega) := |W2(\omega)|$$

$$F(\omega) := \frac{-\omega \cdot M}{A(\omega) \cdot (M^2 - 1)} \cdot (M \cdot \sin(\phi(\omega)) + 1)$$



$\omega := 0.2$

Given

$\omega > 0.15 \qquad \omega < 0.3$

$\omega res := Maximize(F, \omega)$

$\omega res = 0.268$

$Fmax := F(\omega res)$

$Fmax = 6.984 \times 10^{-5}$

$\phi res := \phi(\omega res)$

$Ares := A(\omega res)$

$$kr2 := -M^2 \cdot \frac{\cos(\phi res)}{\left(M^2 - 1\right) \cdot Ares} \qquad kr2 = 1.28 \times 10^{-3}$$

$$Ti2 := \frac{kr2}{Fmax} \qquad Ti2 = 18.331$$

Б.4 Моделирование температуры на тарелке питания

моделирование помехи 2

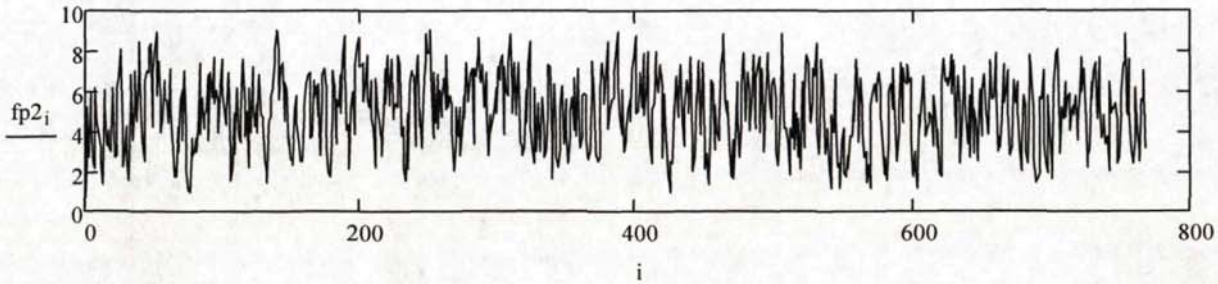
$i := 0..768 \qquad zp2_i := rnd(10)$

$\alpha x := 1.138$

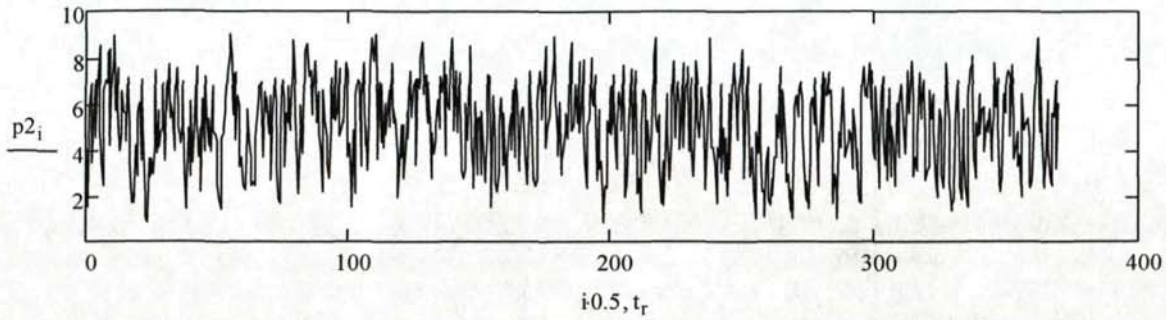
$\alpha др := \alpha x$

$$T\phi := \frac{1}{\alpha др} \qquad T\phi = 0.879$$

$$fp2_{i+1} := fp2_i + \frac{Ts}{T\phi} \cdot \left(zp2_i - fp2_i\right) \qquad fp2_0 := 0$$

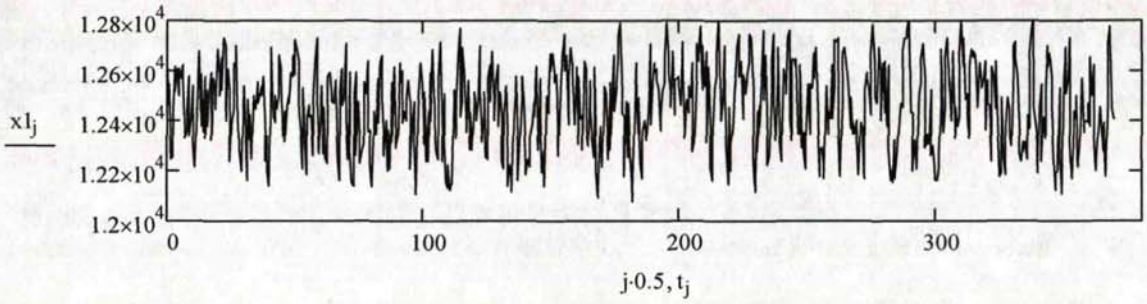


$p2 := submatrix(fp2, 30, 769, 0, 0)$



моделирование расхода перегретого пара

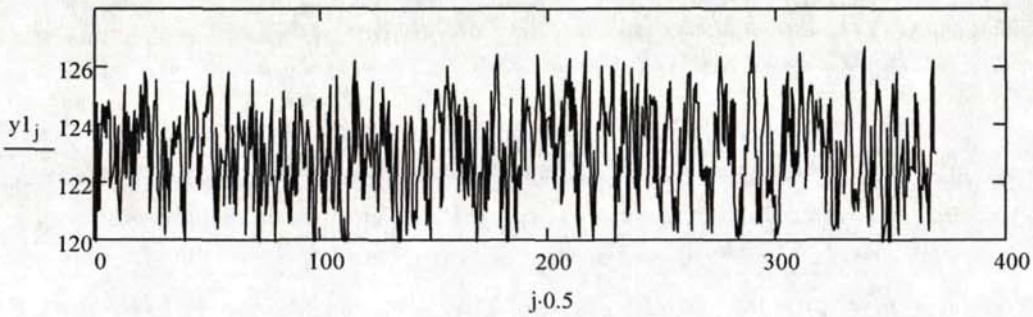
$x1_j := x01_j + p2_j$



$Tф := 3.1$ $\qquad$ $Ts := 3.2$

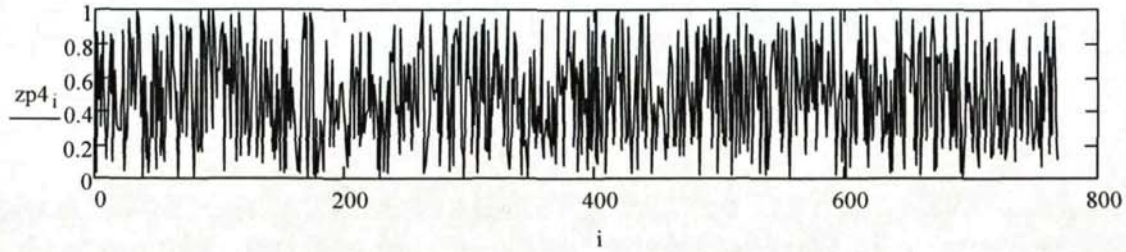
$y1_0 := 0$

$$y1_{j+1} := \left[y1_j + \frac{Ts}{Tф} \cdot \left(1.915 \cdot x1_j - y1_j\right)\right]$$



