

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»

**ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

VII Национальная научно-практическая конференция
(Казань, 9-10 декабря 2021 г.)

Материалы конференции

Казань
2022

УДК621.313
ББК31.261
П75

Рецензенты:

д-р техн.наук, зав. кафедрой электропривода и электротехники
ФГБОУ ВО «КНИТУ» В.Г. Макаров
канд.техн. наук, зав. кафедрой электроэнергетических систем и сетей
ФГБОУ ВО «КГЭУ» В.В. Максимов

Редакционная коллегия:

Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор), И.Г. Ахметова,
О.В. Козелков, О.В. Цветкова

П75 Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. VII Национальной науч.-практ. конф. (Казань, 9–10 декабря 2021 г.): / редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) и др. Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2021. 776 с.

ISBN978-5-89873-593-7

Опубликованы материалы VII Национальной научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве» по следующим научным направлениям:

1. Приборостроение и управление объектами мехатронных и робототехнических систем в ТЭК и ЖКХ.
2. Электроэнергетика, электротехника и автоматизированный электропривод в ТЭК и ЖКХ.
3. Инновационные технологии в ТЭК и ЖКХ.
4. Актуальные вопросы инженерного образования.
5. Промышленная электроника на объектах ЖКХ и промышленности.
6. Светотехника.
7. Энергосберегающие технологии в сфере ЖКХ.
8. Эксплуатация и перспективы развития электроэнергетических систем.
9. Контроль, автоматизация и диагностика электроустановок, электрических станций и распределенной генерации.
10. Теплоснабжение в ЖКХ.

Предназначен для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетики, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Материалы докладов публикуются в авторской редакции. Ответственность за их содержание возлагается на авторов.

УДК 621.313
ББК 31.261

ISBN978-5-89873-593-7

© Казанский государственный энергетический университет, 2022 г

УДК 681.2:531.75:665.66.

ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗОНАТОРА ВИБРАЦИОННО-ЧАСТОТНОГО ПЛОТНОМЕРА ЖИДКОСТИ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Гусейнов Тургай Климович

Сумгаитский государственный университет, г.Сумгаит, Азербайджан

huseynovturgay@mail.ru

Аннотация: в статье обосновывается возможность оценки степени загрязненности внутренней поверхности резонатора вибрационно-частотного плотномера жидкости, путем сравнения собственных частот колебаний пустого резонатора до и во время эксплуатации.

Ключевые слова: резонатор, вибрационно-частотный плотномер, жидкость, загрязнение, оценка степени загрязнения.

ESTIMATES OF THE DEGREE OF POLLUTION OF THE INNER SURFACE OF THE RESONATOR OF THE VIBRATION-FREQUENCY DENSITY OF A LIQUID DURING OPERATION

Huseynov Turgai Klimovich

Sumgait State University, Sumgait, Azerbaijan

huseynovturgay@mail.ru

Abstract: The article substantiates the possibility of assessing the degree of contamination of the internal surface of the resonator of a vibration-frequency density meter of a liquid by comparing the natural vibration frequencies of an empty resonator before and during operation.

Key words: resonator, vibration-frequency density meter, liquid, pollution, assessment of the degree of pollution.

В топливно-энергетическом комплексе при проведении учетно-расчетных операций или слежении за ходом технологических процессов находят применение вибрационно-частотные плотномеры жидкости. Чувствительным элементом этих приборов при поточном исполнении служат трубчатые резонаторы, по которым протекает измеряемая жидкость. Резонатор приводится в режим автоколебаний на частоте близкой к собственной. Изменение плотности измеряемой жидкости влечет за собой изменение частоты автоколебаний. В реальных условиях эксплуатации частота автоколебаний зависит не только от плотности, но и давления, температуры, скорости потока, а также загрязнения внутренней поверхности резонатора. Наиболее изученными являются вопросы оценки

влияния температуры и давления измеряемой жидкости на показания вибрационно-частотного плотномера [1,2]. В связи с этим поиск способов оценки степени загрязненности внутренней поверхности резонатора вибрационно-частотного плотномера представляется актуальной.

Оценка толщины загрязнения на внутренней поверхности резонатор может быть определена по затуханию собственных колебаний резонатора, как это делается при оценке толщины отложений на внутренней поверхности на внутренней поверхности теплообмена [3]. Реализация данного способа предполагает разработку специального прибора [4].

Определим аналитическую зависимость, связывающую между собой частоту собственных колебаний резонатора и слой загрязнения на внутренней поверхности резонатора.

При этом будем считать, что во время эксплуатации загрязнение внутренней поверхности резонатора

Частота колебаний резонатора f во время эксплуатации вибрационно-частотного плотномера определяется следующей формулой [1]:

$$f = f_0 \sqrt{m_p / (m_p + m_{\text{ж}})} \quad (1)$$

где f_0 – частота колебаний пустого резонатора; m_p и $m_{\text{ж}}$ – массы единицы длины резонатора и жидкости:

$$\begin{aligned} m_p &= \pi/4((D^2 - d^2)\rho_p); \\ m_{\text{ж}} &= \pi/4(d^2\rho_{\text{ж}}) \end{aligned}$$

d – внутренний диаметр резонатора; D – внешний диаметр резонатора; ρ_p и $\rho_{\text{ж}}$ – соответственно плотности материала трубки и измеряемой жидкости.

