

S R P

Science.Research.Practice

AUTOMATED THERMAL PROCESS
CONTROL SYSTEMS



J u n e
2022
Special Issue

NATSRVITIE
Saint Petersburg

The collection includes papers from International Scientific Conference by
HNRI «National development» in Saint Petersburg,
June 2022:

**International Scientific Conference
"Science.Research.Practice"**

Printed and Bound by HNRI «National development» Ltd,
Russia. 2022

© HNRI «National development»

All rights reserved. This work may not be translated or copied in whole or in part without the written permission of the publisher, except for brief excerpts in connection with reviews or scholarly analysis. Use in connection with any form of information storage and retrieval, electronic adaptation, computer software, or by similar or dissimilar methodology now known or hereafter developed is forbidden. The use in this publication of trade names, trademarks, service marks, and similar terms, even if they are not identified as such, is not to be taken as an expression of opinion as to whether or not they are subject to proprietary rights.

**ГУМАНИТАРНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ «НАЦРАЗВИТИЕ»**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
ГНИИ «НАЦРАЗВИТИЕ»**

«НАУКА. ИССЛЕДОВАНИЯ. ПРАКТИКА»

ИЮНЬ 2022

Сборник избранных статей

Рекомендовано к публикации
редакционно-издательским советом
ГНИИ «Нацразвитие»
Протокол № 269 от 10.07.22

Санкт-Петербург
2022

Science.Research.Practice. Automated thermal process control systems: Themed collection of papers from International scientific conference. June 2022. – SPb.: HNRI «National development», 2022. – 36 p. URL: <https://disk.yandex.ru/d/Ff8XR8zU31i2ZQ> (publication date: 25.06.2022)

М 34 Наука. Исследования. Практика. Автоматизированные системы управления тепловыми процессами: сборник избранных статей по материалам Международной научной конференции (Санкт-Петербург, Июнь 2022) – СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2022. – 36 с. URL: <https://disk.yandex.ru/d/Ff8XR8zU31i2ZQ> (дата публикации: 25.06.2022)

DOI 10.37539/SRP2–303.2022.61.33.001

ISBN 978-5-00213-009-2

В сборнике публикуются материалы конференции International Scientific Conference "Science.Research.Practice" (Международная научная конференция "Наука. Исследования. Практика") ГНИИ «Нацразвитие», состоявшейся в июне 2022 года:

В сборник вошли избранные статьи, рекомендованные к публикации редакционно-издательским советом ГНИИ «Нацразвитие».

Издание адресовано научным и педагогическим работникам научных и производственных организаций, учебных заведений.

Научное издание

Сборник издается без редакторских правок.

Ответственность за содержание статей возлагается на авторов.

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«НАУКА. ИССЛЕДОВАНИЯ. ПРАКТИКА»**

ИЮНЬ 2022

Сборник избранных статей

ISBN 978-5-00213-009-2



Выпускающий редактор Ю.Ф. Эльзессер
Ответственный за выпуск Л.А. Павлов
Подписано к изданию с оригинал-макета
20.07.2022. Формат 60x84/8. Гарнитура Times New
Roman. Усл. печ. л. 2. Объем данных- 13 Мб.
Заказ № 42279. Гуманитарный национальный
исследовательский институт «Нацразвитие»
197348, Санкт-Петербург, Коломяжский пр.,
д. 18, лит. А, офис 5-114
info@natsrazvitie.ru

ISBN 978-5-00213-009-2

© ГНИИ «Нацразвитие», 2022

**Международная научная конференция
«НАУКА. ИССЛЕДОВАНИЯ. ПРАКТИКА»**

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ**

Андрюшин А.В., Богомолова А.А.

Некоторые аспекты исследования и повышения надежности
измерительной аппаратуры.....4

Андрюшин А.В., Кочнева Е.П.

Зависимость недогрева воды в подогревателях от нагрузки.....8

Аракелян Э.К., Эликбаев Д.

Создание многоцелевого автономного энергоисточника
на базе двигателя Стирлинга.....11

Гужов С.В., Торон Д.В.

Разработка математического аппарата по оптимизации АСУ
системы теплоснабжения на примере здания высшей школы.....13

Зверьков В.П., Пушкина М.С.

Исследование эффективности динамической настройки методом Миронова В.Д.
каскадной системы регулирования.....16

Косой А.А., Борцов Б.А.

Получение параметров настроек двусвязной АСР.....18

Мезин С.В., Росляков Г.В., Стрелков В.Ю.

Исследование влияния изменения параметров
в нейрегуляторе на качество регулирования.....22

Мезин С.В., Стрелков В.Ю., Росляков Г.В.

Использование адаптивных интеллектуальных систем
в современной энергетике.....25

Мерзликина Е.И., Сыдыков А.

Моделирование АСР нагрузки котла
при сжигании смеси топлив в пакете SimInTech.....27

Мерзликина Е.И., Таранец Е.А.

Моделирование системы регулирования температуры
приточного воздуха в пакете Scilab-Xcos.....30

Ягупова Ю.Ю., Кохова О.К.

Получение показателей надежности энергетического объекта.....32



Андрюшин Александр Васильевич, профессор,
Национальный Исследовательский Университет «НИУ МЭИ», г. Москва
Andryushin Alexander Vasilyevich, National Research University «MPEI», Moscow

Богомолова Арина Александровна,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва
Bogomolova Arina Alexandrovna, National Research University «MPEI», Moscow

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ SOME ASPECTS OF RESEARCH AND IMPROVING THE RELIABILITY OF MEASURING EQUIPMENT

Аннотация: статья посвящена рассмотрению и изучению вопросов надежности измерительной аппаратуры. Важность изучения проблем надежности обусловлена ущербом, который может возникать вследствие недостаточной надежностью систем, широко используемых в различных отраслях промышленности.

Abstract: the article is devoted to the consideration and study of the reliability of measuring equipment. The importance of studying reliability problems is due to the damage that can occur due to insufficient accuracy and reliability of systems widely used in various industries.

Ключевые слова: надежность, ЗИП, измерительная аппаратура.

Keywords: reliability, sets of spare property and accessories (SPTA), measuring equipment.

На данный момент проблема повышения надежности значительно обострилась. Достижение высокого уровня надежности требует проведение сопутствующего диагностирования и прогнозирования технического состояния измерительной аппаратуры. Существуют различные мероприятия по повышению надежности измерительной аппаратуры, а именно: резервирование; уменьшение интенсивности отказов элементов; уменьшение времени восстановления элементов системы; выбор рациональной периодичности и объема контроля, диагностики и обслуживания систем [1].

В современной теории надежности исследовано значительное количество моделей, в которых рассмотрено восстановление работоспособности путем ремонта. Одним из видов ремонта является использование комплектов запасного имущества и принадлежностей, когда восстановление работоспособности сводится к замене отказавшей части на работоспособную запасную часть.

Измерительная аппаратура не исключение, она представляет собой сложную техническую систему, длительная эксплуатация которой невозможна без использования запасных изделий и принадлежностей (ЗИП), необходимых при проведении ремонтов. ЗИП создается, с одной стороны, для обеспечения надежности, поддержания работоспособности (безотказности, готовности), выполнения требований к надежности. С другой стороны, он нужен для обеспечения ремонтпригодности, проведения технического обслуживания в интересах поддержания работоспособности [2].

Далее представлены алгоритм и расчет на надежность программно-технического комплекса локальной системы управления (далее – ПТК) [3-6].

В таблице 1 приведены данные комплектующих изделий из ПТК и их значения наработки на отказ.

Таблица 1

Перечень комплектующих изделий
из ПТК и значения наработки на отказ для них

Наименование	Наработки на отказ, часов	Наименование	Наработки на отказ, часов
Источник питания QUINT-PS/1AC/24DC/5	500000	Модуль вывода дискретных сигналов	279425

Наименование	Наработки на отказ, часов	Наименование	Наработки на отказ, часов
Источник питания QUINT-PS/1AC/24DC/10	500000	Модуль сети Ethernet	334427
Источник питания 24v DC, 20A	500000	Модуль расширения шасси	3070102
Модуль питания 8.0 A, 5.1 V	553717	Шасси на 10 модулей	5788377
Модуль питания, ~120/230V, 11A	262000	Управляемый сетевой коммутатор	489137
Процессорный модуль Quantum	248073	Карта расширения памяти	2845800
Процессорный модуль сети RIO	624358	Промышленный ПК Magelis BOX	800000
Адаптер сети RIO	618191	HDD для ПК Magelis BOX	500000
Модуль ввода аналоговых сигналов	372949	Сенсорный экран iDisplay flat, 19"	126588
Модуль ввода дискретных сигналов	308880	TKS-105c-TOUCH-MODUL-PS/2-US/cyr	1500000

Требования технического задания.

Средняя наработка на отказ каждого канала ПТК:

по информационным функциям – не менее 40000 часов;

по управляющим функциям (в том числе функциям аварийного останова и функциям защиты) – не менее 50000 часов

Необходимо рассчитать систему на надежность и предложить комплект ЗИП, чтобы удовлетворить требования ТЗ:

Структурная схема, обеспечивающая выполнение управляющей функции представляет собой последовательное соединение 2 блоков ШАРМ, 2 блоков ШК, включенных по схеме «горячий резерв» и 21 блока ШРВВ (дискретный, аналоговый, интерфейсный вводы). Структурная схема, обеспечивающая выполнение управляющей функции аналогична, но ШРВВ работает как дискретный вывод.

Алгоритм расчета на надежность программно-технического комплекса локальной системы управления представлен ниже (рисунок 1):

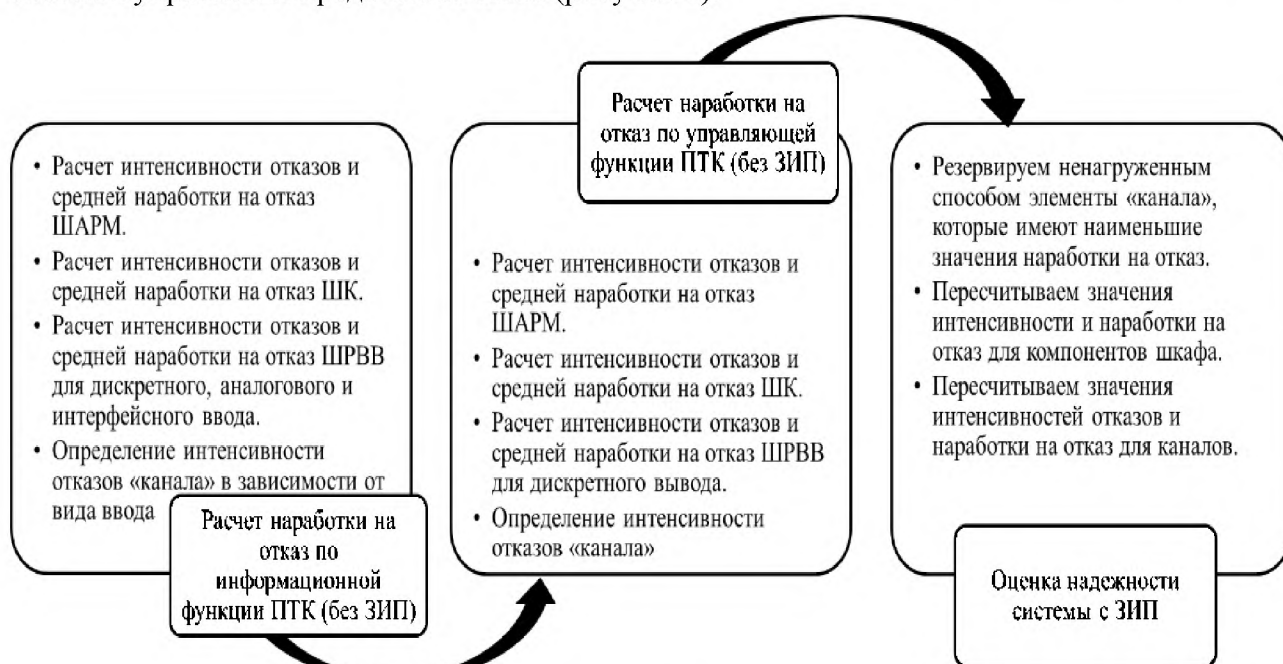


Рисунок 1 – Алгоритм расчета на надежность ПТК

Далее изложена методика расчета:

Интенсивность отказов для канала системы, реализующего информационную функцию, определим по (1) и (2):

$$\lambda_c = \sum \lambda_i \quad (1)$$

Среднюю наработку на отказ по информационной функции для канала системы определим по формуле:

$$t_n = 1/(\lambda_c) \quad (2)$$

Для получения значения интенсивностей отказов для каждого элемента канала системы необходимо рассмотреть отдельно ШРВВ01-01, ШРВВ01-02, ШРВВ01-03, ШРВВ01-04 как изделие, состоящее из m последовательно-соединенных элементов, и ШАРМ01-01, ШАРМ01-02, ШК01-01, ШК01-02 как элементы с резервом. Схемы приведены ниже (рисунок 2-7):

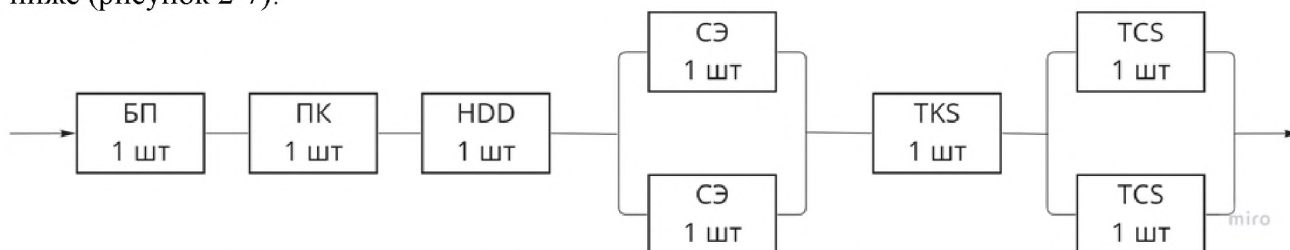


Рисунок 2 – Структурная схема ШАРМ 01-01 (ШАРМ 01-02)

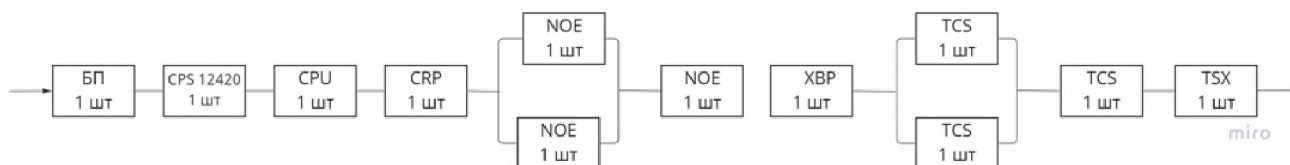


Рисунок 3 – Структурная схема ШК01-01 (ШК01-02)



Рисунок 4 – Структурная схема шкафа ШРВВ01-02 для «канала» дискретного ввода



Рисунок 5 – Структурная схема шкафа ШРВВ01-01 для «канала» аналогового ввода



Рисунок 6 – Структурная схема шкафа ШРВВ для «канала» интерфейсного ввода



Рисунок 7 – Структурная схема шкафа ШРВВ01-02 для «канала» дискретного вывода

Рассчитав интенсивность отказов и среднюю наработку на отказ для каждого элемента, необходимо рассчитать интенсивность отказов и среднюю наработку на отказ «канала» по информационной и управляющей функциям (без ЗИП). Получившиеся значения представлены в таблице 2 (столбец 3).

Можно легко заметить, что требования ТЗ не были соблюдены.

Резервируем ненагруженным способом (с помощью ЗИП) элементы «канала», которые имеют наименьшие значения наработки на отказ. Наименьшие значения наработки на отказ для ШАРМ – сенсорный экран (СЭ), управляемый сетевой коммутатор (ТКС), блок питания шкафа (БП) и жесткий диск ПК (HDD). Пересчитаем значения наработки на отказ и интенсивности, используя выражения (3) и (4):

$$t_{n-1}^{ШАРМ} = \frac{(m+1)}{n} \times t_n \quad (3)$$

$$\lambda_{n-1}^{ШАРМ} = \frac{1}{t_{n-1}^{ШАРМ}} \quad (4)$$

где m- количество резервных элементов в ЗИПе, n- количество основных элементов.