моделирование помехи 4

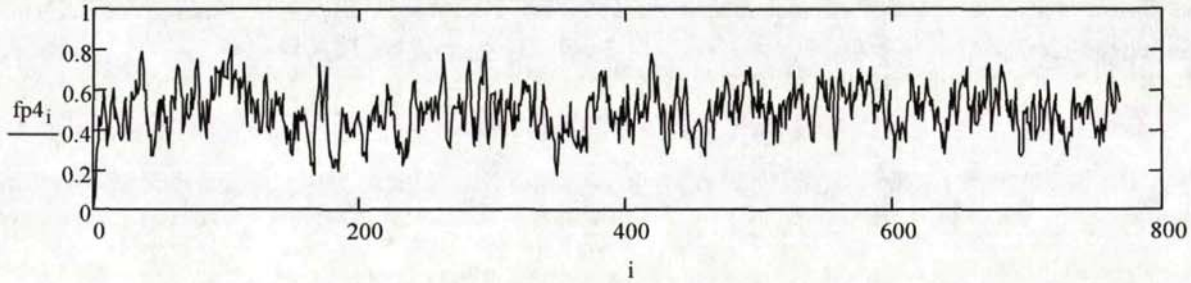
$i := 0..768$ $\qquad$ $zp4_i := rnd(1)$



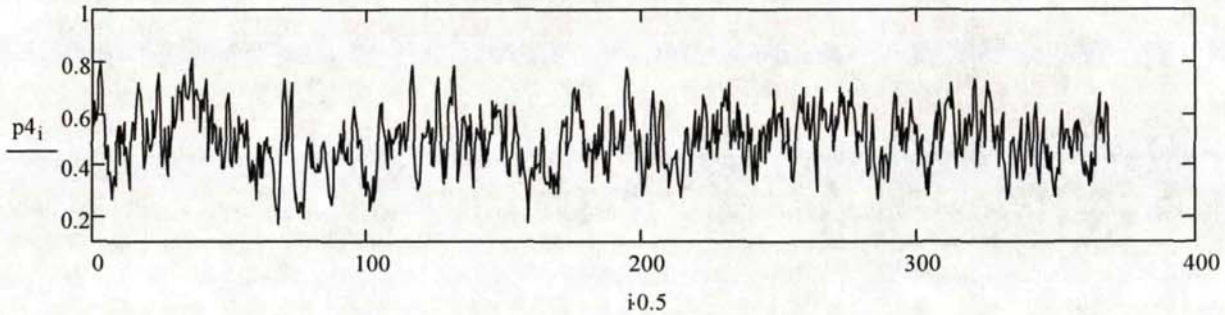
$Ts := 3$ $\qquad$ $Тф := 10$

$fp4_0 := 0$

$$fp4_{i+1} := fp4_i + \frac{Ts}{Тф} \cdot \left(zp4_i - fp4_i\right)$$

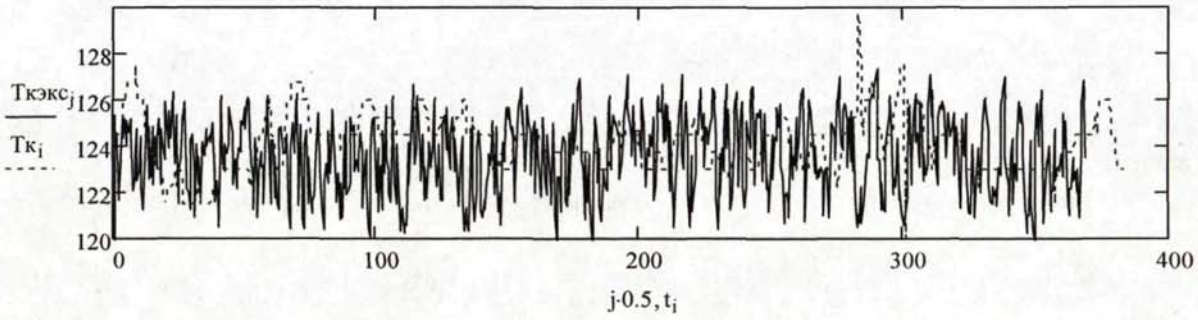


$p4 := \mathrm{submatrix}(fp4, 30, 769, 0, 0)$



температура куба

$Tкэкс_j := y1_j + p4_j$

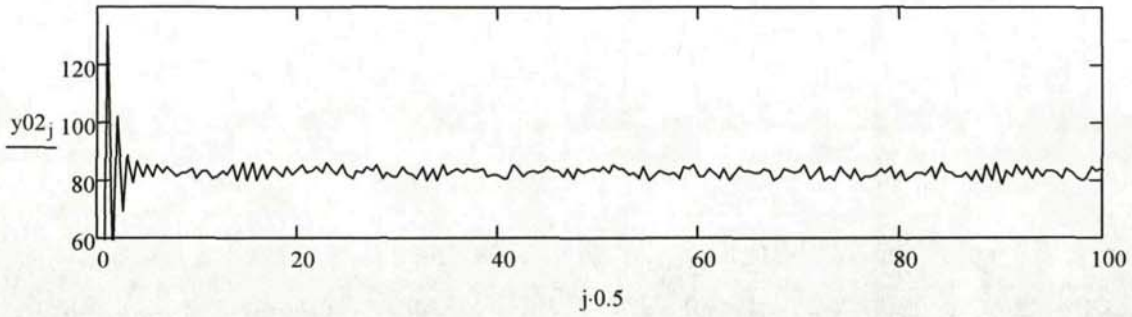


температура 16-й тарелки

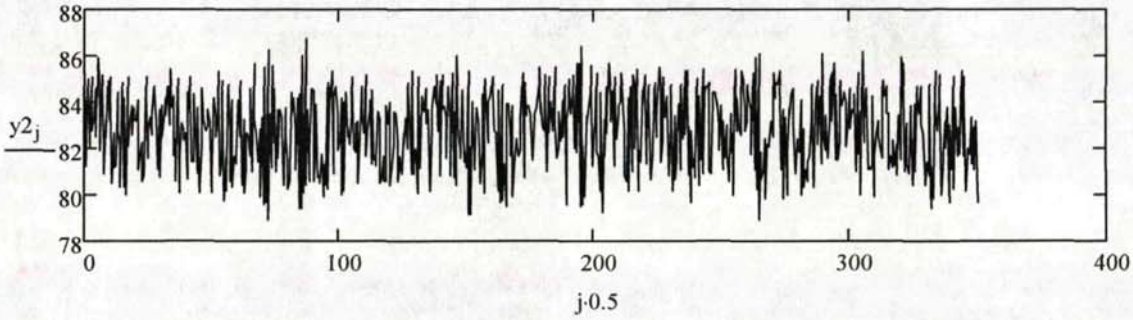
$Тф := 9.528$ $\qquad$ $Ts := 15.2$

$y02_0 := 0$

$$y02_{j+1} := \left[y02_j + \frac{Ts}{Тф} \cdot \left(0.67 \cdot Ткэкс_j - y02_j\right) \right]$$



y2 := submatrix(y02, 35, 734, 0, 0)