Допустим, что во время эксплуатации на внутренней поверхности резонатора появляются загрязнения. В этом случае частота колебаний резонатора f_1 будет определяться следующей формулой:

$$f_1 = f_0 \sqrt{m_p / (m_p + m_{\text{ж}} + m_3)} \quad (2)$$

где m_3 – масса единицы длины загрязнения на резонаторе, которая может быть определена по следующей формуле:

$$m_3 = \pi/4(\rho_3(d^2 - d_3^2)) \quad (3)$$

где ρ_3 – плотность воды; d_3 – внутренний диаметр резонатора с учетом загрязнения.

Относительная погрешность измерения из-за появления загрязнения на внутренней поверхности резонатора будет равна:

$$\delta = \frac{f-f_1}{f} 100\% \quad (4)$$

С учетом полученных соотношений можно предложить следующую методику для оперативного контроля загрязнения внутренней поверхности резонатора во время эксплуатации. Измерить частоту колебаний пустого резонатора перед его эксплуатацией. После определенного времени эксплуатации опорожнить резонатор от измеряемой среды и измерить его частоту колебаний. По разнице показаний можно судить о степени загрязнения внутренней поверхности резонатора.

Источники

1. Филюшин В.В., Рудаченко А.В. Исследование зависимости частоты колебаний от изменения давления внутри чувствительной системы поточного преобразователя плотности // Проблемы геологии и освоения недр: труды XX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 4-8 апреля 2016 г. : в 2 т. Томск : Изд-во ТПУ, 2016. Т. 2. [С. 967-969]

2. Филюшин В.В., Мартынюк А.О., Рудаченко А.В. Исследование влияния изменения резонансной частоты колебаний чувствительного элемента поточного вибрационного преобразователя плотности от изменения температуры исследуемой жидкости // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина, Томск, 3-7 апреля 2017 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2017. — Т. 2. — [С. 666-668].

3. Гарнышова Е.В., Измайлова Е.В., Ваньков Ю.В. Оценка толщины отложений на внутренней поверхности теплообмена по затуханию собственных колебаний. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020;22(4):106-114. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-4-106-114>.

4. Шакурова Р.З., Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Методика проведения оперативного диагностирования трубопроводов энергетических систем и комплексов. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020;22(6):188-201. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-6-188-201>

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ СНЕГОПЛАВИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Дроздова Анастасия Дмитриевна¹, Смирнова Светлана Васильевна²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет

им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

anastasiya-kuzneczova-1999@list.ru¹, sv.smirnova@gmail.com²

Аннотация: В данной работе решаются такие задачи, как разработка и описание структурно-функциональной схемы, временных диаграмм работы информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установки, а также блок-схемы алгоритма работы устройства.

Ключевые слова: установка снегоплавильная, утилизация снега, структурная схема.

BLOCK DIAGRAM OF THE INFORMATION AND MEASUREMENT CONTROL CHANNEL OF THE MOBILE SNOW MELTING PLANT

Drozдова Anastasia Dmitrievna¹, Smirnova Svetlana Vasilievna²

^{1,2} FSBEI HE "Kazan National Research Technical University named

after A.N. Tupolev - KAI ", Kazan, Russia

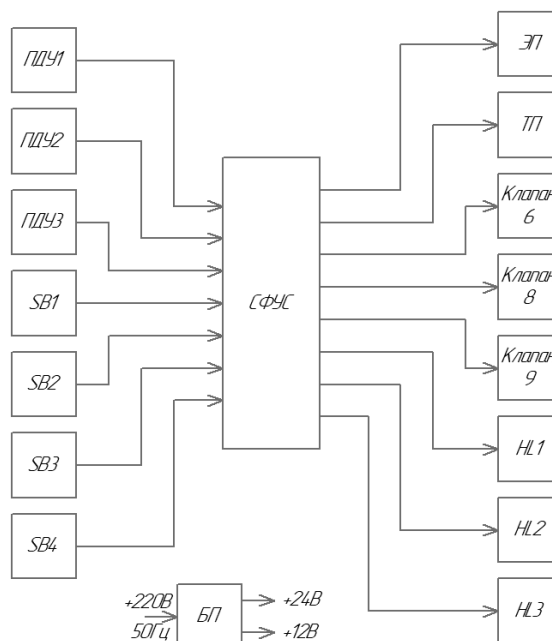
anastasiya-kuzneczova-1999@list.ru¹, sv.smirnova@gmail.com²

Abstract: *This article solves such problems as the development and description of a structural and functional scheme, time diagrams of the information and measurement control channel of a mobile snow melting plant, as well as a flowchart of the device operation algorithm.*

Keywords: *snow melting plant, snow disposal, block diagram.*

Мобильная снегоплавильная установка (патент № 2695676) [1, С.1] предполагает плавление и проведение механической и химической очистки снежных масс [2, С.41], что поможет улучшить экологическую ситуацию [3, С.19].

На рисунке изображена структурно-функциональная схема информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установки. Здесь СФУС – это схема формирования управляющего сигнала, которая включает в себя триггер.