Пересчитаем значения наработки на отказ и интенсивности для элементов, далее пересчитываем значения интенсивностей для «каналов».

Полученные значения занесем в таблицу 2 (столбец 4).

Таблица 2

Сравнение получившихся значений
наработки на отказ с требованием ТЗ

Функция	Тип сигнала	Наработка на отказ без ЗИП, часов	Наработка на отказ с ЗИП, часов	Требование ТЗ
1	2	3	4	5
Информационная	Дискретный ввод	26727	42317	40000
	Аналоговый ввод	25727	41270	
	Интерфейсный ввод	38484	55195	
Управляющая	Дискретный вывод	27641	50030	50000

Как видно из результатов расчета, ПТК обеспечивает заданные в ТЗ показатели времени наработки на отказ по выполнению информационной и управляющей функциям за счет выбора структуры «горячий резерв» для наиболее ответственных шкафов ШК01-01, ШК01-02 и ШАРМ01-01, ШАРМ01-02, а также наличия ЗИП.

Список литературы:

1. А.В.Андрюшин, К.А. Андрюшин, С.Ю. Цыкунова, А.Н. Черняев. Надежность систем управления. Основы расчета надежности систем управления. Учебное пособие. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2017
2. Г.Н.Черкесов. Надежность аппаратно-программных комплексов. Учебное пособие. – Спб.: Питер, 2004. – 480 с.
3. Жаднов В.В., Авдеев Д.К., Тихменев А.Н. Проблемы расчета показателей достаточности и оптимизации запасов в системах ЗИП// Надежность, – 2011. – №3. – С.53-60.
4. Г.Н.Черкесов. Проблема ЗИП и задача формирования нового раздела теории надежности восстанавливаемых систем / Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2011. – 156 с.
5. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. -М.: Советское радио, 1969. – 485с.
6. Головин И.Н., Чуварыгин Б.В., Шура-Бура А.Э. Расчет и оптимизация комплектов запасных элементов радиоэлектронных систем. – М.: Радио и связь, 1984. – 176 с.



Андрюшин Александр Васильевич, профессор,
Национальный Исследовательский Университет «НИУ МЭИ», г. Москва
Andryushin Alexander Vasilyevich, National Research University «MPEI», Moscow

Кочнева Елена Павловна,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва
Kochneva Elena Pavlovna, National Research University «MPEI», Moscow

ЗАВИСИМОСТЬ НЕДОГРЕВА ВОДЫ В ПОДОГРЕВАТЕЛЯХ ОТ НАГРУЗКИ DEPENDENCE OF WATER UNDERHEATING IN HEATERS ON LOAD

Аннотация: статья посвящена рассмотрению влияния недогрева воды в сетевых подогревателях от нагрузки. Важность изучения проблем зависимости недогрева воды в подогревателях обусловлена снижением электрической мощности, что приводит в конечном итоге к повышенному перерасходу топлива.

Abstract: the article deals with the influence of underheating of water in the network heaters on the load. The importance of studying the problems of dependence of underheating of water in the heaters is due to the reduction of electric power, which ultimately leads to increased fuel overconsumption.

Ключевые слова: недогрев, сетевые подогреватели.

Keywords: underheating, network heaters.

На ТЭЦ используются турбины типа Т и ПТ при этом подогрев сетевой воды происходит в сетевых подогревателях. При этом удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении существенно зависит от давления в теплофикационных отборах. В теплофикационных отборах давление определяется недогревом сетевой воды до температуры насыщения отборного пара, расчетное значение обычно 3-5°C. Поддержание заданного расчетного значения недогрева $\mathcal{G}$ в период отопительного сезона могут быть обеспечены при качественном соблюдении норм водного режима теплосети.

В процессе эксплуатации при на латунных трубках сетевых подогревателей происходят отложения солей, приводящие к значительному снижению коэффициента теплопередачи и как следствие к росту недогрева.

Коэффициент теплопередачи в сетевом подогревателе определяется по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (1)$$

а недогрев по формуле:

$$\mathcal{G}_n = t_n - t'' = (t_n - t') \exp\left(-\frac{kF}{G_{c.g} c_g}\right), \quad (2)$$

где α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи от пара к стенке и от стенки к воде; $\delta_{cm}, \lambda_{cm}$ – толщина стенки трубы и коэффициент теплопроводности металла; δ_n, λ_n – толщина и коэффициент теплопроводности слоя накипи; t_n, t', t'' – температуры насыщения греющего пара, сетевой воды на входе и выходе из сетевого подогревателя; F – площадь поверхности нагрева; $G_{c.g}$ – расход сетевой воды; c_g – теплоемкость сетевой воды.

Например, в случае появления слоя накипи с коэффициентом теплопроводности $\lambda_n = 0,838 \div 2,1$ Вт/(м·К) приводит к резкому снижению коэффициента теплопередачи и росту величины недогрева почти в 2 раза.

Вследствие увеличения величины недогрева давление в теплофикационных отборах увеличивается, а удельная выработка электроэнергии уменьшается, что приводит в конечном итоге к повышенному перерасходу топлива, который определяется по формуле:

$$\Delta B = (\varepsilon' - \varepsilon'')(b_{KЭС} - b_{TЭЦ})Q_m, \quad (1)$$

где $\varepsilon', \varepsilon''$ – удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении при различных недогревах; $b_{KЭС}, b_{TЭЦ}$ – удельные расходы топлива на выработку электроэнергии на замещающей КЭС и на ТЭЦ; Q_m – количество отпускаемого из отборов тепла.

Для турбин Т-110-130 увеличение недогрева в сетевых подогревателях при заданной тепловой нагрузке отборов приводит к перераспределению отборов и к уменьшению тепловой нагрузки сетевого подогревателя ПСГ1, увеличению нагрузки ПСГ2 и некоторому росту пропуска пара в конденсатор D_k . Все это приведет к снижению мощности турбины, уменьшению электровыработки и необходимости дополнительной конденсационной выработки электроэнергии на КЭС и связанному с этим перерасходу топлива.

При росте $Q_{ПСГ1}$ и $Q_{ПСГ2}$, происходит перераспределение отборов: увеличивается $P_{отб_1}$ при $P_{отб_2} = \text{const}$; сокращается расход пара через отсек 22-23 с одновременным сокращением теплоперепада и КПД. Также уменьшается нагрузка ПСГ1 и снижается мощность, вырабатываемая в последних ступенях турбины. Выработка электроэнергии на тепловом потреблении паром нижнего отбора также уменьшается.

Подобным же образом влияет на выработку теплофикационной мощности и недогрев в верхнем сетевом подогревателе ПСГ2 – несмотря на некоторое увеличение тепловой нагрузки нижнего сетевого подогревателя ПСГ1 удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении с ростом недогрева $Q_{ПСГ2}$ уменьшается [1-3].

Пример рассчитанной характеристической поверхности двухступенчатого режима работы турбины, определяющий зависимость расхода острого пара от объема генерации, теплового отбора и давления в тепловом отборе $P_{отб}^B$ представлен на графике ниже. Цвет определяется величиной давления в тепловом отборе [4].

Т110 - Двухступенчатый режим

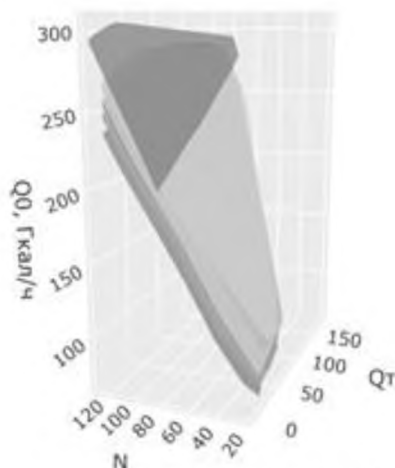


Рисунок 1 – Зависимость расхода острого пара от объема генерации N , величины отпуска тепла Q_T и давления в тепловом отборе $P_{отб}^B$ (выделено цветом)

Таким образом, можно сделать вывод, что на снижение теплофикационной мощности турбины в большей степени влияет отбор на сетевой подогреватель, в котором увеличивается значение недогрева.

Необходимо подчеркнуть, что в обоих случаях доля конденсационной выработки потоком пара в конденсатор увеличивается из-за роста давления в нижнем отборе и пропуска пара в конденсатор.

Приведем расчет мощности турбины с учетом расходов пара на регенеративные подогреватели и ПСГ в среде Python.

Получаем зависимость выработки электроэнергии от величины недогрева в ПСГ.

На рис.2 приводится зависимость мощность турбины Т-110-130 от величины $g_{\text{ПСГ1}} / g_{\text{ПСГ2}}$.

Зависимость мощности от недогрева в ПСГ

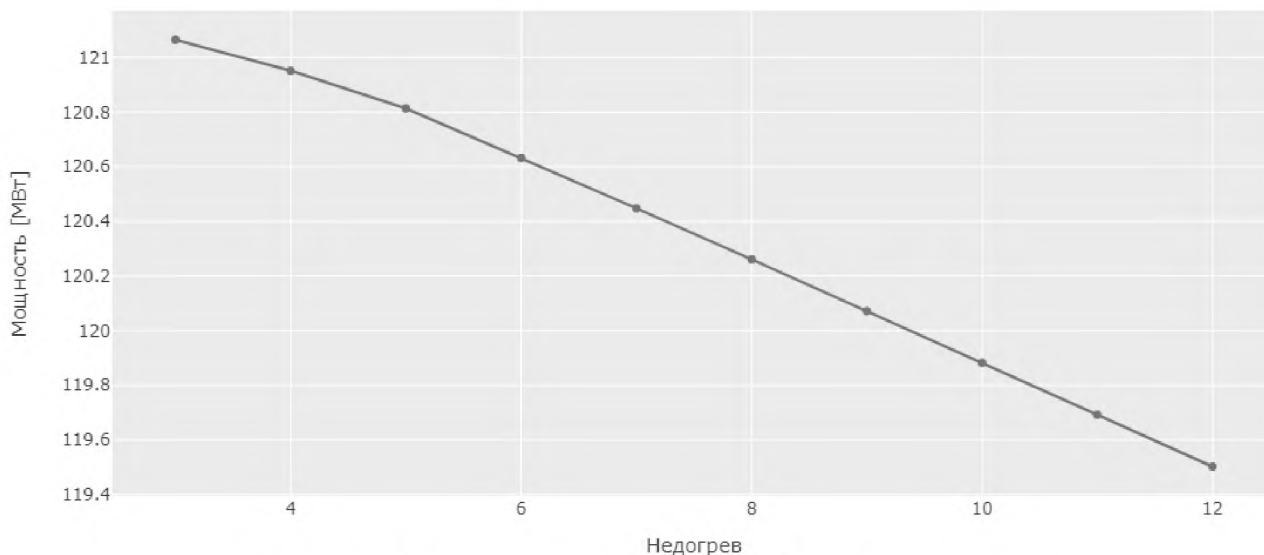


Рисунок 2 – Зависимость мощности турбины от недогрева

В проделанном тепловом расчете при изменении недогрева в ПСГ1 с 3 до 12°C и в ПСГ2 с 5 до 15°C электрическая мощность турбины уменьшается с 121 МВт до 119 МВт. Данное снижение мощности вызвано увеличением затрат необходимой теплоты пара для поддержания заданной прямой сетевой воды. Результатом такого снижения мощности будет являться увеличенный удельный расход топлива в котел, что в конечном счете сказывается на общестанционном КПД энергоблока.

Список литературы:

1. В. Я. Гиршфельд А. М. Князев В. Е. Куликов Режимы работы и эксплуатация ТЭС
2. Е.И. Бененсон, Л.С. Иоффе Теплофикационные паровые турбины
3. А.Г. Костюка, В.В. Фролова Турбины тепловых и атомных электрических станций
4. Неклюдов А.В. Оптимизация режимов работы ТЭС для различных горизонтов планирования: от нескольких часов до нескольких суток



Аракелян Эдик Койрунович, д.т.н., профессор,
Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва
Arakelyan Edik Kojrunovich, National Research University, Moscow

Эликбаев Даниэль, аспирант,
Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва
Elikbayev Daniel, National Research University «MEI», Moscow

СОЗДАНИЕ МНОГОЦЕЛЕВОГО АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОИСТОЧНИКА НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА CREATION OF A MULTI-PURPOSE AUTONOMOUS ENERGY SOURCE BASED ON THE STIRLING ENGINE

Аннотация: статья посвящена описанию многоцелевого автономного энергоисточника на базе двигателя Стирлинга с целью производства электроэнергии, тепла и холода. Дано описание основного оборудования, необходимого для непрерывного энергообеспечения фермерских хозяйств и мелкого промышленного производства в поселениях, отдаленных от централизованных электрических и тепловых источников. обосновано применение различного вида топлива.

Abstract: the article is devoted to the description of the possibility of creating a multipurpose autonomous energy source based on a Stirling engine with the purpose of generating electricity, heat and cold. The description of the main equipment necessary for continuous power supply of farms and small-scale industrial production in settlements remote from centralized electrical and thermal sources is given. the use of various types of fuel is justified.

Ключевые слова: автономный энергоисточник, двигатель Стирлинга, тепло, электроэнергия, холод, оборудование, виды топлива.

Keywords: autonomous power source, Stirling engine, heat, electricity, cold, equipment, fuels.

В современной энергетике остро стоит вопрос об эффективности природных и энергетических ресурсов. Сегодня предлагаются все новые и новые разработки, но на практике идет внедрение только более экономичные, экологически безопасные и перспективные технологии. Это касается, прежде всего, альтернативного двигателестроения и использования альтернативных видов топлива: ветер, солнце, вода и др. Благодаря двигателям всевозможных типов человечество получает энергию, свет, тепло и информацию. Распространенные в настоящее время двигатели внутреннего сгорания имеют ряд недостатков: их работа сопровождается шумом, вибрациями, они выделяют вредные отработавшие газы и потребляют много топлива. Но на сегодняшний день альтернатива им уже существует. Класс двигателей, вред от которых минимален, - двигатели Стирлинга. Они работают по замкнутому циклу, без непрерывных микровзрывов в рабочих цилиндрах, практически без выделения вредных газов с минимально возможным расходом топлива [1-4].

Настоящая статья посвящена возможности создания многоцелевого энергоисточника на базе двигателя Стирлинга для тригенерации – одновременного производства электрической энергии, тепла и холода. Автономный энергоисточник предназначен для непрерывного энергообеспечения фермерских хозяйств и мелкого промышленного производства в поселениях, отдаленных от централизованных электрических и тепловых источников.

В необходимый состав оборудования энергоисточника включается:

- двигатель Стирлинга тип двигателя которого будет определяться потребной мощностью комплексного энергоисточника по требуемым объемам выработки электрической энергии, тепла и холода;

- электрический генератор, потребная мощность которого определяется в от 5,0 до 7,5 кВт.

- встроенная в двигатель Стирлинга система для производства тепла (отопление и горячее водоснабжение, и другие производственные нужды). Потребная мощность системы

зависит от размеров жилого и производственного (на примере теплицы) помещения и от климатической зоны поселения, предварительно оценивается от 0,05 до 0,1 Гкал/ч;

- встроенная в двигатель Стирлинга система для производства холода (холодильник и кондиционер). Потребная тепловая мощность зависит от помещений и климатической зоны поселения, оценивается на уровне 0,05 до 0,1 Гкал/ч;

- встроенная в двигатель Стирлинга варочная и духовая печь для приготовления пищи.

Стоимость оборудования зависит от проектируемой мощности энергоисточника.

Особенностью предлагаемого энергоисточника является встроенная в двигатель Стирлинга универсальная автоматическая топливо подготавливающая установка, предназначенная для одновременного или раздельного сжигания в топочной камере двигателя Стирлинга двух видов топлива:

- первый вид топлива – предварительно измельченная и высушенная горячими дымовыми газами смесь следующих твердых горючих материалов:

 - древесных отходов (корья и щепы) деревообрабатывающего производства;

 - травяных отходов (ботвы, лузги других отходов переработки пищевого и кормового растениеводства); биологических отходов жизни человека и домашних животных (навоза); скапливаемых в результате в жилых помещениях и в производственных помещениях твердых бытовых отходов и других горючих материалов.