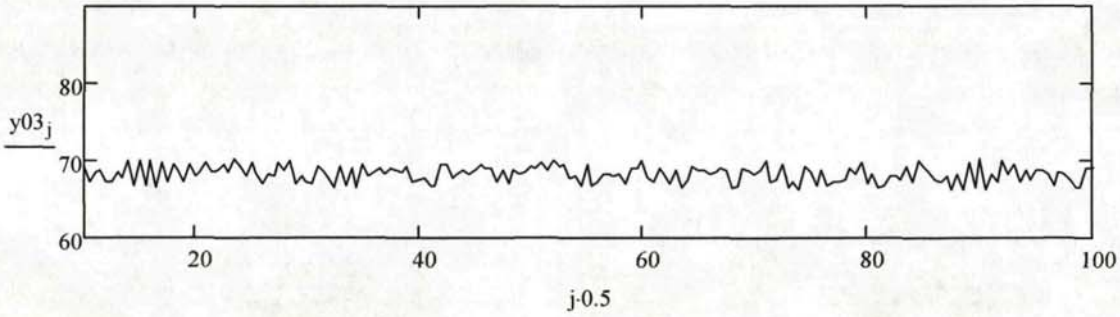


температура 22-й тарелки

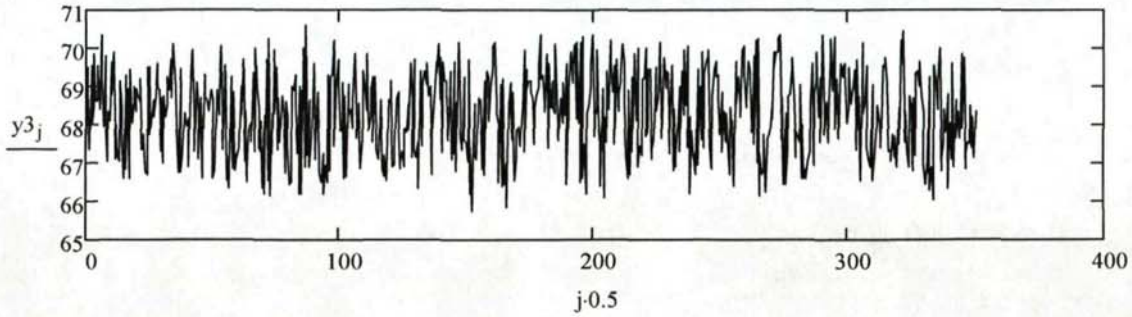
Тф := 0.25 Ts := 0.2 j := 0.. 734

$y03_0 := 0$

$$y03_{j+1} := \left[y03_j + \frac{Ts}{Тф} \cdot \left(0.825 \cdot y02_j - y03_j\right) \right]$$



y3 := submatrix(y03, 35, 734, 0, 0)

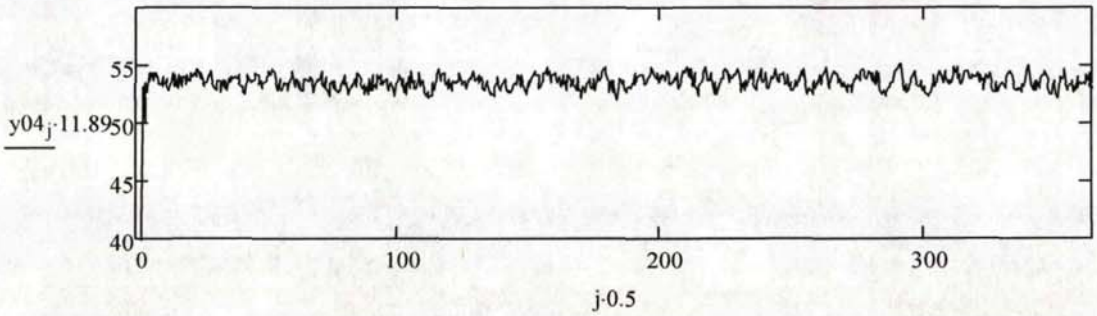


температура 28-й тарелки

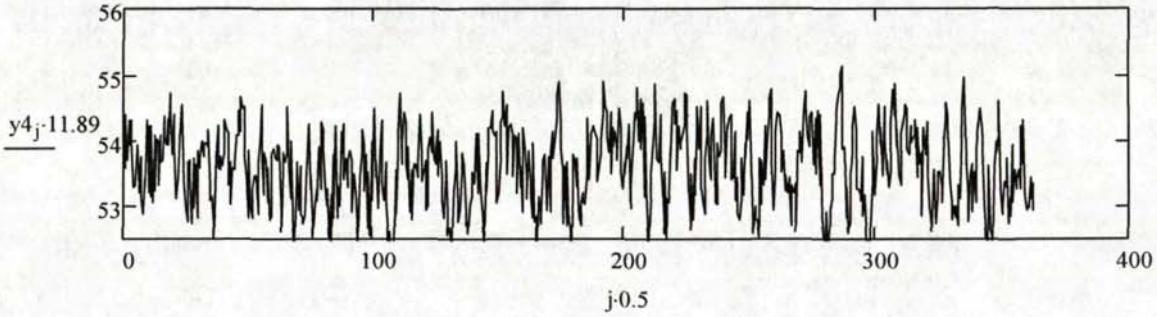
$T\phi := 19.86$ $\qquad$ $Ts := 12$

$y04_0 := 0$

$$y04_{j+1} := \left[y04_j + \frac{Ts}{T\phi} \cdot \left(0.066 \cdot y03_j - y04_j \right) \right]$$

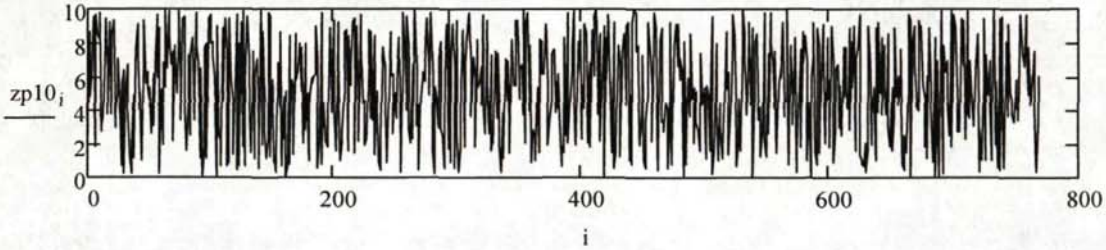


$y4 := \text{submatrix}(y04, 10, 734, 0, 0)$



моделирование помехи 10

$i := 0..768$ $\qquad$ $zp10_i := rnd(10)$



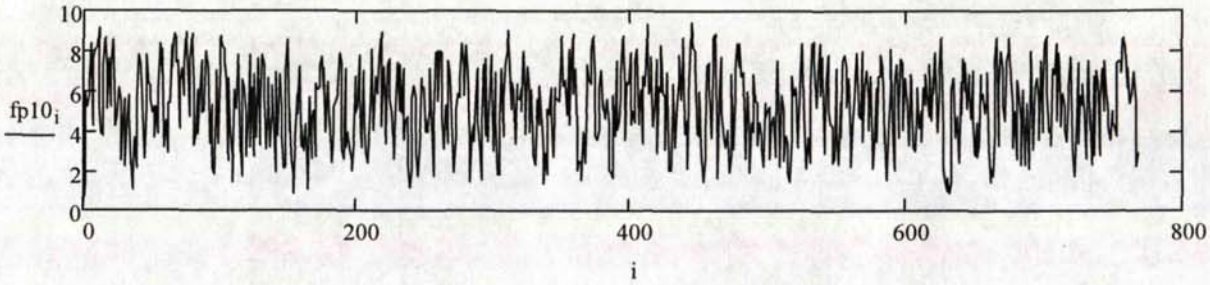
$\alpha x := 1.138$

$\alpha др := \alpha x$ $\qquad$ $Ts := 0.5$

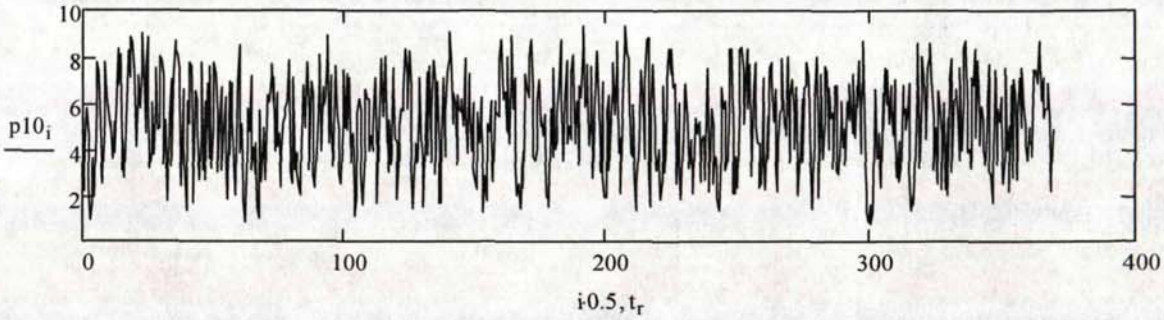
$Тф := \frac{1}{\alpha др}$ $\qquad$ $Тф = 0.879$