Структурно-функциональная схема информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установки

При нажатии кнопки SB1 запускается термopанель (ТП) снегоплавильной камеры. Жидкость заполняет камеру. Когда жидкость достигает максимального уровня, срабатывает поплавковый датчик уровня ПДУ1. На панель управления поступает информация о заполнении камеры, загорается светодиод HL1. Далее пользователь выбирает программу «без очистки» или «с очисткой» [4, С.198].

Если необходимости в очистке нет, то нажимается кнопка SB4 и открывается электромагнитный клапан 6. Снегоплавильная камера опустошается. При достижении жидкостью нижнего уровня, срабатывает поплавковый датчик уровня ПДУ2, который закрывает клапан 6. На панель управления поступает информация о том, что снегоплавильная камера пуста, о возможности продолжать работу, загорается светодиод HL2.

Если необходима очистка расплавленного снега, то нажимается кнопка SB3, открываются клапаны 8 и 9, запускается электропривод (ЭП) гидронасоса. Снегоплавильная камера опустошается. При достижении жидкостью нижнего уровня, срабатывает поплавковый датчик уровня ПДУ2, который закрывает клапаны 8 и 9, отключает электропривод гидронасоса. На панель управления поступает информация о том, что снегоплавильная камера пуста, о возможности продолжать работу, загорается светодиод HL2.

В камере шлама расположен поплавковый датчик уровня ПДУ3, который срабатывает при достижении загрязнителем максимального

уровня [5, С.99]. На панель управления поступает информация о необходимости освободить камеру шлама, загорается светодиод HL3.

Таким образом, в данной работе разработана структурная схема информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установки, рассмотрен его принцип действия.

Источники

1. Смирнова С.В., Потапов К.А., Мушарапов Р.Н., Мингазетдинов И.Х. Мобильная снегоплавильная установка Патент на изобретение РФ №2695676, 09.01.2018. // Оpubл. 25.07. 2019 г. Бюл. № 21.

2. Кузнецова А.Д., Мушарапов Р.Н., Смирнова С.В. «Проблема загрязнения снежных масс и пути ее решения» // «Химия и инженерная экология – XX»: XX Международная научная конференция (школа молодых ученых), 28-30 сентября 2020 г.: материалы конференции. – Казань: Изд-во ИП Сагиева А.Р., 2020. – С. 39-41. ISBN 978-5-6045150-1-3.

3. Кузнецова А.Д., Смирнова С.В. «Измерение уровня воды в мобильной снегоплавильной установке» // «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве»: VI Национальная науч.-практ. конф., Казань, 10–11 декабря 2020 г.: в 2 т./ редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) и др. Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2020. С. 18-20. ISBN978-5-89873-572-2 (т. 1).

4. Кузнецова А.Д., Смирнова С.В. «Структурная схема блока управления мобильной снегоплавильной установки» // «Тинчуринские чтения - 2021 «Энергетика и цифровая трансформация»»: Международная молодежная научная конференция., Казань, 28–30 апреля 2021 года: в 3 т./ редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) и др. Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2021. С. 197-200. ISBN 978-5-6046580-5-5 (т. 3).

5. Кузнецова А.Д., Мушарапов Р.Н., Смирнова С.В. «Обзор установок утилизации и очистки снега» // «Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов»: XX Международная научно-практическая конференция: материалы конференции. Т. III. Чита: ЗабГУ, 2020. С. 94-99. ISSN 2542-0054.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ СНЕГОПЛАВИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Дроздова Анастасия Дмитриевна¹, Смирнова Светлана Васильевна²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет

им. А.Н. Туполева – КАИ», г. Казань, Россия

anastasiya-kuzneczova-1999@list.ru¹, sv.s.smirnova@gmail.com²

Аннотация: В данной работе решаются такие задачи, как разработка и описание электрической принципиальной схемы информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установки.

Ключевые слова: установка снегоплавильная, утилизация снега, электрическая принципиальная схема.