Вторым видом топлива является распространенное в аграрном секторе дизельное топливо – солярка или жидкое печное топливо. Необходимость в жидком топливе обусловлена технологичностью круглосуточной эксплуатации автономной энергоустановки в отсутствие человека..

Второй особенностью является интеллектуальный программно-технический комплекс (ПТК), включающий следующие функциональные системы: систему звуковой и световой сигнализации об отклонениях регулируемых параметров от заданных значений; систему логического выбора оптимальных темпов сжигания твердого и жидкого топлива (с отслеживанием и сигнализацией о их запасах); гибридную систему переключения регулирования нагрузки автономной энергоустановки по расходу жидкого или твердого топлива. Экономическая необходимость такого переключения вызвана, тем, что цена на твердое топливо сильно отличается от цены на жидкое, при этом целесообразно отходы сжигать в первую очередь, но твердое топливо имеет неизвестную и непостоянную теплоту сгорания и его расход грубо управляем. Поэтому для обеспечения требуемого качества регулирования нагрузки автономной энергоустановки приходится управление нагрузкой переключать на расход дорогого жидкого топлива, для чего в ПТК должна быть программа для экономически оправданных автоматических переключения режимов регулирования; систему выбора и установки на входе в топочную камеру такого расхода воздуха, при котором двигатель Стирлинга, для выработки заданного количества суммарной энергии будет потреблять суммарное минимальное количество топлива.

Для обеспечения качества регулирования нагрузки энергоустановки в ПТК будут использованы современные алгоритмы нейросетевых адаптивных регуляторов. Это необходимо, для обеспечения ее устойчивой работы на разных видах топлива.

Предлагаемый комплекс оборудования энергоустановки на базе двигателя Стирлинга должен эксплуатироваться в отсутствие человека-оператора. Информацию оператор-хозяин должен получать на выносном дисплее, установленном в удобном для оперативного доступа месте (в жилом помещении). Для управления работой оборудования дисплей в ПТК предусматривается сенсорную панель, с помощью которой оператор может увидеть значения тепловых и электрических параметров энергоустановки и вносить требуемые исходные данные в работу алгоритма. Электронное оборудование ПТК должно быть размещено в шкафу, содержащем все силовые и сигнальные линии. Там же в шкафу должен находиться автомобильный аккумулятор. Аккумулятор должен быть всегда заряжен, постоянно находиться в режиме подзарядки (как в автомобиле). Нагрузкой аккумулятора будут двигатели и блоки частотного управления ими вентилятора воздуха и шнека подачи твердого топлива. Кроме того, аккумулятор должен обеспечивать работу всех систем управления, сигнализации и защиты оборудования даже в нерабочих режимах.

Список литературы:

1. Двигатели Стирлинга / [В.Н. Даниличев, С.И. Ефимов, В.А. Звонок и др.]; под ред. М.Г. Круглова. – М.: «Машиностроение», 1977.
2. Романов, В.А. Совершенствование тепловых генераторов транспортной техники / В.А. Романов // Материалы между народной науч.-техн. конф. «Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин» Тюмень: ТГНУ, 2009. – С. 233-234.
3. Столяров, С.П. Двигатели Стирлинга: Проблемы XXI века. Инженерные проблемы маркетинга / С.П. Столяров // Двигателестроение, – 2002. – № 1.
4. Сеначин, П.К. Термодинамическая модель процессов, протекающих во внутреннем контуре двигателя Стирлинга / П.К. Сеначин, В.С. Кукис, А.И. Рыбалко // Ползуновский вестник № 4. Т. 2. – 2010.

УДК 62-533.65

Гужов Сергей Вадимович, к.т.н., доцент,
Московский энергетический институт, г. Москва
Guzhov Sergey Vadimovich, Moscow Power Engineering Institute, Moscow

Тороп Дарья Владимировна, НИУ МЭИ, г. Москва
Torop Darya Vladimirovna, Moscow Power Engineering Institute, Moscow

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ПО ОПТИМИЗАЦИИ АСУ
СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЗДАНИЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ
ELABORATION OF A MATHEMATICAL APPARATUS FOR OPTIMIZING THE
AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF A HEAT SUPPLY SYSTEM
ON THE EXAMPLE OF A BUILDING OF A HIGHER SCHOOL**

Аннотация: целью настоящей работы является оптимизация функционирования АСУ системы теплоснабжения. Настройке подвергается связь расхода уходящих газов на входе в котел-утилизатор и температуры теплоносителя в дальней точке потребителя.

Abstract: the purpose of this work is to optimize the functioning of the automated control system of the heat supply system. The connection between the flow rate of flue gases at the inlet to the waste heat boiler and the temperature of the heat carrier at the far point of the consumer is subject to adjustment.

Ключевые слова: оптимизация АСУ, система теплоснабжения, автоматизированные системы управления, математический аппарат.

Keywords: ACS optimization, heat supply system, automated control systems, mathematical apparatus.

В рамках поставленной цели было последовательно решено задач:

1. Разработка математического аппарата;
2. Выбор объекта и его параметров;
3. Определение наиболее целесообразного с точки зрения точности регулирования места расположения измерительного прибора.

При расчете использованы уравнения теплового баланса для котла-утилизатора парогазовой установки [1] и принципы обеспечения заданных параметров теплоснабжения потребителя [2], в основе которых лежат уравнения тепломассообмена и санитарные нормы по теплоснабжению жилых и общественных зданий [3].

В описываемую систему входит: ПГУ (парогазовая установка), ЦТП (центральный тепловой пункт), ИТП (индивидуальный тепловой пункт), потребитель и система теплопередающих трубопроводов (рис. 1).

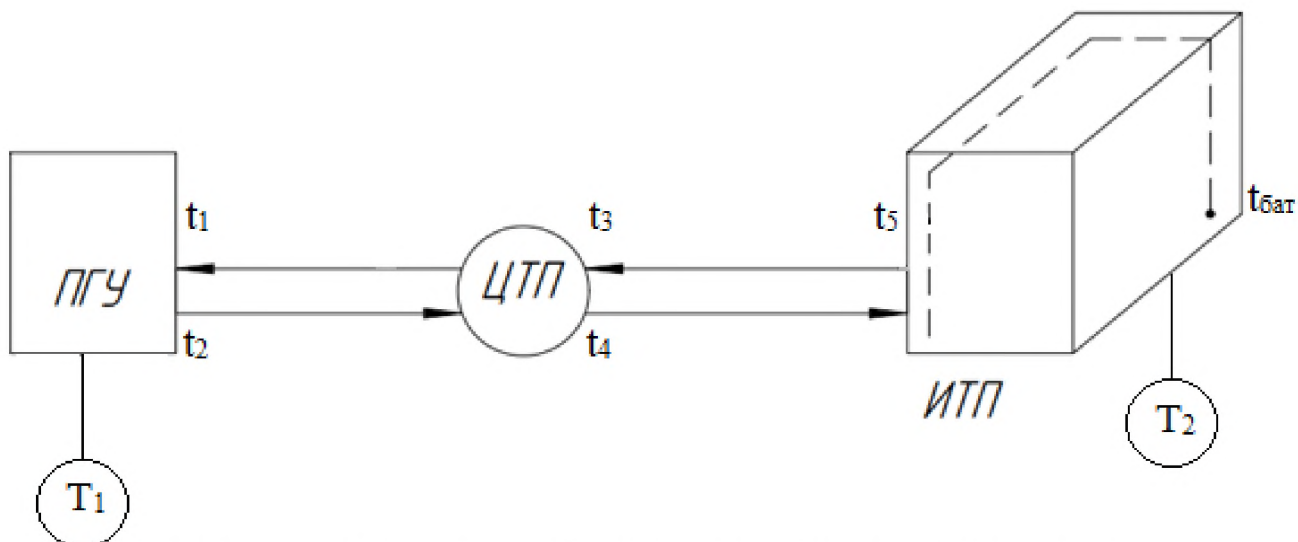


Рисунок 1 – Принципиальная схема системы теплоснабжения здания
 t_1 -температура прямой сетевой воды отпускаемая в сеть теплоснабжения,
 t_2 -температура обратной сетевой воды на возврате из сети теплоснабжения,
 t_3 -температура теплоносителя после ЦТП, t_4 -температура теплоносителя возвращаемого
в ЦТП после потребителя, t_5 -температура подаваемого теплоносителя после ИТП,
 $t_{\text{Бат}}$ -температура теплоносителя в дальней точке потребителя, T_1 -датчик температуры №1,
установленный на выходе из ПГУ, T_2 -датчик температуры №2,
установленный по месту потребления.

От станции до ЦТП и от ЦТП до ИТП (находящимся непосредственно в здании) трубопровод пролегает в полупроходном подземном канале с параметрами $\text{Ш} \times \text{В} = 1,3 \times 1,4$ м, первая часть канала от ПГУ до ЦТП длиной $L_1 = 1000$ м и вторая часть канала от ЦТП по ИТП длиной $L_2 = 350$ м. После ИТП, трубопровод пролегает в условиях комнатной температуры ($t_{\text{вп}} = 22^\circ\text{C}$) на протяжении $L_3 = 250$ м. Трубопровод до ИТП утеплен стекловатой, принят коэффициент, учитывающий изолированные участки трубопровода $\beta = 0,2$. Параметры утеплителя: $\lambda = 0,26$ Вт/м, толщина $\delta = 70$ мм, внутренний диаметр $d = 400$ мм. После ИТП труба ($\beta = 0,2$) изолирована пенополиуретаном с характеристиками: $\lambda = 0,24$ Вт/м, $\delta = 5,4$ мм, $d = 21,2$ мм. В системе температура и теплопроводность грунта, сухого изглинка, приняты постоянными и равными $t_{\text{гр}} = 2^\circ\text{C}$ и $\lambda_{\text{гр}} = 2,2$ Вт/м $^\circ\text{C}$. Гидравлическое сопротивление трубопровода, геометрия и технические погрешности, возникающие в результате эксплуатации (течи, коррозию или осадок на стенках) не учитываются. Принято: поток в трубе равномерен и постоянен, температура внутри здания – неизменна. Скорость теплоносителя на входе в систему составляет 0,4 м/с, температура $t_1 = 90^\circ\text{C}$. Расход теплоносителя $G = 47,725 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$. Расход принимается постоянным на всем протяжении всей системы отопления. Температура воды обратного трубопроводе на выходе из системы отопления $t_2 = 75^\circ\text{C}$. Теплотери в трубопроводе не зависят от температуры окружающей среды и постоянны во времени.

В качестве измерительного прибора взят термоэлектрический преобразователь типа НСХ: 100Pt ДТС024-РТ100.В3.30/0,2 [4] с пределом допускаемой погрешности $\pm(0,30 + 0,005 \cdot (t))^\circ\text{C}$.

На основании расчетов по приведенным выше данным разработана математическая модель, учитывающая зависимость расхода газов от температуры в помещении потребителя с учетом погрешностей средств измерений:

$$G_{\text{кт}} = \frac{(t_{\text{бат}} \cdot k) \cdot G_{\text{св}} \cdot c_p}{(h_{\text{кт}} - h_{\text{ух}}) \cdot \varphi}, \quad (1)$$

где: k – коэффициент потерь температуры на протяжении системы отопления, от источника до потребителя $= 0,2$

На основании полученного математического аппарата строим график (рис.2) зависимости расхода уходящих газов G_{KT} от температуры теплоносителя в батарее $t_{бат}$ в конце теплопровода с учётом погрешности измерительного прибора №1 и измерительного прибора №2.

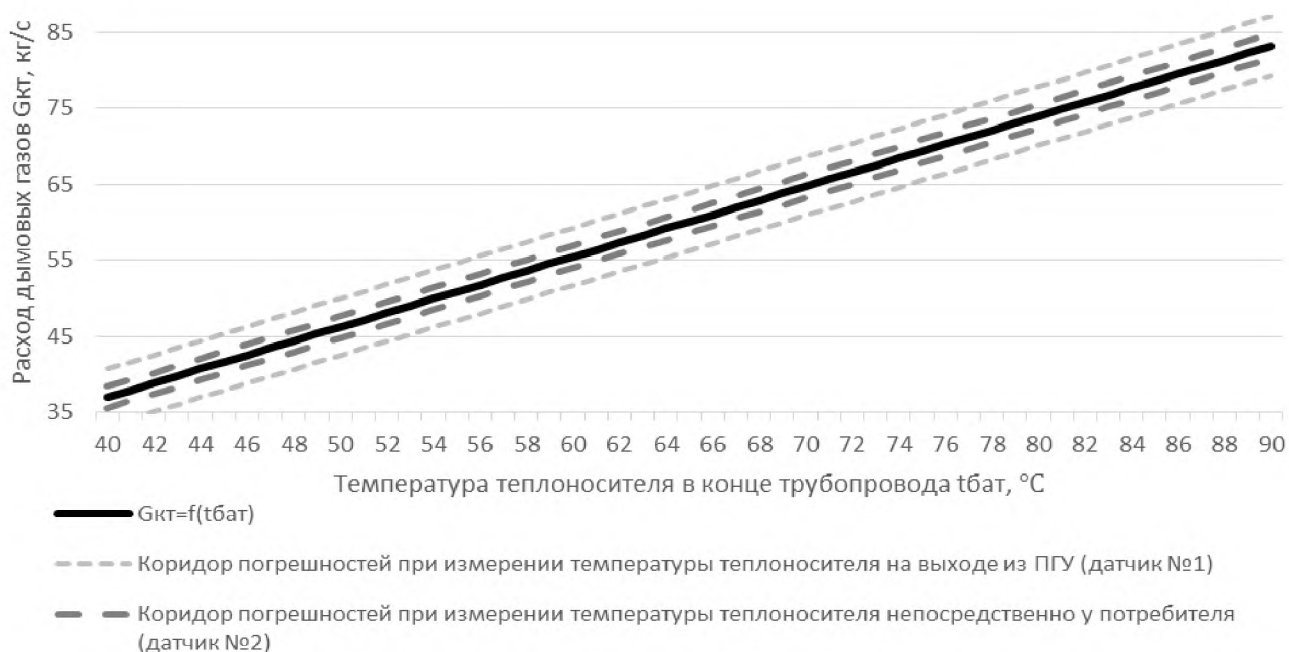


Рисунок 2 – Зависимость расхода уходящих газов от температуры теплоносителя в конце теплопровода

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что коридор погрешностей полученный с прибора №2, установленного непосредственно у потребителя, находится ближе к теоретической величине расхода дымовых газов, чем коридор погрешностей полученный с прибора №1, установленного около источника теплоэнергии, чем ближе к наиболее удалённой от теплоисточника точке потребления находится прибор, тем точнее можно регулировать расход дымовых газов. Оптимизация АСУ системы теплоснабжения на примере здания высшей школы показывает возможность повышения точности регулирования АСУ системой отопления, в случае дополнительной установки сужение коридора погрешностей происходит в 2.5 раза. Наиболее целесообразное с точки зрения точности регулирования место расположения измерительного прибора – самая удаленная от источника теплоты точка потребителя, технически пригодная для расположения датчика. Необходимо максимально приблизить датчик к конечной точке потребления, например, использовать данные датчика температуры на входе в ИТП.