$fp10_0 := 0$

$fp10_{i+1} := fp10_i + \frac{Ts}{Тф} \cdot \left(zp10_i - fp10_i\right)$

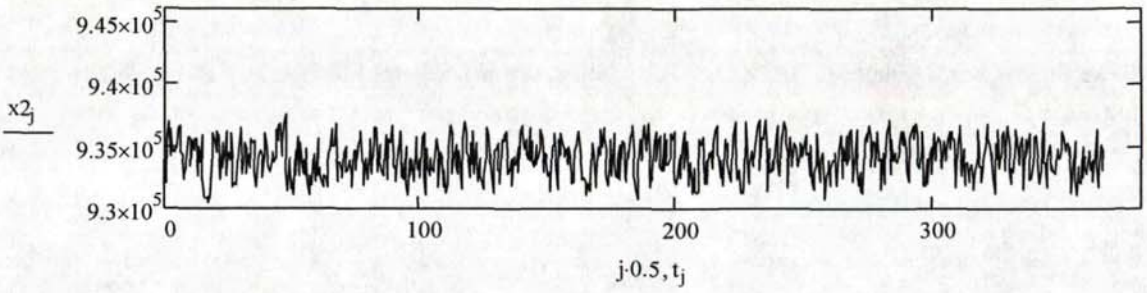


p10 := submatrix(fp10, 30, 769, 0, 0)



моделирование расхода хладагента

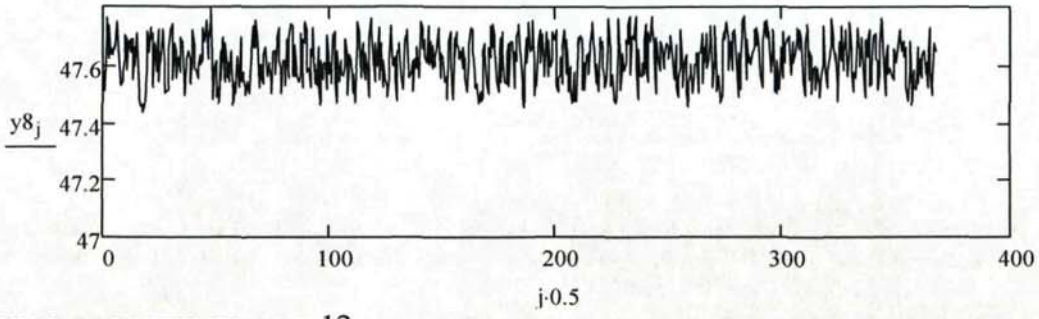
$x2_j := x02_j \cdot 1000 + p10_j$



$Тф := 3.06$ $\qquad$ $Ts := 3.2$

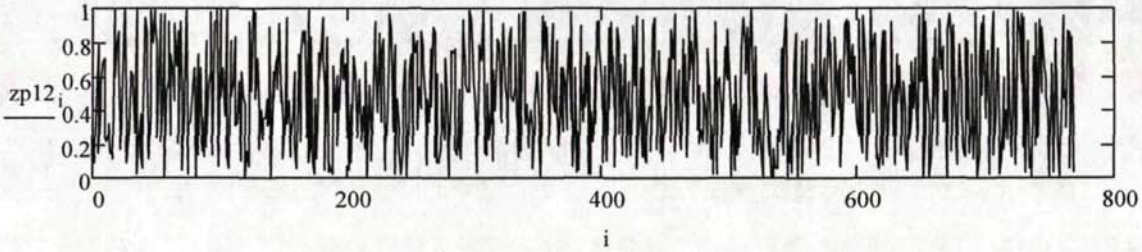
$y8_0 := 0$

$y8_{j+1} := \left[y8_j + \frac{Ts}{Тф} \cdot \left(3.5 \cdot x2_j - y8_j\right)\right]$