ELECTRICAL SCHEMATIC DIAGRAM OF THE INFORMATION AND MEASUREMENT CONTROL CHANNEL OF THE MOBILE SNOW MELTING PLANT

Drozдова Anastasia Dmitrievna¹, Smirnova Svetlana Vasilievna²

^{1,2} FSBEI HE "Kazan National Research Technical University named

after A.N. Tupolev - KAI ", Kazan, Russia

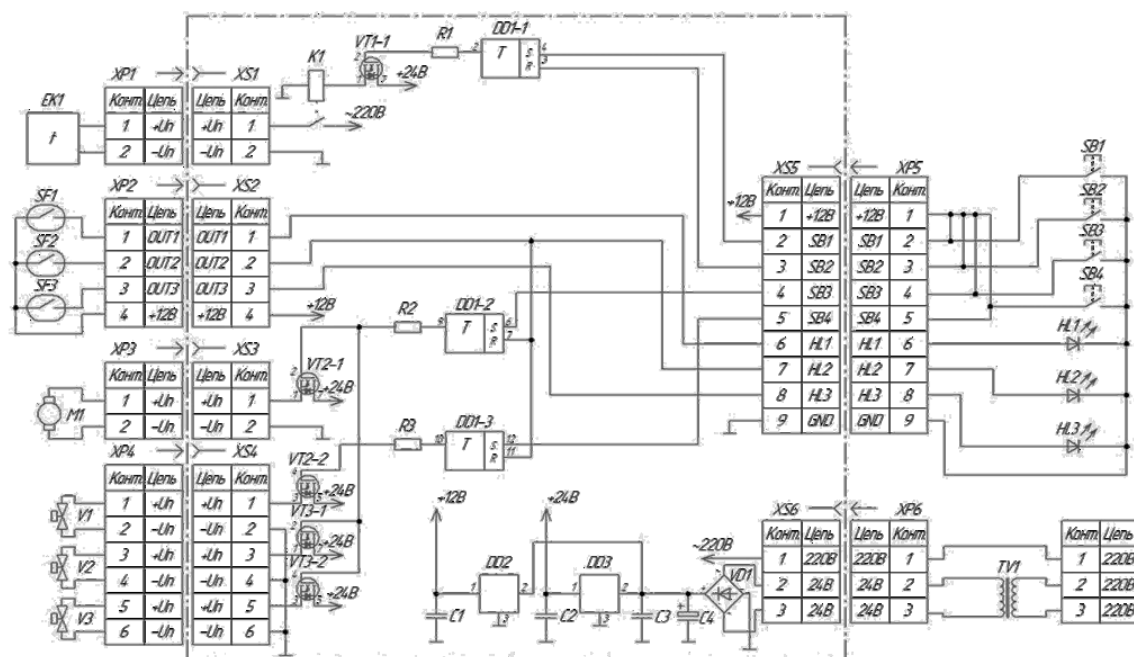
anastasiya-kuzneczova-1999@list.ru¹, sv.s.smirnova@gmail.com²

Abstract: This article solves such problems as the development and description of the electrical schematic diagram of the information and measurement control channel of a mobile snow melting plant.

Keywords: snow melting plant, snow disposal, electrical schematic diagram.

Мобильная снегоплавильная установка (патент № 2695676) [1, С.1] предполагает плавление и проведение механической и химической очистки снежных масс [2, С.41], что поможет улучшить экологическую ситуацию [3, С.19].

На рисунке изображена электрическая принципиальная схема информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установки.



Электрическая принципиальная схема информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установки

В схеме используются такие элементы, как:

EK1 – термopанель, которая представляет собой саморегулирующийся низковольтный нагревательный кабель [4, С.198].

M1 – насос, который нужен для подачи загрязненной жидкости для очистки в двухступенчатый гидроциклон-окислитель.

SF1-SF3 – миниатюрные поплавковые выключатели, которые используются для сигнализации предельного уровня жидкости в снегоплавильной камере и камере шлама мобильной снегоплавильной установки.

V1-V3 – электромагнитные клапаны нормально закрытые, которые открываются при подаче напряжения.

Всего в установке используется три электромагнитных клапана:

- клапан для слива жидкости без очистки;
- клапан для подачи жидкости в двухступенчатый гидроциклон-окислитель;
- клапан для подачи окислителя в двухступенчатый гидроциклон-окислитель.

VT1-VT3 – моп-транзисторы, которые выполняют роль ключа. Через моп-транзисторы подается напряжение на электромагнитные клапаны и насос, тем самым происходит управление их работой.

K1 – реле.

DD1 – микросхема K561TP2, содержащая четыре RS-триггера [5].

Необходимо три RS-триггера:

- для включения/выключения термопанели;
- для включения/выключения программы «с очисткой»;
- для включения/выключения программы «без очистки».

Управление мобильной снегоплавильной установкой осуществляется с помощью панели управления. Панель управления состоит из четырех кнопок и трех ламп. Кнопки SB1-SB4 предназначены для включения/выключения термопанели и выбора программы «с очисткой» или «без очистки». Лампы HL1-HL3 предназначены для сигнализации срабатывания поплавковых датчиков уровня.

Таким образом, в данной работе представлена разработанная электрическая принципиальная схема.

Источники

1. Смирнова С.В., Потапов К.А., Мушарапов Р.Н., Мингазетдинов И.Х. Мобильная снегоплавильная установка Патент на изобретение РФ №2695676, 09.01.2018. // Оpubл. 25.07. 2019 г. Бюл. № 21.

2. Кузнецова А.Д., Мушарапов Р.Н., Смирнова С.В. «Проблема загрязнения снежных масс и пути ее решения» // «Химия и инженерная экология – XX»: XX Международная научная конференция (школа молодых ученых), 28-30 сентября 2020 г.: материалы конференции. – Казань: Изд-во ИП Сагиева А.Р., 2020. – С. 39-41. ISBN 978-5-6045150-1-3.

3. Кузнецова А.Д., Смирнова С.В. «Измерение уровня воды в мобильной снегоплавильной установке» // «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве»: VI Национальная науч.-практ. конф., Казань, 10–11 декабря 2020 г.: в 2 т./ редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) и др. Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2020. С. 18-20. ISBN978-5-89873-572-2 (т. 1).