Список литературы:

1. Методика расчета тепловых схем газотурбинных и парогазовых электростанций / С.В. Цанев, В.Д. Буров, М.А. Соколова, В.Е. Торжков. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 48 с.
2. Поливода, Ф.А. Надежность систем теплоснабжения городов и предприятий легкой промышленности [Текст]/Ф.А. Поливода – М.: ИНФРА-М, 2017. – 170 с.
3. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование [Текст]. – Взамен СНиП 2.04.05-91; Введ. с 01.01.2004 – М.: Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России), 2004. – 54 с.
4. Коммерческий сайт компании ООО «ПО Овен», каталог продукции, описание датчика термосопротивления типа ДТСхх4 и его модификаций (включая ДТС024-РТ100.В3.30/0,2), дата обращения: 15 июня 2022 года https://owen.ru/product/dtshh4_termosoprotivleniya_s_kabel_nim_vivodom/klass_dopuska_izmereniya

Зверьков Владимир Петрович,
канд. техн. наук, доцент, каф. Автоматизированных
систем управления тепловыми процессами, НИУ МЭИ, г. Москва
Vladimir Petrovich Zverkov, National Research University «MPEI», Moscow

Пушкина Мария Сергеевна, каф. Автоматизированных
систем управления тепловыми процессами, НИУ МЭИ, г. Москва
Pushkina Maria Sergeevna, National Research University «MPEI», Moscow

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ДИНАМИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ МЕТОДОМ МИРОНОВА В.Д.
КАСКАДНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ
RESEARCH OF THE EFFECTIVENESS
OF TUNING DYNAMIC BY THE METHOD
OF MIRONOV V.D. CASCADE CONTROL SYSTEM**

Аннотация: рассматривается эффективность динамической настройки двухконтурной системы регулирования методом «компенсации сигнала», по виду переходной характеристики суммарного сигнала на входе регулятора. Эффективность определялась сравнением с настройкой, использующей частотный метод определения оптимальных значений регулятора и дифференциатора. Показана эффективность применения и приведены условия, позволяющие исключить из замкнутого контура системы свойства инерционной части объекта.

Abstract: the efficiency of dynamic tuning of a dual-circuit system by the method of "signal compensation" by the type of transient characteristic of the total signal at the input of the regulator is considered. Efficiency was determined by comparison with a tuning using the frequency method for determining the optimal values of the regulator and differentiator. The efficiency of application is shown and the conditions that allow to exclude the properties of the inertial part of the object from the closed circuit of the system are given.

Ключевые слова: объект управления, регулятор, дифференциатор, динамическая настройка, двухконтурная система регулирования, оптимальные значения.

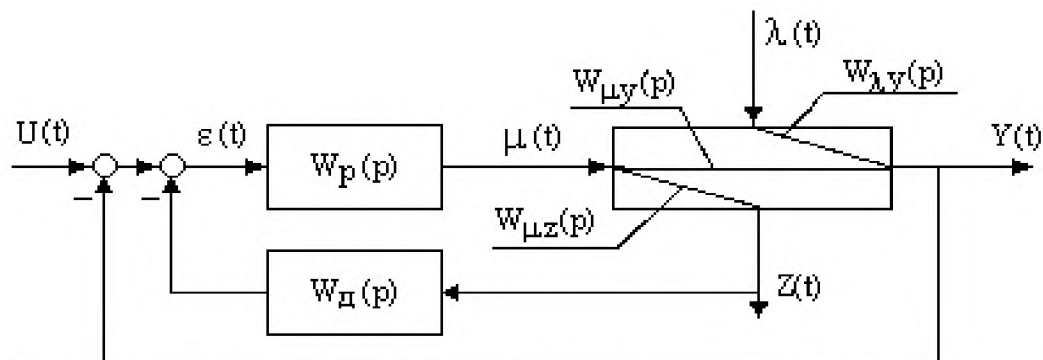
Keywords: control object, regulator, differentiator, dynamic tuning, dual-circuit control system, optimal values.

Введение. С целью улучшения качества процессов регулирования для объектов, обладающих значительной инерционностью, используются двухконтурные системы регулирования с введением вспомогательного сигнала, существенно меньшего по инерционности по сравнению с основным сигналом [1, 2]. К таким системам относится система автоматического регулирования температуры перегретого пара на выходе из котла.

Автоматическая система регулирования. На рисунке приведена расчетная структурная схема двухконтурной автоматической системы регулирования с регулятором и дифференциатором.

В докладе приведены **динамические характеристики** объекта управления: переходные характеристики и передаточные функции объекта по вспомогательной и основной регулируемым величинам, а также передаточные функции регулятора и дифференциатора.

Критерий оптимальности. АСР настраивалась на минимум показателя качества (меры ошибки) при ступенчатом возмущении по каналу регулирующего органа. В качестве меры ошибки принят интеграл по модулю отклонения регулируемой переменной $y_{\text{тпк}}(t)$ на интервале времени переходного процесса.



Структурная схема двухконтурной АСР с регулятором и дифференциатором.

$y(t)$, $z(t)$ – основная и вспомогательная регулируемые величины;

$\lambda(t)$ – внешнее неконтролируемое возмущение;

$u(t)$, $\mu(t)$ – задающее и регулирующее воздействия;

$W_{\lambda y}(p)$, – передаточная функция объекта по каналу возмущающего воздействия;

$W_{\mu z}(p)$, $W_{\mu y}(p)$ – передаточные функции объекта по вспомогательной и основной регулируемым величинам;

$W_p(p)$, $W_d(p)$ – передаточные функции регулятора и дифференциатора.

Методика исследования. Для настройки рассматриваемой двухконтурной АСР определялись параметры системы в линейном представлении. Исследование проводилось в четыре этапа:

1 этап. Расчет значений параметров настройки дифференциатора.

Параметры настройки дифференциатора $[K_{д0}; T_{д0}]$ определяются по методу “компенсированной настройки” [3], которое сводится к условию получения наиболее благоприятного вида переходной характеристики суммарного сигнала на входе регулятора, т.е. чтобы при ступенчатом изменении сигнала $\mu(t)$ в разомкнутой системе суммарный сигнал $e(t) = u_d(t) + y(t)$ на входе регулятора $W_p(s)$ имел наибольшее быстродействие и монотонный (апериодический) вид переходного процесса.

2 этап. Расчет значений параметров регулятора по эквивалентному объекту с найденными значениями параметров дифференциатора.

3 этап. Расчет значений параметров настройки регулятора и дифференциатора двухконтурной автоматической системы регулирования частотным методом.

4 этап. Определение показателей эффективности и сравнение качества функционирования систем регулирования с настройками, полученными различными методами.

Результаты исследования. Эффективность динамической настройки двухконтурной системы регулирования определялась расчетом показателей эффективности и сравнением качества функционирования систем регулирования с настройками регулятора и дифференциатора, полученными различными методами. Показана эффективность применения динамической настройки методом Миронова В.Д. каскадной системы регулирования и приведены условия, позволяющие исключить из замкнутого контура системы свойства инерционной части объекта.

Список литературы:

1. Стефани Е.П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. – М.: Энергия, 1972. – 376с.
2. Ротач В.Я. Теория автоматического управления / Учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 396с.
3. Миронов В.Д. Регулирование с опережающим импульсом / Известия ВТИ. – 1948. №8.
4. Зверьков В.П., Кузищин В.Ф., Петrochenko Ю.Н. Моделирование систем управления технологическими процессами в среде MATLAB/SIMULINK. Сложные системы. / Лабораторный практикум // М.: Издательство МЭИ, 2022. – 98 с.

Косой Анатолий Александрович, старший преподаватель,
Национальный Исследовательский Университет «НИУ МЭИ», г. Москва
Kosoy Anatoliy Alexandrovich, National Research University «MPEI», Moscow

Борцов Борис Александрович,
Национальный Исследовательский Университет «НИУ МЭИ», г. Москва
Bortsov Boris Alexandrovich, National Research University «MPEI», Moscow

ПОЛУЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЕК ДВУСВЯЗНОЙ АСР OBTAINING DOUBLY CONNECTED SYSTEM PARAMETERS

Аннотация: важной особенностью развития техники является внедрение методов и средств автоматизации. Современные системы настолько сложноустроенные, что два регулируемых параметра могут зависеть друг от друга, и в то же время влиять друг на друга. В данной работе рассмотрен вариант определения параметров такой системы.

Abstract: an important feature of the development of technology is the introduction of methods and means of automation. Modern systems are so complex that two adjustable parameters can depend on each other, and at the same time influence each other. In this paper, we consider a variant of determining the parameters of such a system.

Ключевые слова: многосвязная система, двусвязная система, запас устойчивости, ПИ-регулятор, параметры настроек.

Keywords: multiply connected system, doubly connected system, stability margin, PI controller, settings parameters.

1. Введение

Многомерная (многосвязная) система – это система, имеющая несколько управляемых величин, а также несколько задающих и возмущающих воздействия.

Многомерным объектом называется объект, в котором имеются перекрестные связи от управляющих воздействий на управляемые величины [1].

Сложность такой системы заключается в том, что при расчёте регуляторов на устойчивость необходимо учитывать взаимное влияние каждого из них друг на друга. То есть выходной сигнал первого регулятора, через отрицательную обратную связь попадает, на вход второго регулятора. Аналогично второй регулятор влияет на первый. В итоге, на момент расчёта параметров первого регулятора необходимо знать параметры второго регулятора, которые неизвестны, причём, для их расчёта необходимо знать параметры первого регулятора [2]. Получается замкнутый цикл, который не позволяет рассчитать систему на устойчивость «напрямую» и заставляет производить расчёт итерационным способом. То есть определить «начальные» параметры одного любого регулятора, и вычислить по ним параметры оставшегося. Далее необходимо поочередно уточнять каждый регулятор, из-за того, что, как сказано выше, изменение настроек одного регулятора меняют систему для другого.

Помимо этого, необходимо учитывать, что из-за поперечных связей в объекте, в системе образуется множество замкнутых контуров. При этом, один из контуров (Рис. 2), что наиболее важно, имеет образует положительную обратную связи, из-за того, что сам образован двумя отрицательными. В результате система сама задаёт строгие требования к точности вычисления параметров [3].

2. Общее положение

Рассматривается двусвязная АСР с поперечными связями в объекте. Для автоматизации такого объекта будет использоваться алгоритм с двумя ПИ-регуляторами с отрицательными обратными связями у каждого [4].

В качестве исходных данных принять следующие передаточные функции:

$$W_{11}(s) = \frac{0.85e^{-1.5s}}{0.488s^2 + 1.27s + 1}$$

$$W_{22}(s) = \frac{0.75e^{-0.3s}}{0.058s^2 + 0.6s + 1}$$

$$W_{12}(s) = \frac{0.45e^{-0.3s}}{0.15s^2 + 0.14s + 1}$$

$$W_{21}(s) = \frac{0.5e^{-0.5s}}{0.23s^2 + 0.15s + 1}$$

3. Расчет параметров настроек

Первым этапом необходимо определить начальные параметры регуляторов для последующей итерации. Для этого рассмотрим данную систему без учёта поперечных связей объекта. На данном этапе расчёт сводится к определению параметров двух ПИ-регуляторов в ветках, состоящих только из регулятора, объекта и отрицательной обратной связи.

Каждый из регуляторов рассчитаем на устойчивость с ограничением на $M=1.55$. Для определения параметров воспользуемся вспомогательной функцией и m -окружностью.

Расчёт параметров настройки первого ПИ-регулятора:

С помощью вспомогательной функции определим резонансную частоту:

Находим резонансную частоту:

$$\omega_{\text{рез}}=2.4918$$

Значение коэффициента пропорциональности будет равно значению функции на резонансной частоте:

$$k_{i2}=2.745,$$

Рассчитаем коэффициент пропорциональности П-звена:

$$k_{p2}=1.25;$$

Постоянная времени И-звена:

$$T_{i2}=0.455;$$

Параметры настроек ПИ-регуляторов для начала итерации найдены, но перед этим необходимо проверить полученные настройки для заданного двусвязного объекта, так как есть вероятность, что перекрестные связи в объекте влияют на систему настолько незначительно, что полученные регуляторы будут удовлетворять нашим требованиям, несмотря на то что они были рассчитаны без учёта многосвязности.

Для этого необходимо определить обобщённые передаточные функции объектов для каждого из ПИ-регуляторов. Важно учитывать, что, несмотря на то что мы ищем передаточную функцию объекта, в неё будет входить передаточная функция регулятора, так как для расчёта мы считаем, что для одного регулятора, объект – это всё, кроме этого регулятора. Соответственно обобщённый объект для первого ПИ-регулятора – это объект и второй ПИ-регулятор.

Далее проверим частотную развязку двух регуляторов. Необходимо, чтобы резонансные частоты различались минимум в два раза. Это надо для того, чтобы процессы регулирования не накладывались друг на друга, иначе из-за связности процесс регулирования будет проходить некорректно. То есть, необходимо, чтобы процесс регулятора второго ПИ начинался тогда, когда процесс первого уже завершился.

Частотная развязка не удовлетворяет нас ни по одному из требований. Явно выраженные пики совпадают по частоте, при этом находятся выше линии M , то есть система не имеет заданного нами запаса устойчивости.

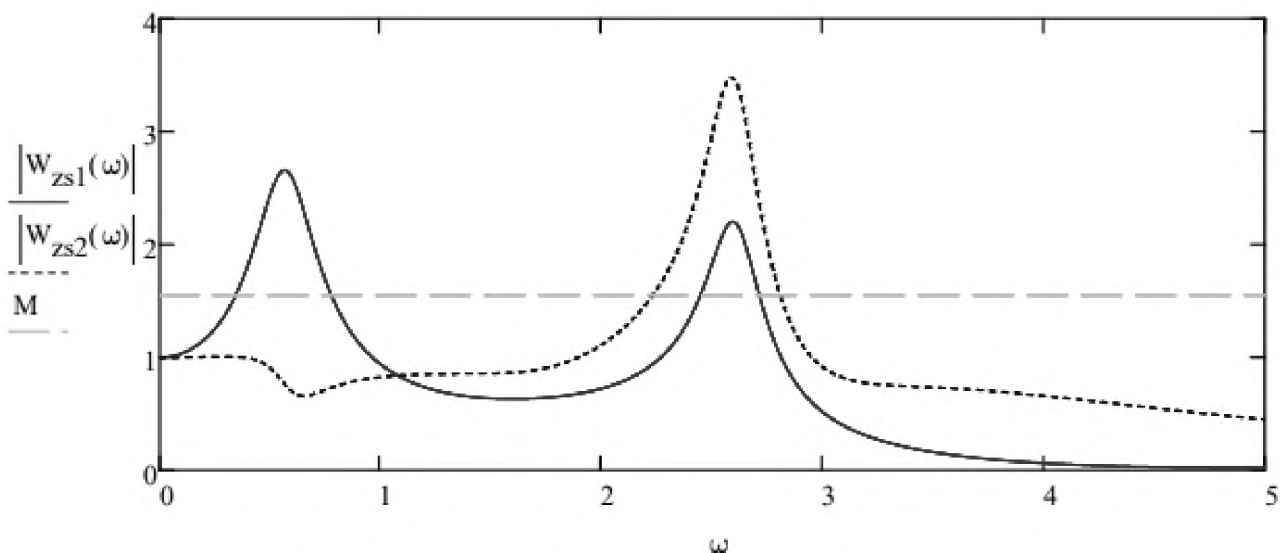


Рисунок 1 – Частотная развязка с отображением М

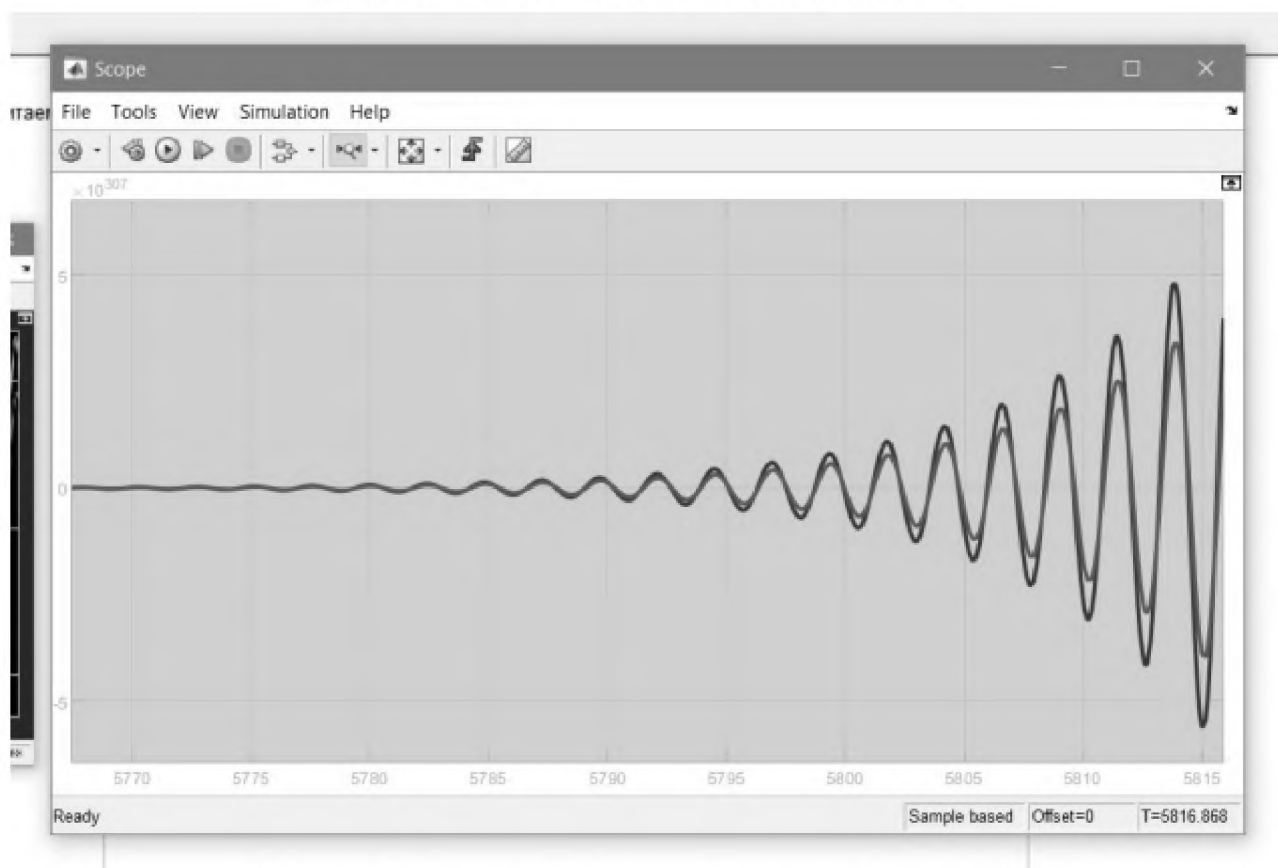


Рисунок 2 – Реакция системы на ступенчато возмущение

Для проверки определим переходную характеристику. Подадим на входы регуляторов ступенчатое возмущение (Рис.2). В результате, мы видим, что система ни то, что не имеет запаса устойчивости, она вовсе не устойчива.