моделирование помехи 12

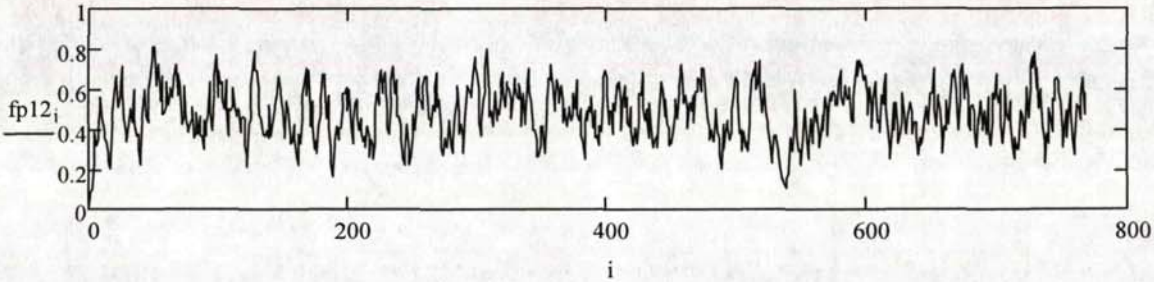
$i := 0..768$ $\qquad zp12_i := rnd(1)$



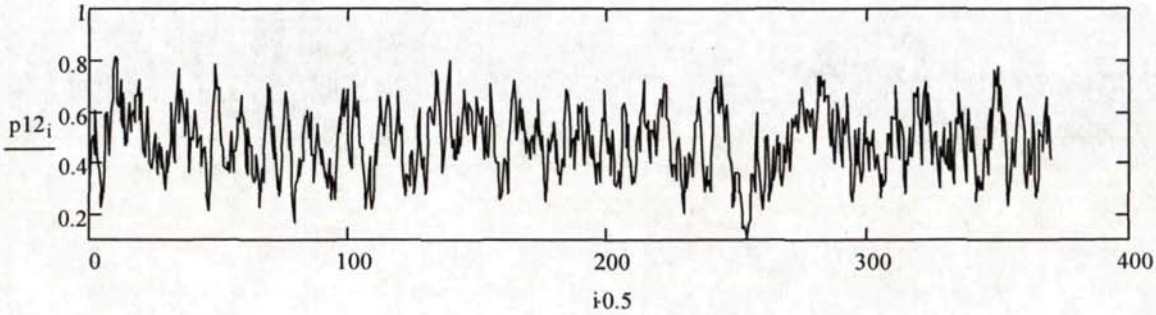
$Ts := 3$ $\qquad Tф := 10$

$fp12_0 := 0$

$$fp12_{i+1} := fp12_i + \frac{Ts}{Tф} \cdot \left(zp12_i - fp12_i\right)$$

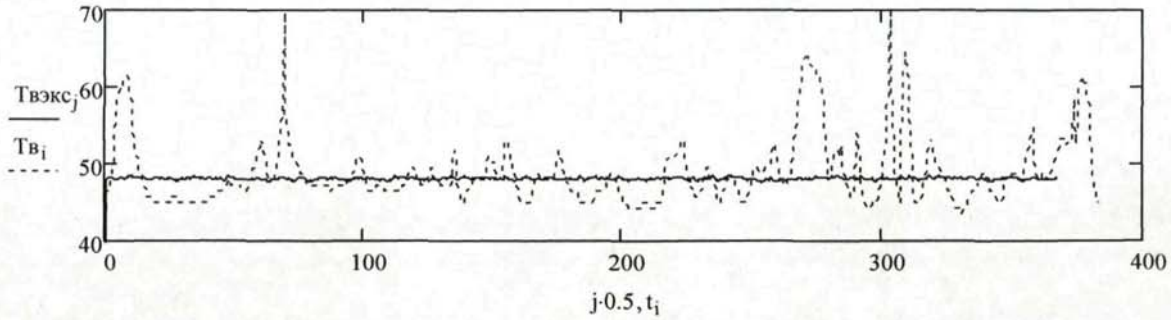


$p12 := submatrix(fp12, 30, 769, 0, 0)$



температура верха

$Tвэкс_j := y8_j + p12_j$

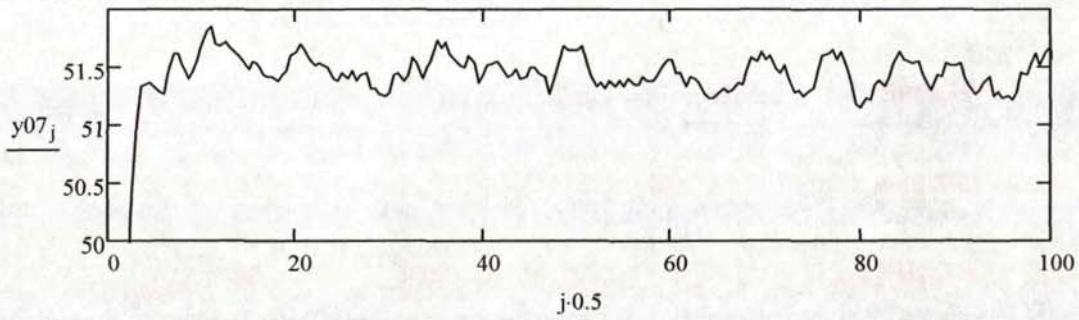


температура 37-й тарелки

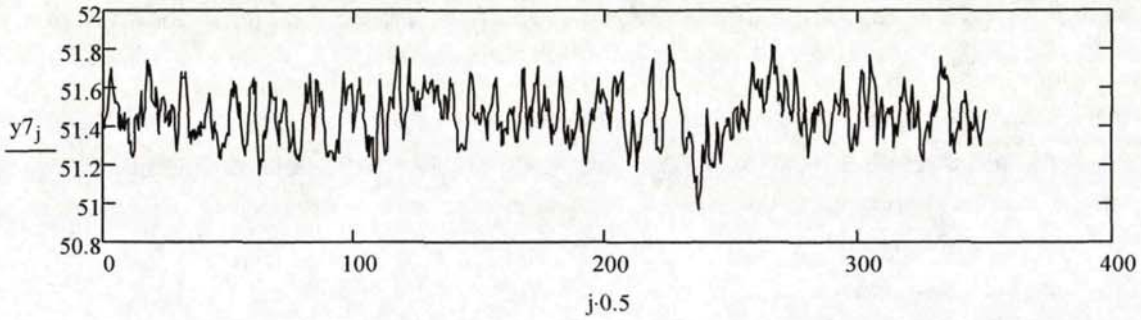
$Тф := 5.01$ $\qquad$ $Ts := 3$

$y07_0 := 0$

$$y07_{j+1} := \left[y07_j + \frac{Ts}{Тф} \cdot \left(1.07 \cdot Твэкс_j - y07_j\right)\right]$$



$y7 := \text{submatrix}(y07, 35, 734, 0, 0)$

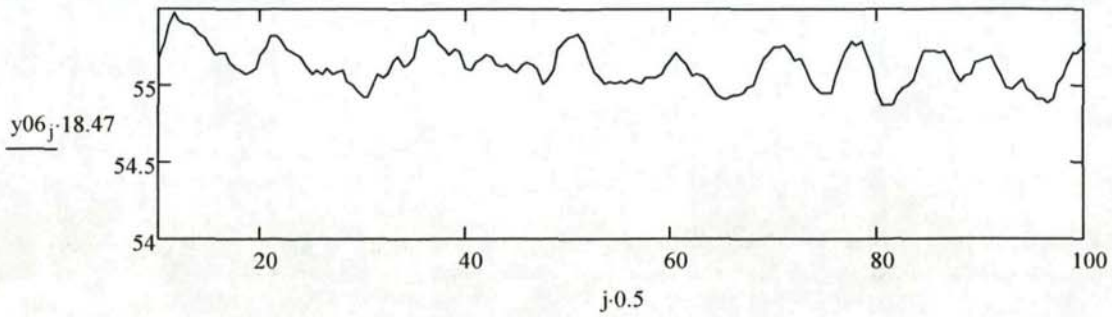


температура 28-й тарелки

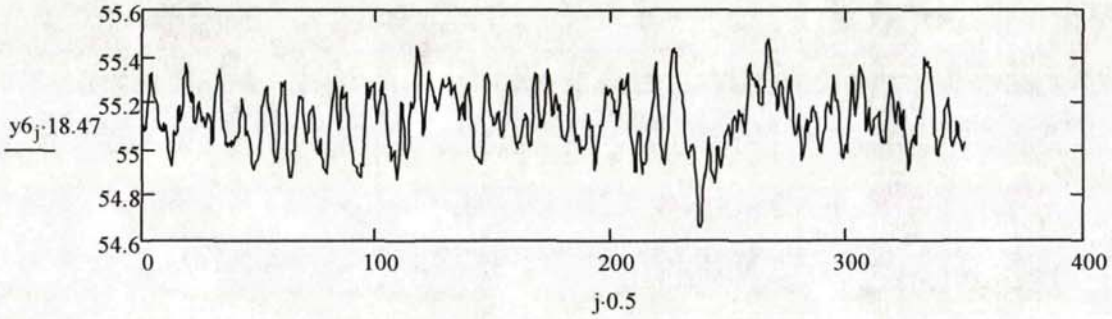
$Тф := 19.91$ $\qquad$ $Ts := 10.2$

$y06_0 := 0$

$$y06_{j+1} := \left[y06_j + \frac{Ts}{Тф} \cdot \left(0.058 \cdot y07_j - y06_j\right)\right]$$



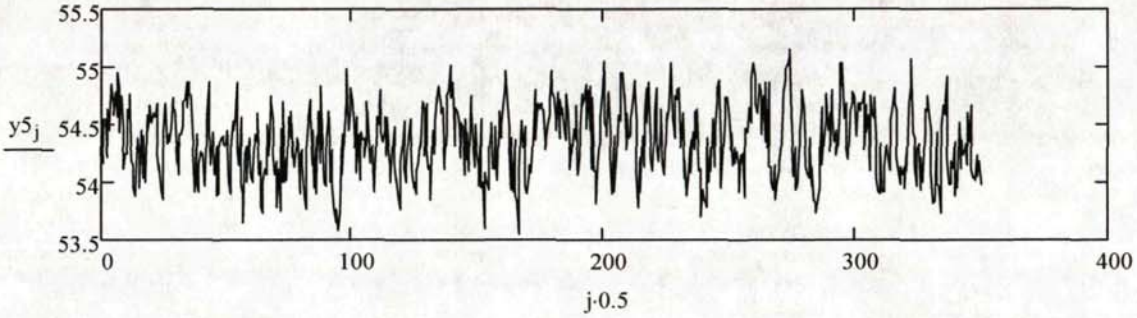
y6 := submatrix(y06, 35, 734, 0, 0)



температура тарелки питания

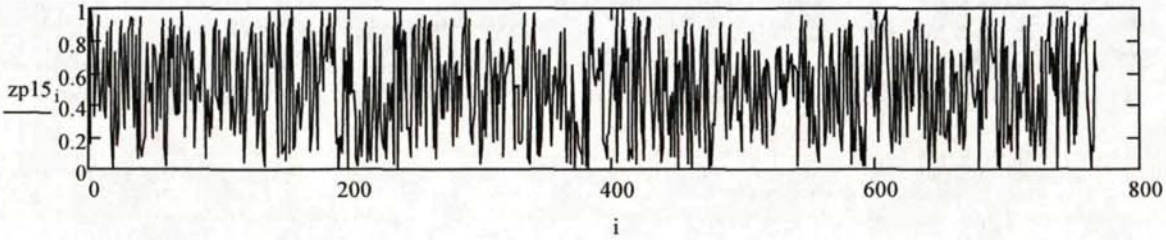
$y05_j := 0.5 \cdot \left(y04_j \cdot 11.89 + y06_j \cdot 18.47\right)$

y5 := submatrix(y05, 35, 734, 0, 0)