4. Кузнецова А.Д., Смирнова С.В. «Структурная схема блока управления мобильной снегоплавильной установки» // «Тинчуринские чтения - 2021 «Энергетика и цифровая трансформация»»: Международная молодежная научная конференция., Казань, 28–30 апреля 2021 года: в 3 т./ редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) и др. Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2021. С. 197-200. ISBN 978-5-6046580-5-5 (т. 3).

5. Микросхемы K561TP2 и CD4043A [Электронный ресурс]. <https://www.microshemca.ru/M.K561TR2/> (дата обращения: 28.09.2021).

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕРМОРЕЗИСТОРНОГО АНЕМОМЕТРА

Егоров Всеволод Олегович¹, Малев Николай Анатольевич²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,

г. Казань, Россия

^{1,2}*maleev@mail.ru*

Аннотация: В работе рассматривается терморезисторная анемометрическая система с автоматическим измерительным мостом. Описан принцип работы анемометра, приведена передаточная функция измерительной системы. Проведено моделирование полученной структуры, показана необходимость синтеза корректирующего устройства.

Ключевые слова: анемометр, чувствительный элемент, терморезистор, моделирование.

RESEARCH DYNAMIC PROPERTIES OF THERMISTOR ANEMOMETER

Egorov Vsevolod Olegovich¹, Malev Nikolay Anatolievich²

^{1,2}Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

^{1,2}*maleev@mail.ru*

Abstract: The paper considers a thermistor anemometric system with an automatic measuring bridge. The principle of operation of the anemometer is described, the transfer function of the measuring system is given. The simulation of the resulting system is carried out, the need for the synthesis of the correcting device is shown.

Keywords: anemometer, sensing element, thermistor, simulation.

В настоящей работе исследуется терморезисторный анемометр (анемометр с нагреваемой нитью), предназначенный для измерения слабых потоков воздуха. Чувствительный элемент анемометра представляет собой пару терморезисторов. В одном из резисторов формируется ток, нагревающий его до температуры T_H , превышающей температуру воздуха T_B . Величина тока устанавливается такой, что перегрев $T_H - T_B$ в первом приближении остается постоянным независимо от T_B и от скорости потока воздуха V . При этом мощность теплопередачи W_T определяется формулой [1]

$$W_T = (T_H - T_B)Q(\rho V), \quad (1)$$

где ρ – плотность воздуха; V – скорость потока воздуха; Q – коэффициент, который для заданных геометрических параметров системы и состава газовой смеси однозначно определяется произведением ρV .

Электрическая мощность, выделяемая на резисторе, равна $W_i = rI^2$, т.е. при постоянной температуре T_n справедливо равенство $W_T = W_i$, откуда следует соотношение:

$$I = \sqrt{[(T_n - T_b)Q(\rho V) / r_1]}. \quad (2)$$

Сигнал, формируемый на входе термоанемометра, пропорционален току I , следовательно, является функцией величины ρV , которую можно рассматривать как передаточную функцию $F(\rho V)$ термоанемометра.

Электрическая схема термоанемометра показана на рис. 1. Терморезисторы с отрицательным ТКС типа М85 выполнены на основе никеля, зависимость их удельного сопротивления от температуры приведена на рис. 2. В интервале температур $[T_T \dots T_n]$ эту зависимость можно аппроксимировать линейной функцией (пунктирная прямая на рис. 2, пересекающая температурную ось в точке T_0) [2]. Тогда температурную зависимость сопротивлений r_1 и r_2 можно представить линейными функциями, полагая

$$\begin{aligned} r_1(T) &= w_1(T_T - T_0); \\ r_2(T) &= w_2(T_T - T_0). \end{aligned} \quad (3)$$

где w_1 и w_2 – коэффициенты, определяемые конструкцией резисторов.

Конструкция чувствительного элемента обеспечивает выполнение условия $w_1 \ll w_2$, что эквивалентно $r_1 \ll r_2$. В этой связи при том же напряжении ток, протекающий через r_2 , а, следовательно, и мощность, рассеиваемая на этом резисторе, будут малы по сравнению с аналогичными параметрами для r_1 . Можно считать, что температура резистора не зависит от управляющего напряжения U , а совпадает с температурой окружающей среды T_b [3, 4]. Наличие в схеме термоанемометра этого резистора позволяет осуществить температурную стабилизацию характеристики передачи $F(\rho V)$.