В таком случае начинаем процесс итерации. В нашем расчёте он заключается в том, что начальные параметры рассчитаны без учёта перекрестных связей, что не соответствует модели системы. Поэтому для того, чтобы получить действительные параметры, необходим пересчёт с учётом обобщенного объекта, в который входит второй регулятор. Важно обратить внимание, что после пересчёта, для примера, первого регулятора, с учётом второго, параметры самого второго регулятора тоже изменятся и потребуют уточнения. В итоге необходимо поочередно итерировать параметры до тех пор, пока после уточнения параметры изменяются незначительно, либо до достижения достаточной точности. Результаты итерирования приведены ниже (Таблица.1)

Результаты итерирования

	Итерация №2	Итерация №3	Итерация №4
$k_{p1}; k_{p2}$	0.718; 0.842	0.763; 0.085	0.782; 0.085
$T_{i1}; T_{i2}$	1.235; 0.105	1.238; 0.105	1.245; 0.105

Четвёртая итерация практически не внесла изменений в значения параметров системы, поэтому, можно сказать, что расчёт параметров настройки произведен с учётом многосвязности системы и итерация может быть завершена. То есть расчёт закончен, рассмотрим полученные результаты:

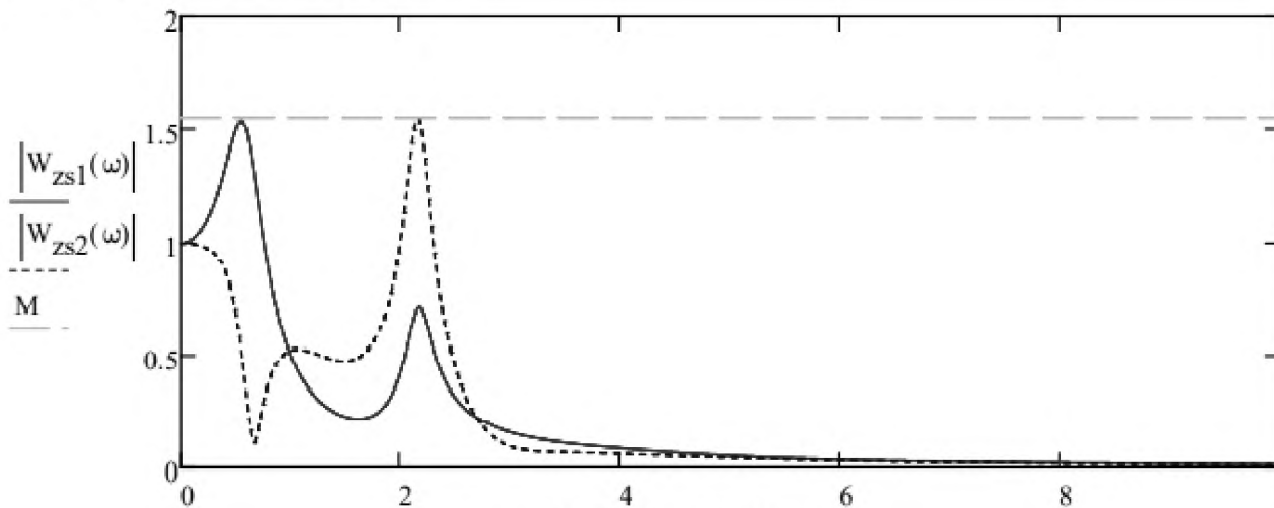


Рисунок 3 – Частотная развязка

Результат, получившийся, при подаче на вход регулятора ступенчатого возмущения:

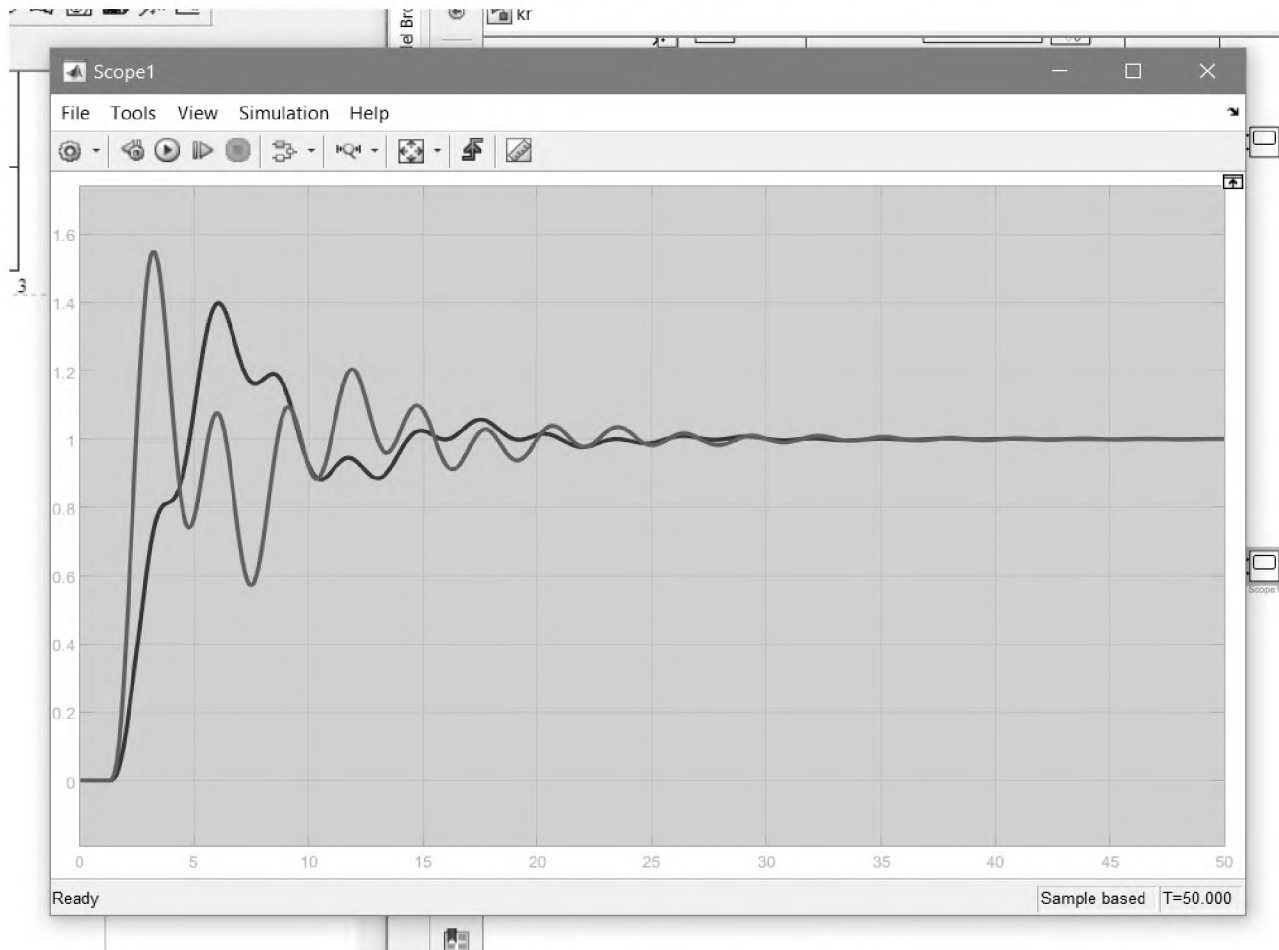


Рисунок 4 – Переходная характеристика

4. Вывод

Главная сложность многосвязной системы, именно связь обоих регуляторов между собой, что заставляет нас при оценке качества работы АСР рассматривать не только быстродействие и отклонения системы, но и безопасность. Заданный объект образует в системе замкнутый контур, охваченный положительной обратной связью, из-за которого помехи и возмущения влияют на устойчивость гораздо сильнее. Именно поэтому при определении параметров настроек АСР с многосвязным объектом наиболее важным показателем является частотная развязка. Необходимо чтобы один регулятор начал процесс гораздо позже, того, как второй пройдет первый максимум, что мы и получили в результате расчёта.

Список литературы:

1. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. Ротач В.Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. – М.: Энергия, 1973.
3. Липов Ю.М, Третьяков Ю.М., Котельные установки и парогенераторы. – М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003.
4. Плетнев Г.П. Автоматизированные системы управления объектами тепловых электростанций. – М.: Издательский дом МЭИ, 1995.

УДК 65.011.56

Мезин Сергей Витальевич, к.т.н., доцент,
Московский энергетический институт, г. Москва
Mezin Sergey Vitalievich, Moscow Power Engineering Institute, Moscow

Росляков Георгий Владимирович, Стрелков Владислав Юрьевич,
магистрант, Московский энергетический институт, г. Москва
Roslyakov Georgy Vladimirovich, Strelkov Vladislav Yurievich,
Moscow Power Engineering Institute, Moscow

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ В НЕЙРОГУЛЯТОРЕ НА КАЧЕСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ STUDY OF THE INFLUENCE OF CHANGING PARAMETERS IN THE NEUROREGULATOR ON THE QUALITY OF REGULATION

Аннотация: все больше требований предъявляется автоматическим системам регулирования и все больше появляется идей о регулировании с помощью интеллектуальных алгоритмов. У таких алгоритмов, а именно, у искусственных нейронных сетей есть положительная отличительная черта: они могут изменять свое состояние в ответ на внешнее воздействие. Но качество регулирования данных алгоритмов напрямую зависит от их параметров.

Abstract: more and more requirements are imposed on automatic control systems and more and more ideas about regulation using intelligent algorithms appear. Such algorithms, namely artificial neural networks, have a positive distinguishing feature: they can change their state in response to external influences. But the quality of regulation of these algorithms directly depends on their parameters.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, нейрорегулятор, искусственная нейронная сеть, автоматическая система регулирования.

Key words: intelligent systems, neuroregulator, artificial neural network, automatic control system.

В век цифровой трансформации производства идет активное становление новых направлений в автоматизации систем управления. Качество регулирования является одним из самых важных параметров регулирования [1]. Для этого используют нестандартные алгоритмы регулирования, такие как алгоритмы на основе нейронных сетей.

Искусственные нейронные сети (ИНС) – это математическая модель, созданная по принципу функционирования биологических нейронных сетей, а именно сетей нервных клеток живого организма. Простым примером этого служит человеческий мозг. ИНС представляет собой систему соединенных и взаимодействующих между собой простых процессоров (нейронов). Нейроны обычно просты. При создании такой системы нужно рассчитать коэффициенты (веса) каждого нейрона системы, а также каждой связи между нейронами [2].

Изменяя параметры нейронной сети, можно улучшать качество регулирования. При этом, в области нейрорегулирования нет общей методики разработки алгоритма управления. Для разработки такой методики необходимо изучить различные структуры искусственной нейронной сети. Изменение структуры достигается изменением количества нейронов в скрытом слое, изменением количества скрытых слоев, добавлением обратных связей на различные нейроны [3, 4, 5]. В качестве объекта выбрано два апериодических звена и звено запаздывания. Функция активации подобрана эмпирическим путем и выбрана логарифмическим сигмоидом [6]. График данной функции представлен на рисунке 1.

$$\varphi(b) := \ln(b + \sqrt{b^2 + 1})$$

input := -10, -9.9..10

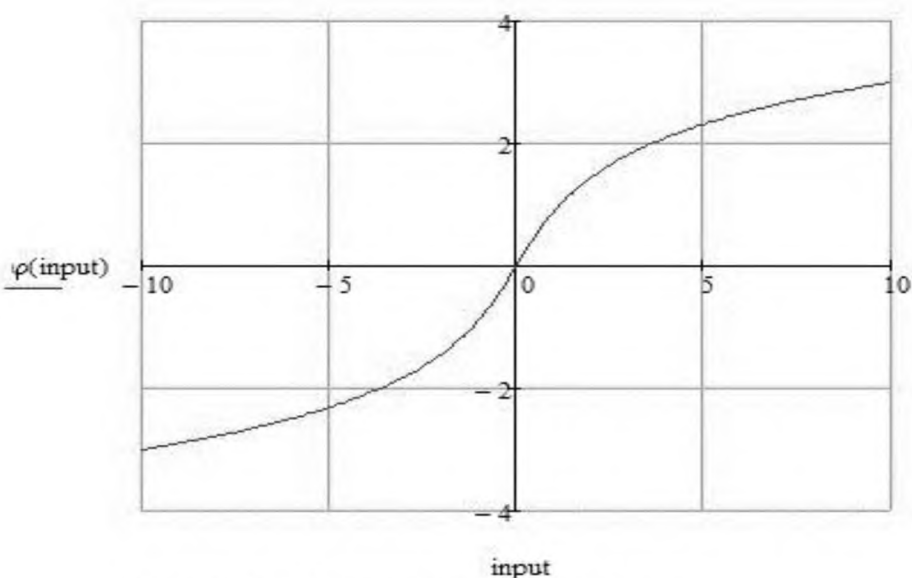


Рисунок 1 – Функция активации нейрона

В качестве показателя качества регулирования был выбран модульный интегральный показатель качества. По показателям качества было проведено сравнение различных структур нейрорегулятора для объектов с различными постоянными времени и временем запаздывания.

Известно, что искусственные нейронные сети при увеличении количества звеньев и, соответственно, количества скрытых слоев работают существенно лучше в задачах идентификации и распознавании образов на изображении. В данных задачах четко прослеживается необходимость в увеличении количества скрытых слоев в искусственных нейронных сетях за счет большого числа искомых параметров.

При увеличении количества звеньев очевидно, что увеличивается количество скрытых слоев системы. Известно, что при увеличении количества звеньев, увеличивается качество работы всей нейронной сети, так как коэффициенты весов каждого нейрона влияют на всю систему в целом. На рисунке 2 видно, что при увеличении скрытых слоев амплитуда

колебаний уменьшается, степень затухания увеличивается. А при добавлении обратной связи время регулирования становится меньше. Таким образом, увеличение количества скрытых слоев, количества нейронов и наличие обратных связей напрямую коррелирует с улучшением качества регулирования ИНС.