моделирование помехи 15

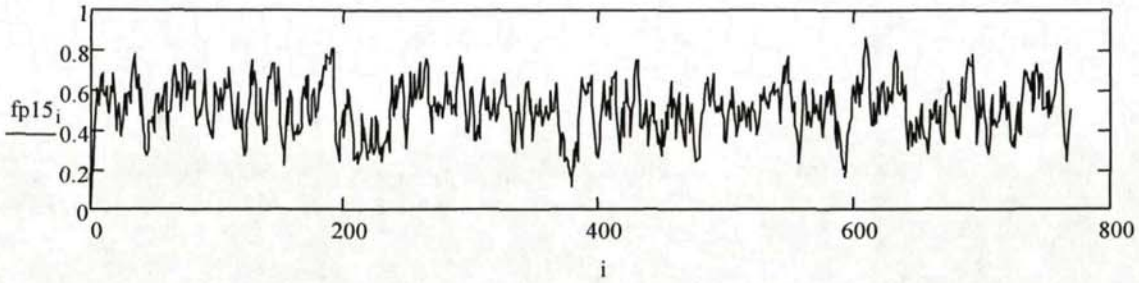
$zp15_i := rnd(1)$



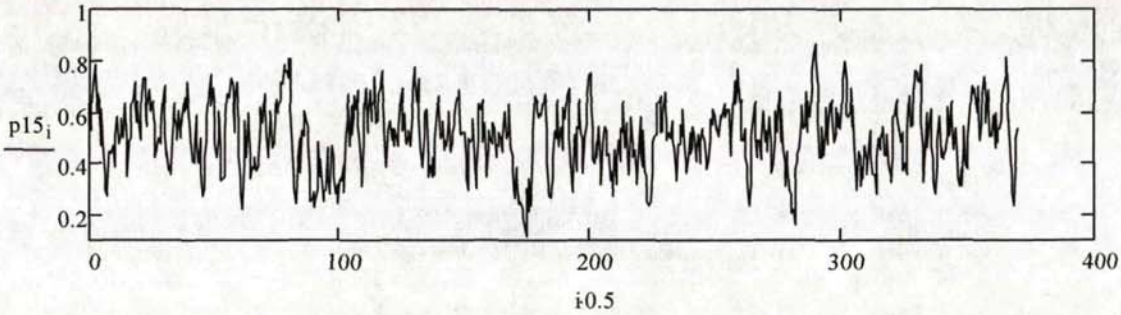
Ts := 3 Тф := 10

$fp15_0 := 0$

$$fp15_{i+1} := fp15_i + \frac{Ts}{Tф} \cdot \left(zp15_i - fp15_i\right)$$

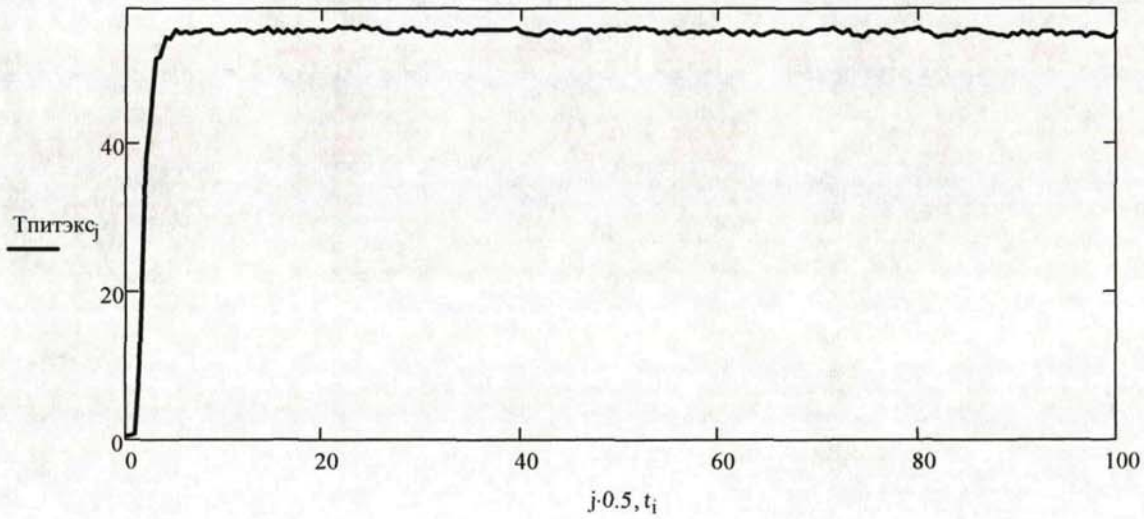


p15 := submatrix(fp15, 30, 769, 0, 0)