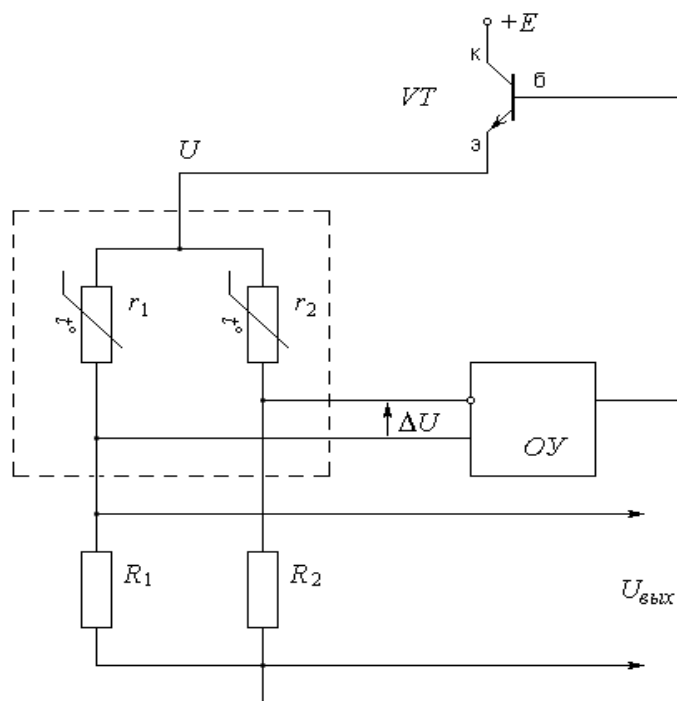


Рис. 1. Электрическая схема термоанемометра

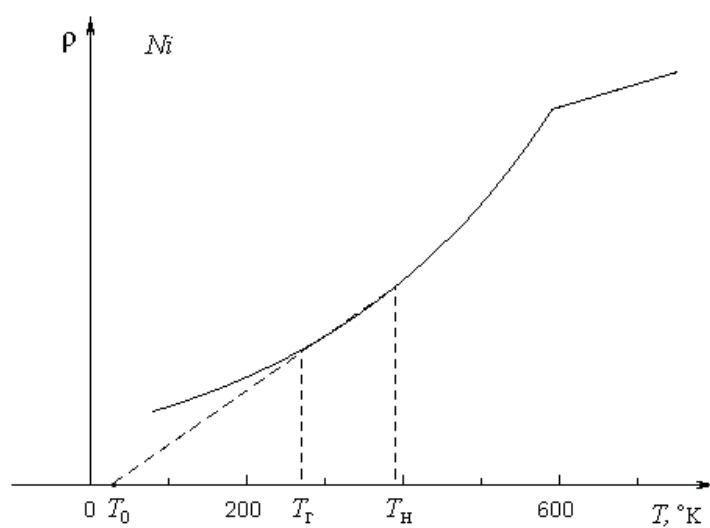


Рис. 2. Температурная зависимость удельного сопротивления терморезистора М85

Передаточная функция измерительной анемометрической системы [5]

$$F(\rho V) = W_t(s) = K \frac{c_3 s^3 + c_2 s^2 + c_1 s + c_0}{c_3 s^3 + (c_2 + Kc_{K2})s^2 + (c_1 + Kc_{K1})s + c_0 + Kc_{K0} + 1}. \quad (4)$$

В уравнении (4) K представляет собой коэффициент усиления обратной связи, зависящий от частоты, параметры c зависят от сопротивлений и индуктивности измерительного моста анемометра.

Приведенная передаточная функция позволяет оценить качество переходного процесса и, при необходимости, скорректировать выходной сигнал анемометра в целях получения плавных изменений регистрируемых значений скорости потока воздуха.

Моделирование производим с применением следующей программы в среде MatLab:

```
c3=1; c2=0.5; c1=6.2; c0=1; ck2=0.0001; ck1=0.004; ck0=0.0144; K=5;
num=[K*c3 K*c2 K*c1 K*c0];
den=[c3 (c2+K*ck2) (c1+K*ck1) (c0+K*ck0) 1];
sys=tf(num, den);
step(sys)
```

Результаты моделирования анемометрической измерительной системы в соответствии с выражением (4) показаны на рисунках 3, 4.

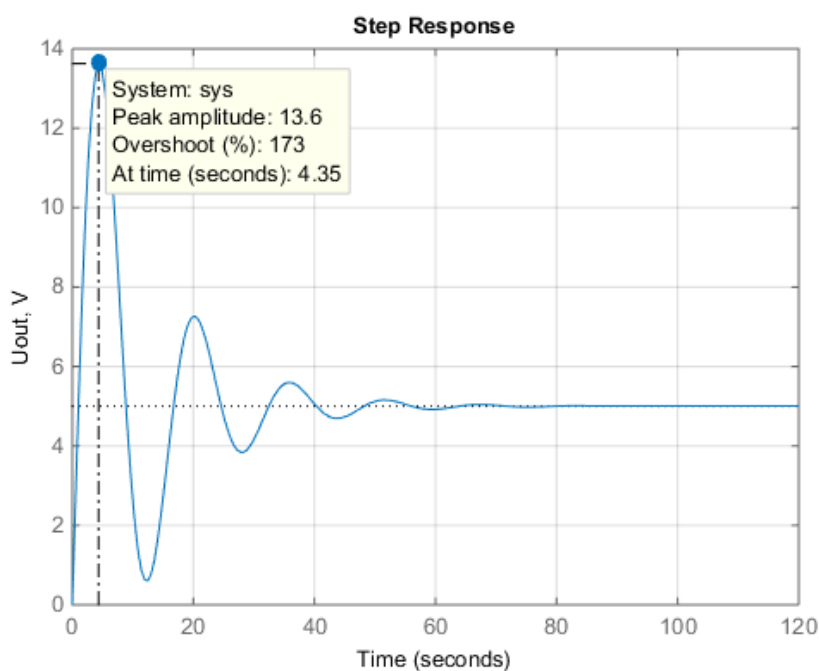


Рис. 3. График переходного процесса терморезисторного анемометра

Из рис. 3 следует, что переходный процесс в исследуемой системе характеризуется существенной колебательностью с перерегулированием около 173% и временем установления около 2 мин. Большой динамический выброс, почти в три раза превышающий выходное напряжение, а также длительное время установления не позволяет эксплуатировать дан-

ную систему для осуществления измерений без применения соответствующих корректирующих устройств.