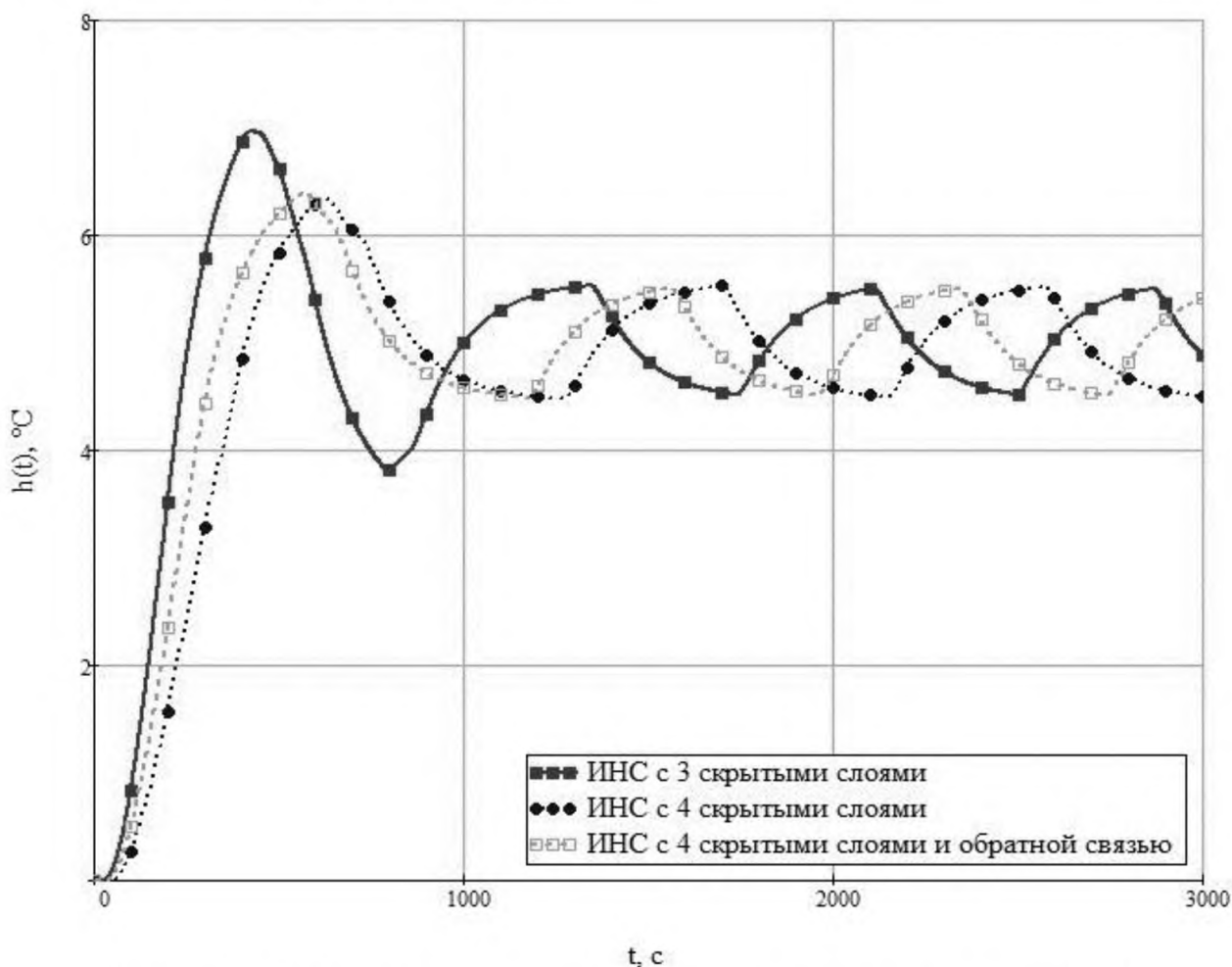


Рисунок 2 – Сравнение переходных характеристик различных структур ИНС

Список литературы:

1. А.В.Андрюшин, В.Р.Сабанин, Н.И.Смирнов. Управление и инноватика в теплоэнергетике. М.: Издательский дом МЭИ, 2011, – 392 с.: ил.
2. Ж.Л. Лорьер. Нейронные сети. Системы искусственного интеллекта/ Ж.Л. Лорьер. 1991 год. – 568 с
3. Росляков. Г.В., Мельников И.А., Стрелков В.Ю. Исследование влияния количества скрытых слоев в нейрорегуляторе на качество регулирования // Радиотехника, электротехника и энергетика: сб. статей. – Москва, 2021. – С. 927.
4. Стрелков В.Ю., Мельников И.А., Росляков Г.В. Исследование влияния обратных связей в нейрорегуляторе на качество регулирования // Радиотехника, электротехника и энергетика: сб. статей. – Москва, 2021. – С. 928.
5. Мельников И.А., Росляков Г.В., Стрелков В.Ю. Исследование влияния количества нейронов в нейрорегуляторе на качество регулирования // Радиотехника, электротехника и энергетика: сб. статей. – Москва, 2021. – С. 929.
6. Казмирук И. Ю., Сабанин В. Р., Дементьев Д. А. Применение нейронных сетей в качестве регулятора в двухконтурных системах автоматического регулирования // Молодой ученый. – 2019. – №4. – С. 91-9

Мезин Сергей Витальевич, к.т.н., доцент,
Московский энергетический институт, г. Москва
Mezin Sergey Vitalievich, Moscow Power Engineering Institute, Moscow

Стрелков Владислав Юрьевич, Росляков Георгий Владимирович,
магистрант, Московский энергетический институт, г. Москва
Strelkov Vladislav Yurievich, Roslyakov Georgy Vladimirovich,
Moscow Power Engineering Institute, Moscow

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДАПТИВНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ В СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ USE OF ADAPTIVE INTELLIGENT SYSTEMS IN MODERN ENERGY

Аннотация: на данный момент в мире идет активное развитие перспективных технологий управления искусственного интеллекта. В различных современных задачах все чаще прибегают к искусственным нейронным сетям, как к пути наилучшего решения. Однако стоит обратить особое внимание на подбор правильной структуры и формирование критериев для решения конкретной задачи.

Abstract: at the moment, the world is actively developing promising technologies for managing artificial intelligence. In various modern tasks, artificial neural networks are increasingly being used as the best solution. However, it is worth paying special attention to the selection of the correct structure and the formation of criteria for solving a specific problem.

Ключевые слова: интеллектуальные системы, нечеткая логика, нечеткий регулятор, автоматическая система регулирования.

Keywords: intelligent systems, fuzzy logic, fuzzy controller, automatic control system.

Во всем мире сейчас активно внедряют такие технологии, которые позволят минимизировать потери, а также улучшить работу энергетических объектов. Любая энергетическая система должна соответствовать таким критериям, как эффективность, надежность и прибыльность. Для достижения всех этих показателей, необходимо использовать интеллектуальные технологии, которые уменьшат потери электроэнергии, увеличат генерацию и оптимизируют потребление. Кроме того, использование интеллектуальных систем позволяет существенно снизить негативное воздействие отрасли энергетики на окружающую среду.

Интеллектуальная система – программный комплекс, имитирующий человеческое мышление. Такие системы способны на основе входных данных формировать выход, который основан на анализе текущих, предыдущих, а также прогнозируемых состояний технологического объекта.

В данной работе будет рассмотрена одна из основных частей ANFIS – адаптивная нейро-нечёткая система вывода. Данная система будет использоваться в качестве регулятора в автоматической системе регулирования частоты и мощности энергоблока от расхода пара на турбину [1].

В силу сложности и большого объёма работ, в данной статье рассматривается лишь классификатор – база знаний классической нечёткой логики в представлении её перцептроном. Это позволит сделать базу знаний о принятии решений более гибкой при составлении экспертных оценок в спорных ситуациях при регулировании сложными комплексами технологических систем [2].

Мощность турбины необходимо измерять для контроля отпуска со станции на гражданские и производственные нужды [3]. Также, мощность, вырабатываемая на турбине, участвует при расчете коэффициента полезного действия (КПД) станции, что показывает ее тепловую и экономическую эффективность.

Частота сети является идентификатором нагрузки сети: если потребителей больше, чем расчетное их количество, то частота сети проседает; если же происходит предаварийная или аварийная ситуация на станции, либо недостаток электропотребителей,

то происходит скачок частоты. Следовательно, частота поддерживается на уровне 50 Гц с отклонением не более 0,02 Гц. Ввиду вышеперечисленного, данные параметры являются наиболее приоритетными для контроля на станции.

Задачей работы было спроектировать нечеткий регулятор, для этого необходимо составить функции принадлежности и сформировать базу знаний. Основой для нечеткой логики служили предыдущие расчеты каскадной двухконтурной автоматической системы регулирования, рассчитанной с использованием метода Ротача [1]. Модель объекта представлен в виде последовательного соединения 3-х А звеньев.

В результате были получены:

Графики переходных процессов для различных способов регулирования технологического параметра без использования и с использованием классификатора (рисунок 1). Графики выходов ПИ-регулятора и нечеткого ПИ-регулятора (рисунок 2).

Про проведенной исследовательской работе мы можем заключить следующее: качество регулирования с нечетким ПИ-регулятором незначительно хуже, чем с классическим ПИ-регулятором; автоколебания возникают в конце участка регулирования с нечетким ПИ-регулятором, следовательно, необходимо устранить паразитные нелинейности нечеткого ПИ-регулятора; нечеткий ПИ-регулятор основан на численных методах и его значительно проще оцифровать, т.к. он изначально работает с цифровыми сигналами.

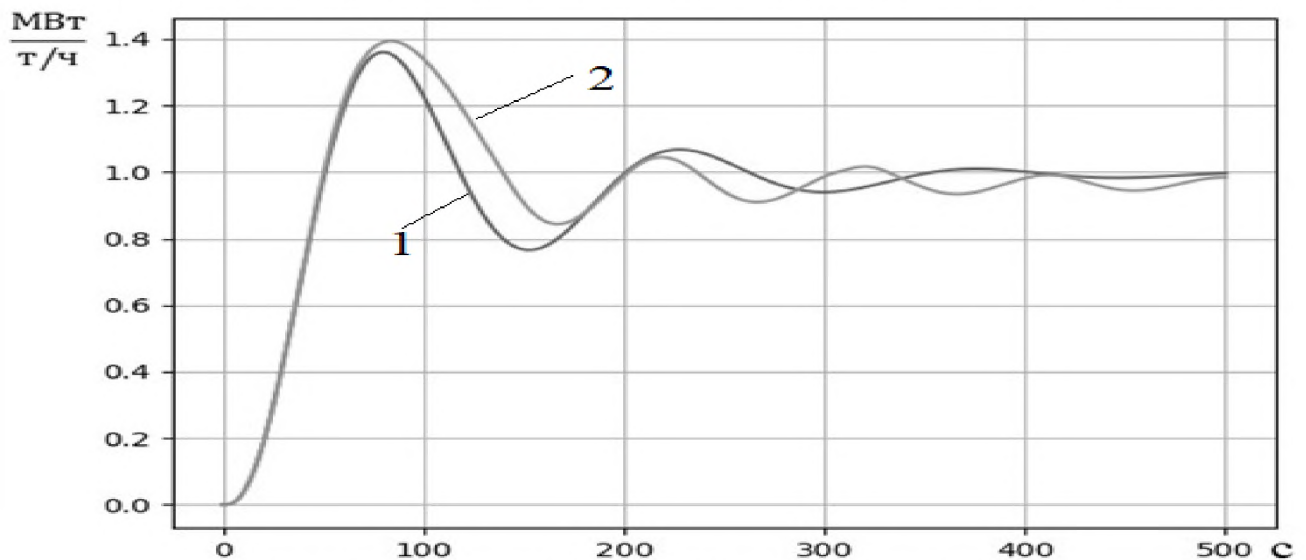


Рисунок 1 – Графики переходных процессов замкнутых АСР
(1 – ПИ-регулятор, 2 – нечеткий ПИ-регулятор)

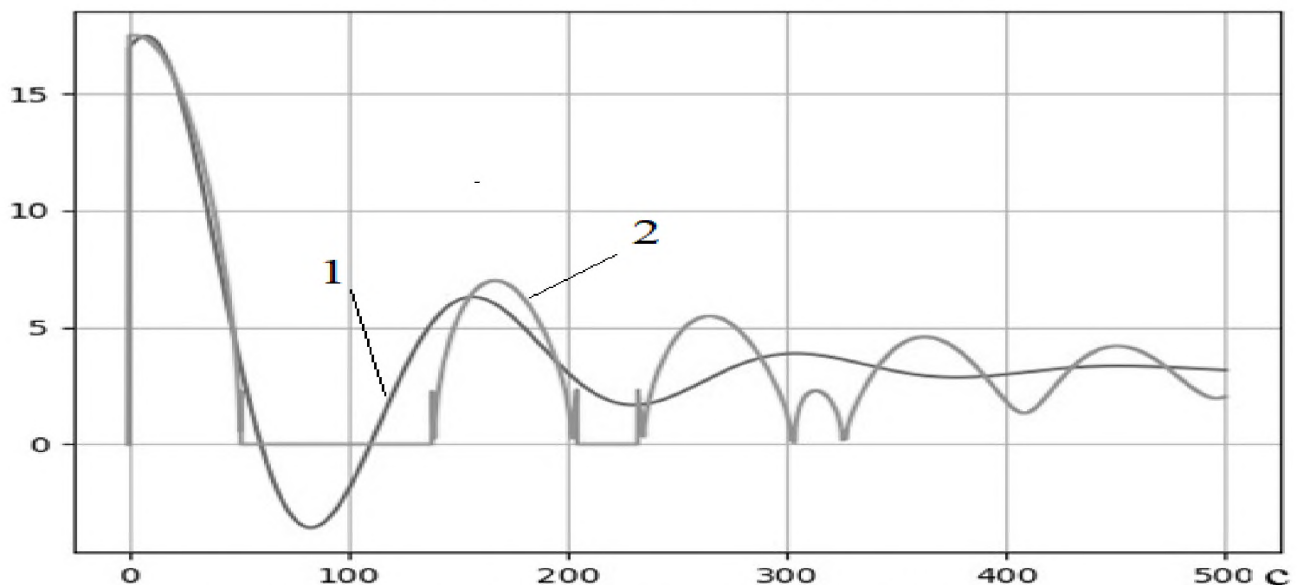


Рисунок 2 – Выходы ПИ-регулятора и нечеткого ПИ-регулятора
1 – ПИ-регулятор, 2 – нечеткий ПИ-регулятор)

Дальнейшие исследования будут направлены на решение следующих проблем, с которыми столкнулись во время исследований:

1) Исследование скачков, изломов, коррекция зоны нечувствительности. Изломы связаны с заданием треугольных функций принадлежности (переход между термами), наиболее вероятна смена на функции принадлежности в виде нормального закона распределения. Для устранения скачков на графике регулирующего воздействия нечеткого ПИ-регулятора, а также для устранения нечувствительности к отрицательному управлению следует скорректировать задание зоны нечувствительности.

2) Исследование заданий интервалов для функций принадлежности. Проанализировав различные объекты и рассчитав для них оптимальные настройки ПИ-регуляторов, исследуем интервалы изменения сигнала ошибки, сигнала накопления ошибки и сигнала регулирования для составления эмпирической зависимости между параметрами объекта и границами этих интервалов.

3) Определение границ интервалов с использованием нейронной сети. Для автоматизации нахождения границ интервалов в дальнейшем будет использоваться персептронная нейронная сеть.

Список литературы:

1. В.Я. Ротач – «Теория автоматического управления» – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. С.Д. Штовба – «Проектирование нечетких систем средствами MATLAB» – М.: Горячая линия – Телеком, 2007.
3. Андрюшин А.В, Сабанин В.Р., Смирнов Н.И. – Управление и инноватика в теплоэнергетике (2011г.)