j := 0.. 734

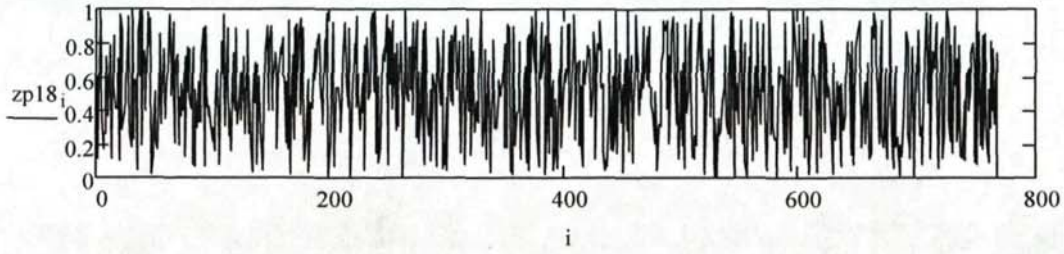
$Tпитэкс_j := y05_j + p15_j$



$$\psi 0_j := 12.483 \cdot \left(Tпитэкс_j - 62.241\right)^2 + 201.093$$

моделирование помехи 18

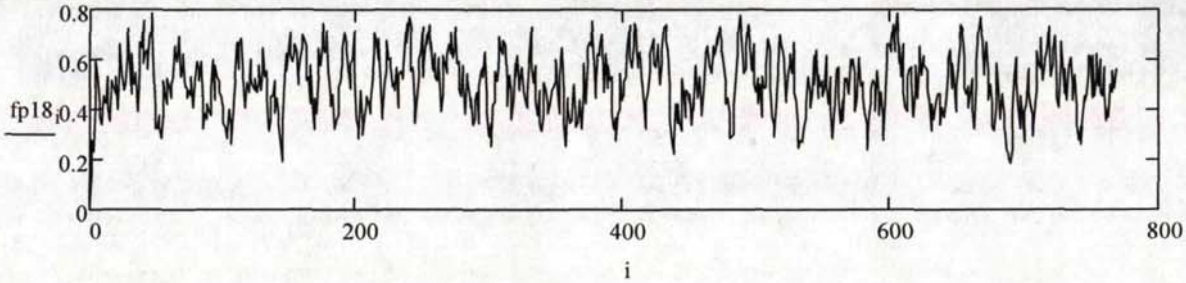
$zp18_i := rnd(1)$



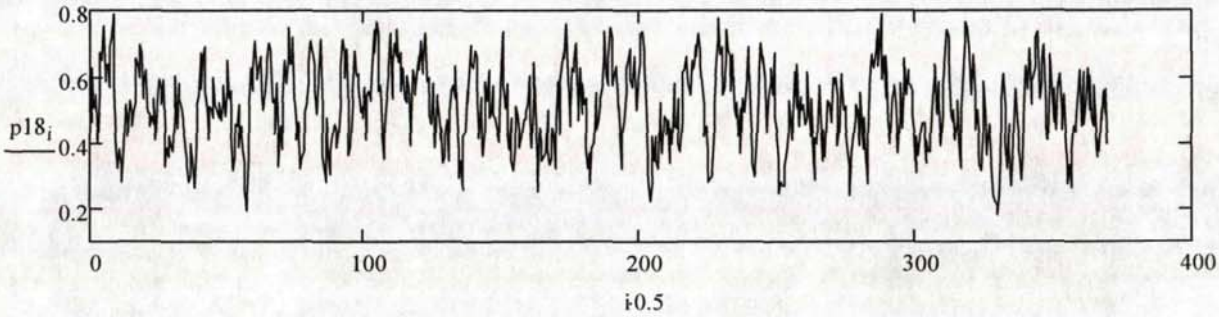
$Ts := 3$ $\qquad$ $T\phi := 10$

$fp18_0 := 0$

$$fp18_{i+1} := fp18_i + \frac{Ts}{T\phi} \cdot \left(zp18_i - fp18_i\right)$$



$p18 := \mathrm{submatrix}(fp18, 30, 769, 0, 0)$

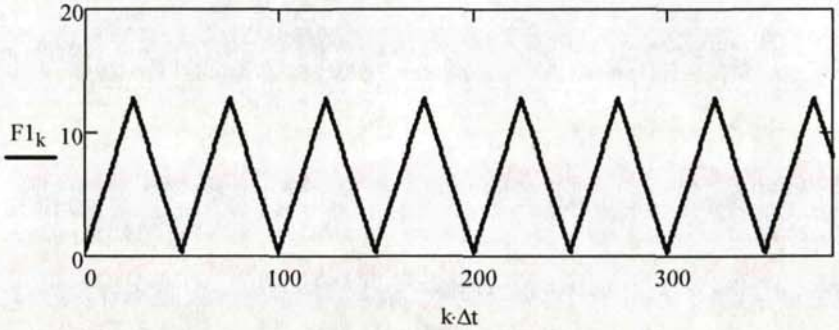


моделирование дрейфа статической характеристики

$N := 769$ $\qquad$ $T := 384$ $\qquad$ $dt := \dfrac{T}{N-1}$

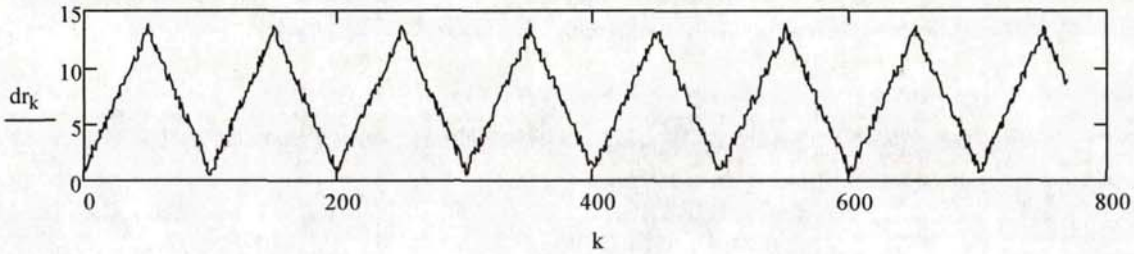
$bs4 := \mathrm{rnorm}(N, 0, 1)$ $\qquad$ $k := 1..N$ $\qquad$ $\Delta t := dt$ $\qquad$ $Flag := 0$

```
F1 := | Flag ← 1
      | for k ∈ 1..N
      |   | bs4_k ← bs4_(k−1) + 0.25  if (mod(k,50) ≠ 0) · (Flag = 1)
      |   | if (mod(k,50) ≠ 0) · (Flag = 0)
      |   |   | bs4_k ← bs4_(k−1) − 0.25
      |   |   | w ← 1
      |   | if (mod(k,50) = 0) · (Flag = 1)
      |   |   | Flag ← 0
      |   |   | bs4_k ← bs4_(k−1) + 0.25
      |   |   | w ← 0
      |   | if (mod(k,50) = 0) · (Flag = 0) · (w ≠ 0)
      |   |   | Flag ← 1
      |   |   | bs4_k ← bs4_(k−1) − 0.25
      | bs4
```