Источники

1. Ураксеев М.А., Романченко А.Ф., Абдрашитова Д.Р., Шилова С.А. Перспективы термоанемометрических методов измерения расхода газа или жидкости. // Электронный журнал «Исследовано в России». 2001, С. 587-593.
2. Чуйко В.А. Моделирование рабочих характеристик импульсного термисторного термоанемометра //Научные работы Донецкого национального технического университета. Серия: Вычислительная техника и автоматизация.2004. С. 338-342.
3. Перелыгин Д.Н., Толстомятов С.Н., Павлов В.Ф., Дериглазова Е.Д Особенности эффективного использования термоанемометрических расходомеров газовоздушных сред.//Международная научно-практической конференция Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века. Ч.4. БелГТАСМ. 2000. С. 207-210.
4. Голованова Е.В., Толстомятов С.Н., Дахов С.В., Полухин А.В. Экспериментально-теоретическое исследование планарного никелевого термоанемометра в качестве датчика газового расходомера. // Вестник БГТУ, 2013, №4.
5. Малёв Н.А., Абдуллин Ф.Г., Козелков О.В. Моделирование термоанемометрической измерительной системы с учетом пульсаций скорости потока. Сб. материалов V Поволжской научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в ТЭК и ЖКХ». Казань: Казан. гос. энерг. ун-т. 2019. С. 3 – 5.

СИНТЕЗ КОРРЕКТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА АНЕМОМЕТРИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПО ЖЕЛАЕМОЙ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ С АСТАТИЗМОМ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Егоров Всеволод Олегович¹, Малев Николай Анатольевич²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,

г. Казань, Россия

^{1,2}maleev@mail.ru

Аннотация: В работе описан способ синтеза корректирующих устройств по желаемой передаточной функции. Показана процедура аналитического получения модели корректирующего устройства. Проведено моделирование скорректированного анемометра, определены показатели качества и точности измерительной системы.

Ключевые слова: синтез, эталонная модель, корректирующее устройство, измерительная система, анемометр.

CORRECTION DEVICE SYNTHESIS OF THE ANEMOMETRIC MEASURING SYSTEM BY DESIRED REFERENCE MODEL WITH FIRST ORDER ASTATISM

Egorov Vsevolod Olegovich¹, Malev Nikolay Anatolievich²

^{1,2}Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

^{1,2}maleev@mail.ru

Abstract: The paper describes a method for the synthesis of correcting devices for the desired transfer function. The procedure of analytical obtaining of the model of the correcting device is shown. Modeling of the corrected anemometer was carried out, indicators of the quality and accuracy of the measuring system were determined.

Keywords: synthesis, reference model, correcting device, measuring system, anemometer.

Точность измерения и регистрации физических величин, в том числе изменяющихся во времени, является одним из важнейших требований, предъявляемых к автоматизированным измерительным системам. Повышение точности измерений, а также качества динамических характеристик измерительных систем может быть достигнуто за счет применения аналитического либо графоаналитического метода синтеза корректирующего устройства по желаемой эталонной модели $W_{\text{ж}}(s)$ [1, 2, 3].

Определение передаточной функции корректирующего устройства производится по выражению $W_{\text{ку}}(s) = \frac{W_{\text{ж}}(s)}{W_{\text{о}}(s)}$ при известной передаточной функции объекта $W_{\text{о}}(s)$. Полученная в результате деления модель $W_{\text{ку}}(s)$ может быть упрощена путём построения и последующей аппроксимации логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ) асимптотами с получением типового корректирующего устройства $W_{\text{ку}}^*(s)$.

Логарифмические частотные характеристики анемометрической измерительной системы, полученные в соответствии с выражением

$$W_{\text{о}}(s) = W_t(s) = K \frac{c_3 s^3 + c_2 s^2 + c_1 s + c_0}{c_3 s^3 + (c_2 + Kc_{K2})s^2 + (c_1 + Kc_{K1})s + c_0 + Kc_{K0} + 1},$$

представлены на рис. 1.