УДК 681.5.04

Мерзликина Елена Игоревна,
к.т.н., доцент, НИУ МЭИ, г. Москва
Merzlikina Elena Igorevna, NRU MPEI, Moscow

Сыдыков Актан, НИУ МЭИ, г. Москва
Sydykov Aktan, NRU MPEI, Moscow

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АСР НАГРУЗКИ КОТЛА
ПРИ СЖИГАНИИ СМЕСИ ТОПЛИВ В ПАКЕТЕ SIMINTECH
SIMULATION OF BOILER LOAD ACS FOR DUAL FIRING IN SIMINTECH**

Аннотация: в статье рассматривается автоматическая система регулирования нагрузки котла, работающего на смеси топлив. Структура системы – одноконтурная с ПИ-регулятором и комбинированная. В работе рассматривается моделирование системы регулирования в пакете SimInTech, и возможности применения данного пакета в учебном процессе.

Abstract: the article considers a boiler load control system. The boiler uses a mixture of fuels. The system is a feedback single-loop one with a PI-algorithm and feedforward. The paper considers simulation of the system in SinInTech and possibilities of using the software for educational purposes.

Ключевые слова: моделирование, автоматическая система регулирования, комбинированная система, SimInTech.

Keywords: simulation, automatic control system, feedback-feedforward system, SinInTech.

В настоящее время промышленные агрегаты и системы управления представляют собой достаточно сложные комплексы, разработка и проектирование которых не могут выполняться без компьютерного моделирования. В данной работе рассмотрим моделирование системы регулирования нагрузки барабанного котла при сжигании смеси топлив, моделирование будет выполняться в пакете SimInTech [1].

В настоящее время актуальным вопросом является внедрение в образование, проектирование и исследовательскую деятельность свободно распространяемых программных сред моделирования таких как Scilab [2] или пакетов отечественного производства, например, SimInTech.

Рассмотрим конкретный объект – котел, работающий на смеси топлив, природного, доменного и коксового газа, исходные данные для расчетов и моделирования возьмем из [3,5]. Моделируемая АСР является одноконтурной и комбинированной, при этом регулируемой величиной является тепловая нагрузка котла, а регулирующим воздействием – изменение расхода природного газа на котел. Изменения расходов доменного и коксового газов рассматриваются как возмущающие воздействия.

Расчет одноконтурной АСР с ПИ-регулятором производился по методике, описанной в [4] на минимум линейного интегрального показателя при ограничении на частотный показатель колебательности, при этом его значение принималось равным 1,55. Передаточные функции устройств компенсации находились из условия абсолютной инвариантности, и из условия совпадения КЧХ идеального и реального компенсаторов на нулевой и резонансной частотах по методике, также описанной в [4].

Далее выполнялось моделирование рассчитанной АСР в пакете SimInTech, модель одноконтурной АСР без устройств компенсации представлена на рис. 1.

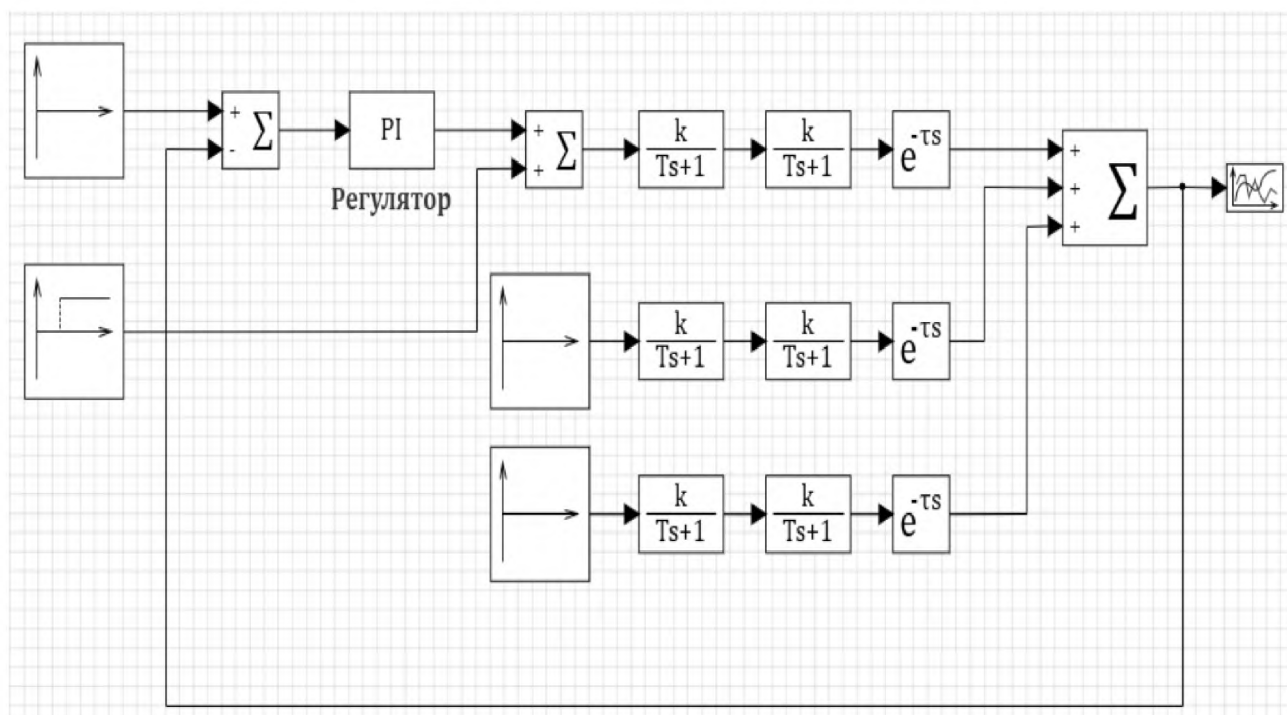


Рисунок 1 – Модель рассматриваемой АСР в пакете SimInTech

Для моделирования АСР использовалась модель общего вида и библиотеки «Операторы» (блоки «Сумматор» и «Сравнивающее устройство»), «Источники» (блок «Ступенька» для моделирования ступенчатого воздействия), «Вывод данных» (блок «Временной график» для построения переходного процесса), «Динамические» (блоки «Инерционное звено 1 порядка» и «Идеальное транспортное запаздывание» для моделирования объекта управления), а также библиотека «Регуляторы» для моделирования ПИ-регулятора с помощью блока PID.

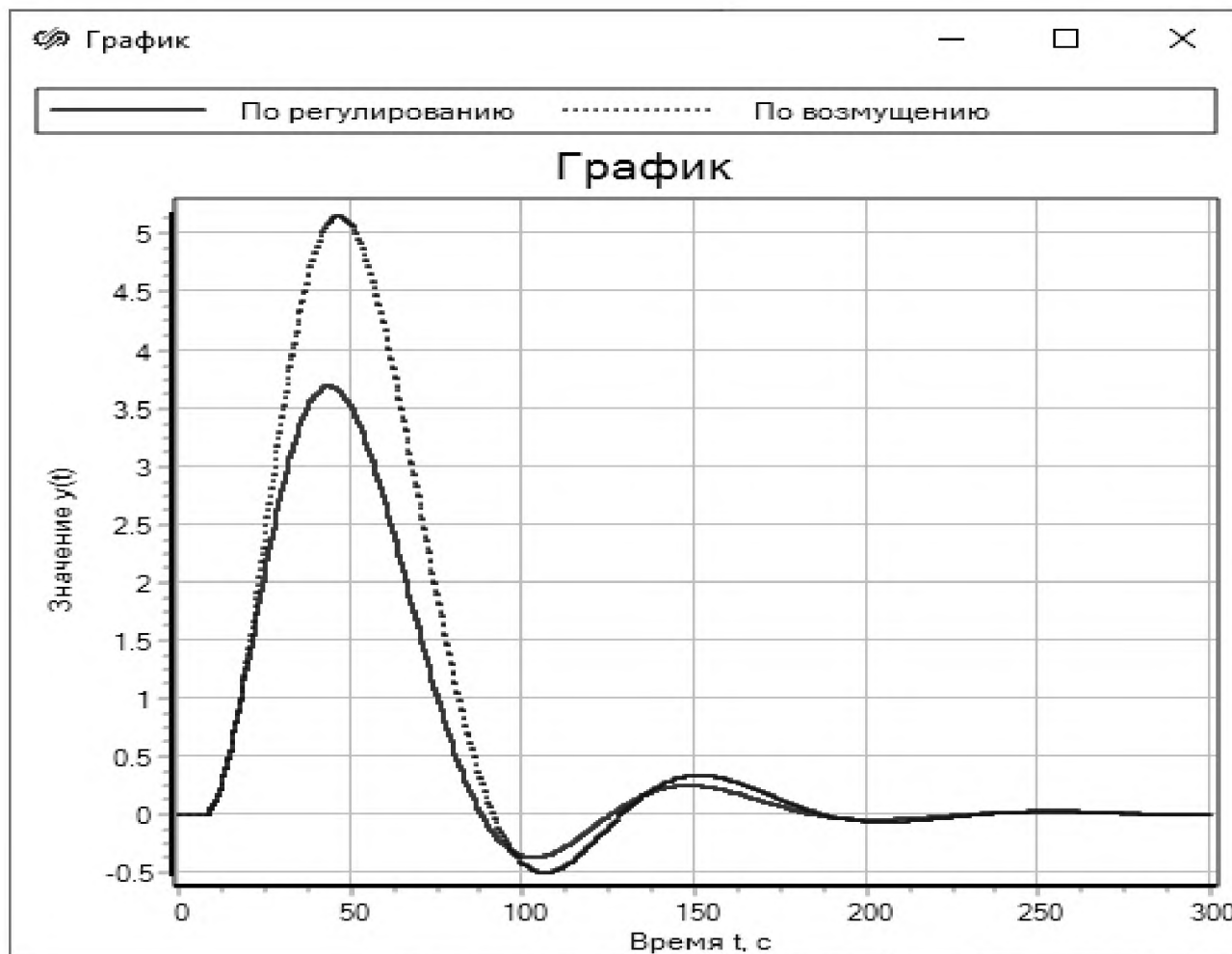


Рисунок 2 – Переходные процессы
при ступенчатом изменении расхода природного газа (сплошная линия)
и при ступенчатом изменении расхода коксового газа (пунктирная линия)

С помощью пакета SimInTech можно достаточно просто моделировать системы регулирования, в том числе – достаточно сложной структуры, и переходные процессы в этих системах. Также данный пакет удобно применять для учебных целей, так как студенты и преподаватели могут скачать и установить его бесплатно, что позволяет выполнять в нем домашние задания и т.д. Блоки и библиотеки, необходимые для моделирования и анализа систем управления тепловыми процессами, присутствуют в этом пакете.

Список литературы:

1. Официальный сайт среды SimInTech, URL-адрес: www.simintech.ru. Дата доступа 10.06.2022.
2. Официальный сайт среды Scilab, URL-адрес: www.scilab.org. Дата доступа 10.06.2022.
3. Исмаходжаев С.К. Автоматическая система регулирования нагрузки котла при совместно-раздельном сжигании газов. Теплоэнергетика, №10, 2014. С. 55-61.
4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. Учебник для вузов – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
5. Исмаходжаев С.К., Кузицин В.Ф. Повышение эффективности АСР тепловой нагрузки паровых котлов при сжигании топлива нескольких видов. Теплоэнергетика, №5, 2017. С. 82-94.

Мерзликина Елена Игоревна,
к.т.н., доцент, НИУ МЭИ, г. Москва
Merzlikina Elena Igorevna, NRU MPEI, Moscow

Таранец Елизавета Александровна, НИУ МЭИ, г. Москва
Taranets Elizaveta Alexandrovna, NRU MPEI, Moscow

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА В ПАКЕТЕ SCILAB-XCOS SIMULATION OF INCOMING AIR TEMPERATURE CONTROL SYSTEM IN SCILAB-XCOS

Аннотация: в статье рассматривается система регулирования температуры приточного воздуха для системы центрального кондиционирования. Система регулирования является одноконтурной и комбинированной. Также рассматривается моделирование данной системы в пакете Scilab-Xcos.

Abstract: the article considers the incoming air temperature control system for a central air-conditioning system. The control system is a single-loop feedback and feedforward one. The article also considers simulation of this system in Scilab-Xcos.

Ключевые слова: центральное кондиционирование, моделирование, автоматическая система регулирования, Scilab, Xcos.

Keywords: central air conditioning system, simulation, automatic control system, Scilab, Xcos.

Сейчас к климатическим условиям в помещениях, в том числе, в жилых домах, в учреждениях и на промышленных предприятиях, предъявляются достаточно высокие требования, поэтому многие здания и сооружения оснащены системами центрального кондиционирования. Данные системы можно рассматривать как объект управления с различных точек зрения, например, с учетом поперечных связей и многомерности [1]. В данном случае рассмотрим одномерную и одноконтурную систему регулирования температуры приточного воздуха. В систему введем компенсацию возмущений по температуре наружного воздуха.

Данная работа посвящена созданию компьютерной модели такой системы. Подобные модели могут создаваться в различных средах, рассмотрим разработку такой модели в среде Scilab [2]. Эта среда была выбрана, так как, во-первых, является бесплатной и свободно распространяемой. Во-вторых, в настоящее время активно используется в учебном процессе в МЭИ, в частности, на ней разработан цикл лабораторных работ по теории автоматического управления [3]. Кроме того, этот программный пакет имеет версии для различных операционных систем и нетребователен к ресурсам компьютера. Все вышесказанное позволяет использовать его, в том числе, на личных компьютерах студентов, кроме того, эта среда позволяет создавать графические интерфейсы, что существенно расширяет возможности применения разработанных моделей.

Структурная схема рассматриваемой системы показана на рис. 1. При расчетах было принято, что передаточные функции объекта управления по каналам регулирования ($\mu \rightarrow y$) и возмущения ($\lambda \rightarrow y$) имеют следующий вид:

$$W_{\mu y}(s) = \frac{1,18 \cdot e^{-2,73s}}{(48s + 1) \cdot (24s + 1)};$$

$$W_{\lambda y}(s) = \frac{0,2 \cdot e^{-4,5s}}{(52s + 1) \cdot (42s + 1)}.$$

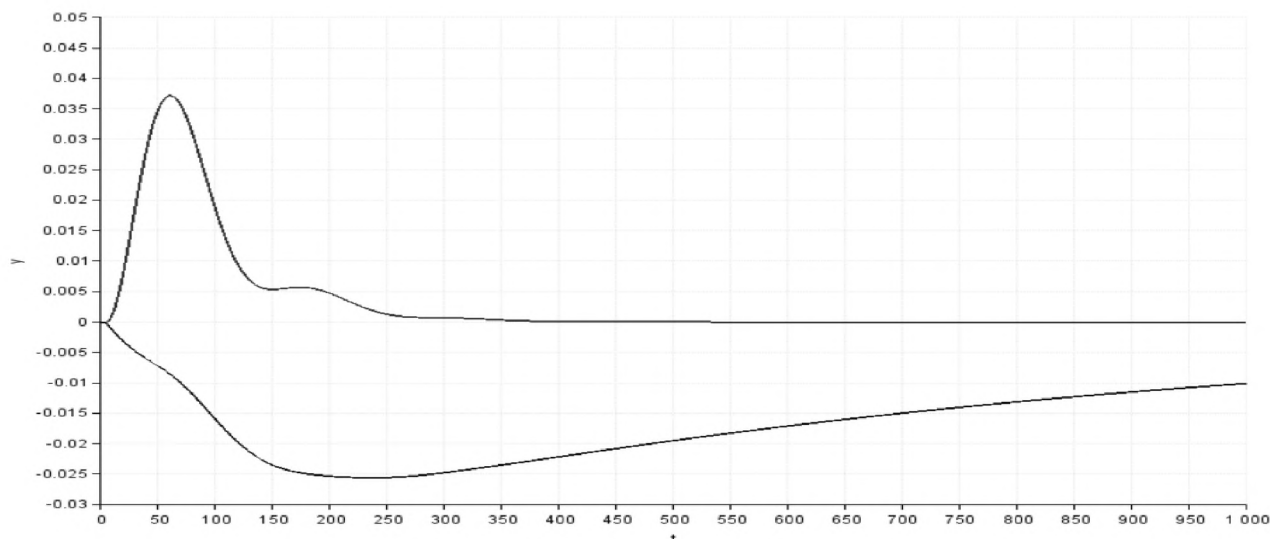


Рисунок 3 – Переходные процессы

Список литературы:

1. Филимонов Д.С., Макаров А.А. Исследование центрального кондиционера, как объекта системы автоматического управления. Технологии 21 века в пищевой, перерабатывающей и легкой промышленности, №6-2, 2021. С. 26.
2. Официальный сайт среды Scilab, URL-адрес: www.scilab.org. Дата доступа 10.06.2022.
3. E. I. Merzlikina and O. G. Prochina, "Laboratory Works on Control Theory Using Scilab/Xcos," 2020 V International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/Inforino48376.2020.9111704.
4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. Учебник для вузов – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

УДК 620 98

Ягупова Юлия Юрьевна, ассистент,
Национальный Исследовательский Университет «НИУ МЭИ», г. Москва
Yagupova Julia Yurievna, National Research University «MPEI», Moscow

Кохова Оксана Константиновна,
Национальный Исследовательский Университет «НИУ МЭИ», г. Москва
Kokhova Oxana Konstantinovna, National Research University «MPEI», Moscow

ПОЛУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА OBTAINING RELIABILITY INDICATORS OF AN ENERGY FACILITY

Аннотация: важной особенностью развития техники является внедрение методов и средств автоматики. Повышение эффективности и качества проектируемых АСУ невозможно без повышения надежности технических средств управления. В данной статье описан метод получения показателей надежности энергетического объекта.