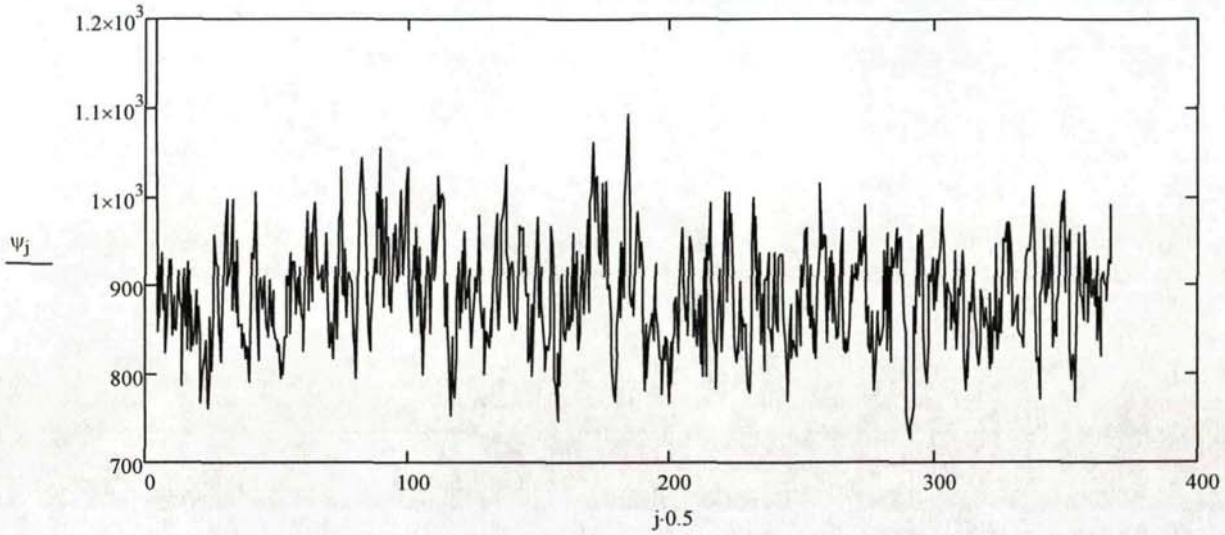


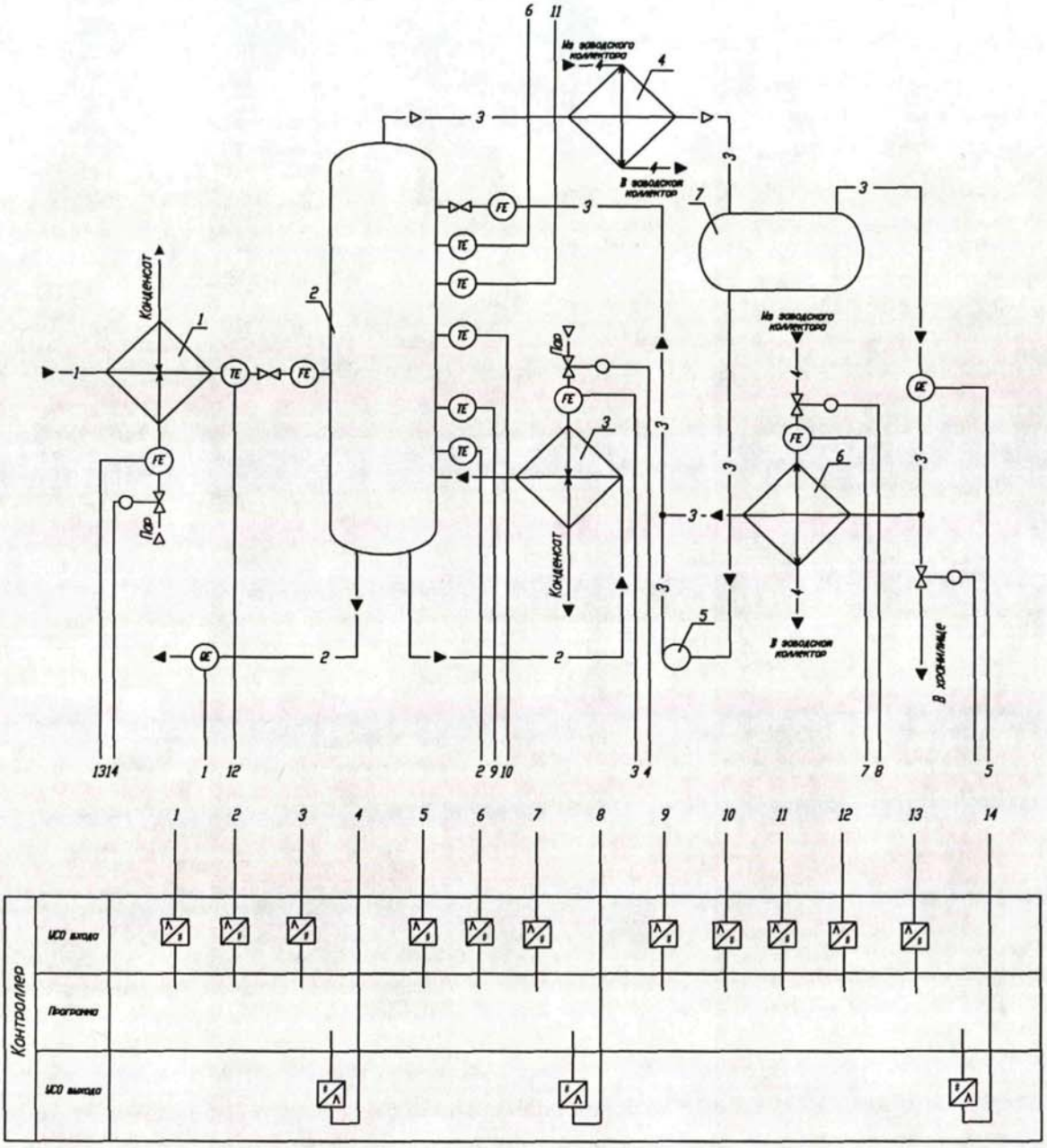
$k := 0..768$ $\qquad$ $zl_k := rnd(1)$

$dr_k := F1_k + zl_k$



$\psi_j := \psi 0_j + p15_j + dr_j$


1.2×10^3
1.1×10^3
1×10^3
900
800
700
Ψj
0
100
200
300
400
j·0.5



Изм.	Лист	Nдокумента	Подп.	Дата
Разраб.		Агринская		09.2011
Пров.		Шевчук В.П.		09.2011
Н. контр.				09.2011
Утв.				09.2011

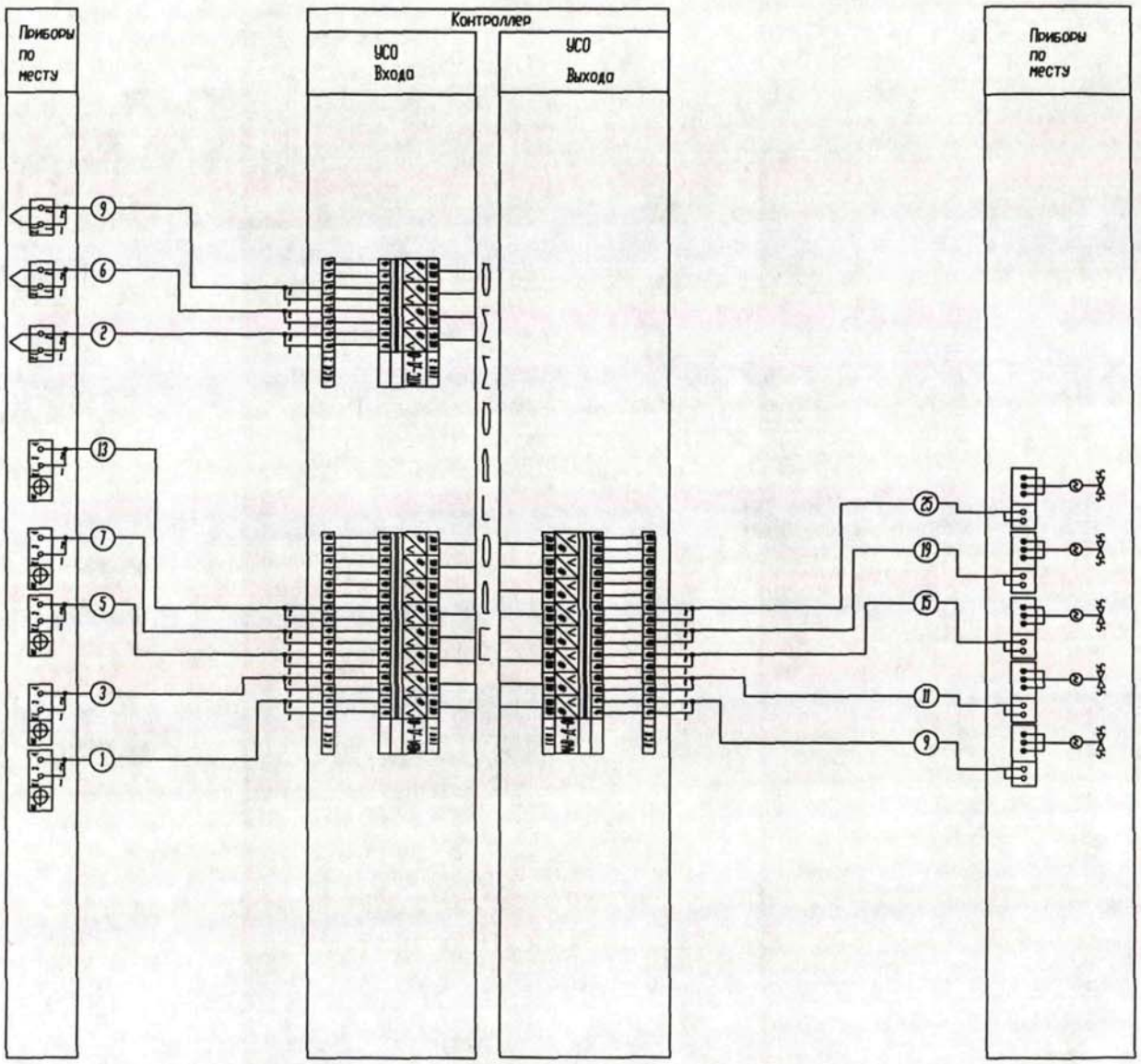
Приложение В.
Эскизный проект

Лит	Масса	Масштаб

Лист 192 Листов 193

Схема функциональная

ВФ МЭИ



Изм.	Лист	N докум	Подп.	Дата	Схема принципиальная	Лист 193

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ» В Г. ВОЛЖСКОМ

УТВЕРЖДАЮ:
Директор филиала
д.т.н., профессор В.С. Кузеванов
31 октября 2011 г.

АКТ

об использовании результатов диссертационного исследования

Комиссия в составе зам. директора по учебной работе П.В. Шамигулова, декана теплоэнергетического факультета М.В. Одоевцевой, заведующего лабораторией «Технические средства автоматизации» Г.В. Копытиной составили настоящий акт о том, что при проведении лабораторных работ по дисциплинам «Теория автоматического управления», «Моделирование динамических систем» и «Интегрированные системы проектирования и управления» используется программно-аппаратная экспериментальная установка. В состав программного обеспечения установки входят:

1. Пакет прикладных программ (ППП) для проверки адекватности математических моделей.
2. ППП для имитационного моделирования работы колонны в режиме реального времени.
3. ППП для визуализации процессов управления в ректификационной колонне.

При разработке ППП использованы математические модели сигналов, математическая модель температурного профиля колонны и алгоритмы управления, разработанные Агринской Светланой Анатольевной при работе над диссертацией на тему: «Разработка и исследование алгоритмов управления температурным профилем ректификационной колонны тарельчатого типа».

Зам. директора по учебной работе, к.т.н. П.В. Шамигулов
Декан теплоэнергетического факультета, к.т.н. М.В. Одоевцева
Заведующий лабораторией ТСА Г.В. Копытина
Соискатель С.А. Агринская

194