Abstract: an important feature of the development of technology is the introduction of methods and means of automation. Improving the efficiency and quality of the designed automated control systems is impossible without improving the reliability of technical controls. This article describes methods for obtaining reliability indicators of an energy facility.

Ключевые слова: показатели надежности, эффективность, эмпирическая функция, закон распределения, наработка на отказ.

Keywords: reliability indicators, efficiency, empirical function, distribution law, time to failure.

1. Введение

Эффективная работа энергетических объектов – занимает важное место среди всей энергетики. Немаловажную роль играет оборудование станций, которые эксплуатируются уже много лет и являются устаревшими, что не обеспечивает требуемые экономические, надежные и экологические параметры эксплуатации оборудования [1].

Любому специалисту в работе часто приходится сталкиваться с необходимостью обработки и анализа данных, полученных в результате наблюдения. Поэтому особенно важно качество обработки статистических данных, так как усовершенствовав работу получения показателей надежности, можно предотвратить глобальные сбои (аварии) энергетических объектов, а также улучшить их [2].

2. Общее положение

Эмпирическая функция распределения или ее еще можно назвать выборочная функция распределения – это естественное приближение теоретической функции распределения данной случайной величины, которая строится по выборке. Прежде всего построение такого распределения начинается с группировки (по одинаковым значениям, по интервалам).

Свойства эмпирической функции:

- значения $F^*(x) \in [0; 1]$
- $F^*(x)$ – функция неубывающая $F^*(x_2) > F^*(x_1)$, если x_2 больше x_1
- если x_1 – наименьшая варианта, $F^*(x_1)=0$
- если x_k – наибольшая, то $F^*(x_k)=1$

Различие эмпирической функции от теоретической заключается в том, что первое определяет вероятность события, а второе относительную частоту.

Хорошим примером для статистического ряда распределения будет гистограмма, это ступенчатая фигура, которая состоит из прямоугольников.

Кривая распределения на гистограмме будет эмпирической и теоретической, где к эмпирической будет относиться как общие, так и случайные условия, которые определяют распределение. А теоретическая кривая – показывает функциональную связь между сменой варьирующего признака и изменения частот, и выражает определенный тип распределения. Поэтому теоретическое распределение будет «идеальной» моделью эмпирического распределения, тем самым анализ сведем к сравнению теоретического и эмпирического распределения [3].

3. Расчет эмпирических характеристик распределения

Получены следующие значения средних наработок на отказ t_i в часах (план наблюдений NUN), которые уже распределены по интервалам (таблица 1):

Таблица 1

Распределение наработок по интервалам

1	2	3	4	5	6	7
15,04	251,02	350,9	513,53	686,8	852,18	1065,15
25,68	254,53	361,38	519,54	698,09	882,25	1089,15
122,00	255,55	361,56	526,93	699,45	909,19	1136,41
125,40	260,98	386,05	535,51	824,23	955,91	1143,8
156,18	293,63	421,3	539,69	846,1	966,53	
	333,33	429,84	553,29			
	335,68	445,01	560,01			

Путем обработки статистических данных был определен закон распределения наработки на отказ, закон распределения Вейбулла.

Для сравнения теоретические кривые показаны вместе со статистическими зависимостями на рисунках 1 и 2. На графиках желтым цветом выделены статистические данные, а синим цветом – теоретические.

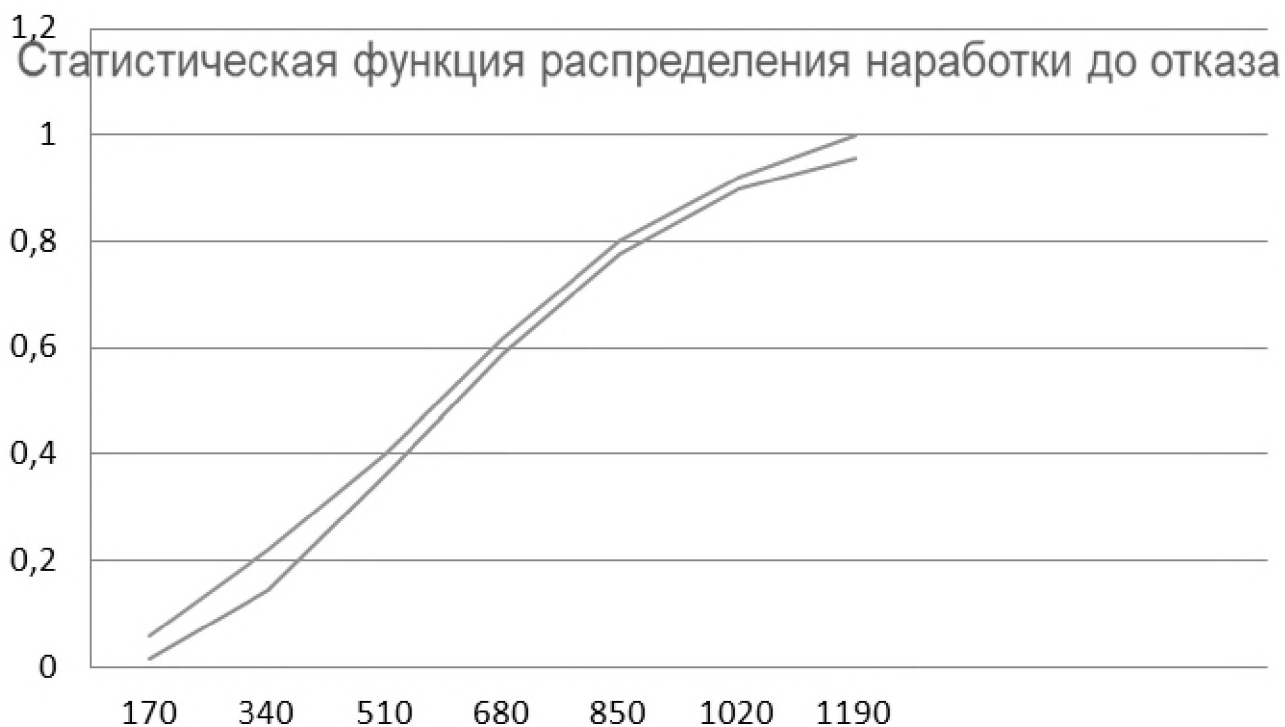


Рисунок 1 – Функция распределения наработки на отказ

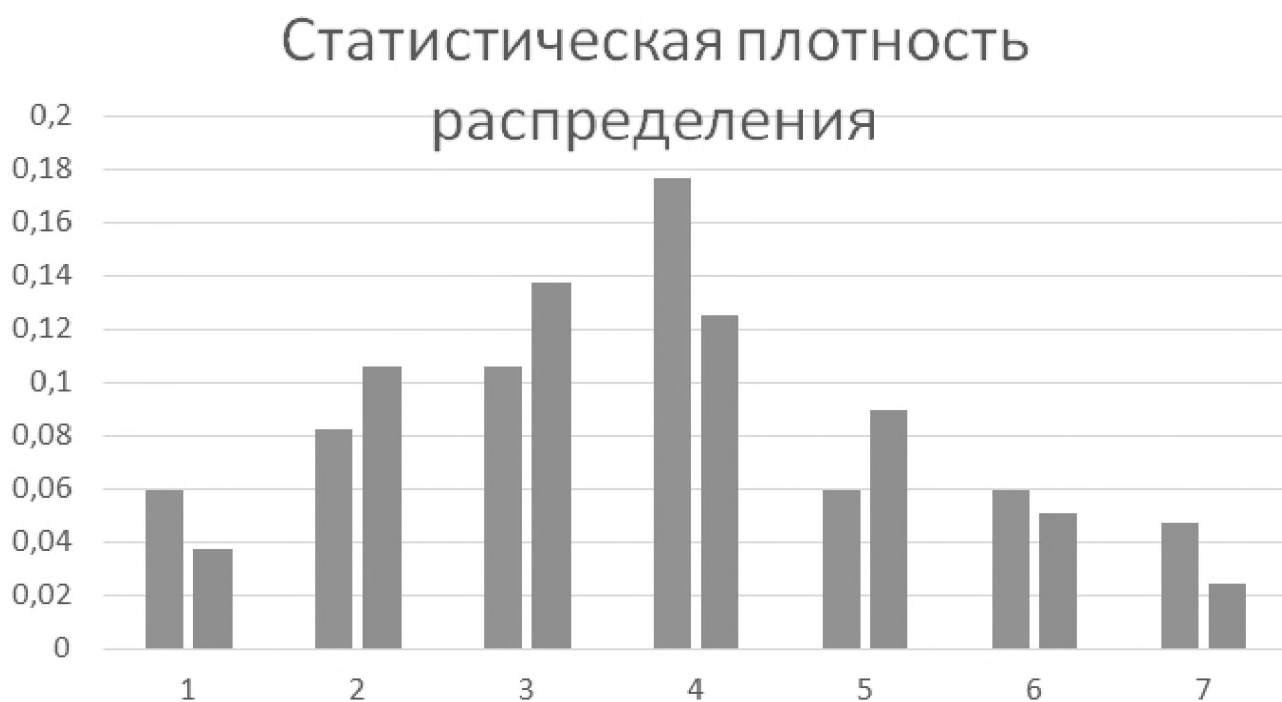


Рисунок 2 – Функция плотность распределения

Все расчеты, связанные с построение кривых приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результат данных к расчету $P(t)$, $Q(t)$, $f(t)$

t	0	85	255	425	595	765	935	1105
λ	0	0,381	1,234	2,1311	3,0542	3,996	4,953	5,922
$P(t)$	1	0,984	0,857	0,641	0,41	0,223	0,1031	0,0403
$Q(t)$	0	0,016	0,143	0,359	0,59	0,777	0,8969	0,9567
$f(t) \cdot 10^{-2}$	0	0,0375	0,106	0,137	0,125	0,0892	0,051	0,024

Расчет критерия Пирсона позволяет выявить причину расхождения между теоретической кривой и статистическим распределением. Проведя ряд вычислений, критерий Пирсона показал, что мера расхождения при достаточно больших n подчиняется так называемому распределению χ^2 , которое практически не зависит ни от $F(t)$, ни от n , а зависит лишь от одного параметра r , называемого числом степеней свободы [4, 5].

Если теоретический закон выбран правильно, то вероятность того, что полученное расхождение χ^2 произошло по чисто случайным причинам, будет достаточно велика. Эта вероятность P не должна быть меньше 0,1.

Определив в расчете вероятность $P = 0,312$, приходим к выводу, что принятый закон распределения Вейбулла не противоречит статистическим данным о времени безотказной работы объекта.

Имея не противоречащий опытным данным теоретический закон распределения наработки до отказа, находятся значения вероятности отказа и безотказной работы в интервале от 170 до 340 ч. Расчет показал, что вероятность отказа равна 0,062, а вероятность безотказной работы будет равна 0,938.

4. Вывод

Для правильной обработки показателей надежности необходимо правильно подбирать метод, с помощью которого происходит обработка данных, а также необходимо правильно производить оценку статистических данных, для этого стоит учитывать следующие условия:

- объем выборки должен быть достаточным для оценивания;
- оценка параметра, который нас интересует, должна быть случайной величиной.

Таким образом, в данной работе был показан один из методов обработки показателей надежности энергетического объекта, который показал успешные результаты.

Список литературы:

1. А. В. Андрюшин, К.А. Андрюшин, С.Ю. Цыкунова, А.Н. Черняев. Надежность систем управления. Основы расчета надежности систем управления. Учебное пособие. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2017
2. Пикина Г.А., Аракелян Э.К. Оптимизация и оптимальное управление, 2008г.
3. Балакирев В.С. Надежность систем автоматизации. Саратов. гос. техн. ун-т, 2005 г.
4. Г.П. Гладышев, Р.З. Аминов, В.З. Гуревич. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС // Под ред. А. Андрющенко. – М.: Высш. шк.
5. Качан А.Д. Оптимизация режимов и повышение эффективности работы паротурбинных установок ТЭС. – Минск: Высш.шк., 1985.



Ближайшие конференции ГНИИ «НАЦРАЗВИТИЕ» (eLibrary.ru+DOI)

Шифр	Наименование конференции	Дата
ВТ 198	Международная научная конференция "Высокие технологии и инновации в науке"	28 июля 2022 года
КО 198	Международная научно-методическая конференция "Проблемы управления качеством образования"	29 июля 2022 года
НБ 198	Всероссийская научно-практическая конференция "Национальная безопасность России: актуальные аспекты"	30 июля 2022 года
ПБ 198	Международная студенческая научная конференция "Поколение будущего"	31 июля 2022 года
НИТП 331	Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция "Научные исследования в современном мире. Теория и практика"	10 августа 2022 года
ФИПИ 331	Всероссийская (национальная) научная конференция "Фундаментальные и прикладные исследования. Актуальные проблемы и достижения"	11 августа 2022 года
СМИН 331	Всероссийская (национальная) научная конференция "Современные методы и инновации в науке"	12 августа 2022 года
ИПГС 331	Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция "Исследование и практика в социально-экономической и гуманитарной сфере"	13 августа 2022 года
SRP 304	International Scientific Conference "Science.Research.Practice" (Международная конференция "Наука. Исследования. Практика")	25 августа 2022 года
TNS 304	International Scientific Conference "Technical and Natural Sciences" . (Международная научная конференция "Технические и естественные науки")	26 августа 2022 года
SEH 304	International Scientific Conference "Socio-Economic Sciences & Humanities" . (Международная научная конференция "Социально-экономические и гуманитарные науки")	27 августа 2022 года
ECS 304	International Scientific Conference "Education, Culture and Society" . (Международная научная конференция "Образование. Культура. Общество")	28 августа 2022 года
PSM 304	International Scientific Conference "Psychology, Sports Science and Medicine" (Международная научная конференция "Психология. Спорт. Здравоохранение")	29 августа 2022 года
SITB 304	International Scientific Conference "Security: Information, Technology, Behavior" . (Международная научная конференция "Безопасность: Информация, Техника, Управление")	30 августа 2022 года
НИТП 332	Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция "Научные исследования в современном мире. Теория и практика"	10 сентября 2022 года
ФИПИ 332	Всероссийская (национальная) научная конференция "Фундаментальные и прикладные исследования. Актуальные проблемы и достижения"	11 сентября 2022 года
СМИН 332	Всероссийская (национальная) научная конференция "Современные методы и инновации в науке"	12 сентября 2022 года
ИПГС 332	Всероссийская (национальная) научно-практическая конференция "Исследование и практика в социально-экономической и гуманитарной сфере"	13 сентября 2022 года

Приглашаем к участию в конференциях научных и практических работников, преподавателей образовательных учреждений, докторантов, аспирантов, соискателей и студентов

Подробнее о конференциях Вы можете узнать на официальном сайте ГНИИ «Нацразвитие»:

WWW.NATSRVITIE.RU

Интересующие вопросы можно задать по телефону: **8 (812) 905-29-09**

или написать нам по адресу: **INFO@NATSRVITIE.RU**