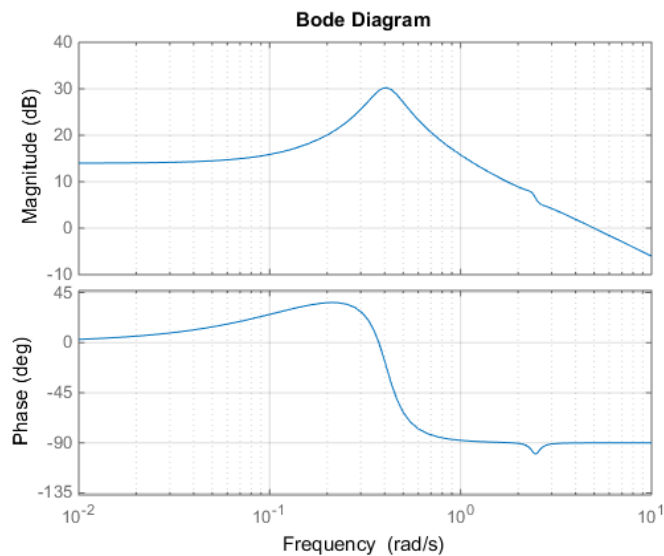


Рис. 1. Логарифмические частотные характеристики анемометрической измерительной системы

Анализ полученных графиков показывает, что система является статической и при изменении измеряемой величины во времени появится кинетическая или динамическая составляющая погрешности, что особенно актуально при измерении скорости потока. Кроме того, наличие резонансного пика на ЛАЧХ говорит о колебательности нескорректированной измерительной системы.

Выберем желаемую передаточную функцию с астатизмом первого порядка с передаточной функцией [4]

$$W_{\text{ж}}(s) = \frac{K_{\Omega}(T_{2\text{ж}}s + 1)}{s(T_{1\text{ж}}s + 1)(T_{3\text{ж}}s + 1)} = \frac{84,853(0,337s + 1)}{s(s + 1)(0,014s + 1)},$$

где $K_{\Omega} = 84,853\text{с}^{-1}$ – добротность по скорости; $T_{1\text{ж}}, T_{2\text{ж}}, T_{3\text{ж}}$ – постоянные времени, зависящие от показателя колебательности и базовой частоты [5].

Определим передаточную функцию $W_{\text{кy}}(s)$ с применением следующей программы в среде MatLab:

```
c3=1; c2=0.5; c1=6.2; c0=1; ck2=0.0001; ck1=0.004; ck0=0.0144; K=5;
num1=[25.820547620150489257 84.852813742385702928];
den1=[1.4490384377903636850*10^-2 1.0144903843779036369 1 0];
sys1=tf(num1, den1);
num2=[K*c3 K*c2 K*c1 K*c0];
den2=[c3 (c2+K*ck2) (c1+K*ck1) (c0+K*ck0) 1];
sys2=tf(num2, den2);
sys1/sys2
ans =
25.82 s^5 + 97.78 s^4 + 203.1 s^3 + 555.5 s^2 + 116.8 s + 84.85
```

0.07245 s^6 + 5.109 s^5 + 7.985 s^4 + 34.02 s^3 + 36.07 s^2 + 5 s

ЛАЧХ корректирующего устройства показана на рис. 2.

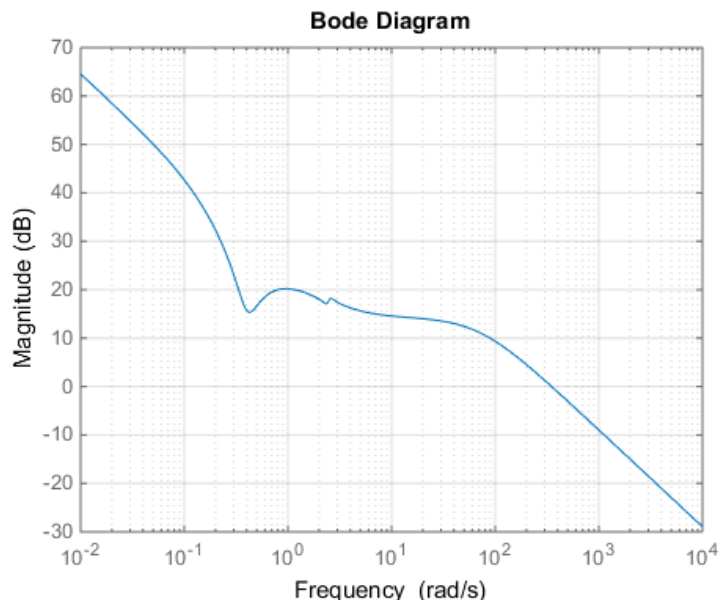


Рис. 2. Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика корректирующего устройства

Низкочастотная и высокочастотная области полученной характеристики имеют наклон – 20 дБ/дек, что соответствует интегрирующим звеньям, однако в зоне рабочих частот ЛАЧХ имеет сложный характер, что сви-

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ 35/6(10) КВ

Галяутдинова Алсу Ренатовна¹, Ившин Игорь Владимирович²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
г. Казань, Россия

¹Alsu296@ya.ru, ²ivshini@mail.ru

Аннотация: Проблема надежности системы электроснабжения в современном мире является одним из главных аспектов обеспечения энергетической безопасности. Применение системы планово-предупредительных ремонтов для поддержания оборудования в работоспособном состоянии становится затратным и неэффективным. Создание системы мониторинга с алгоритмом определения коэффициента экспресс-анализа трансформаторной подстанции в режиме реального времени являются актуальной задачей на сегодняшний день.

Ключевые слова: алгоритм, коэффициент экспресс-анализа, трансформаторная подстанция, онлайн оценка, техническое состояние, оборудование, эффективность.

ALGORITHM FOR DETERMINING THE FACTOR OF EXPRESS ANALYSIS OF TRANSFORMER SUBSTATION 35/6 (10) KV

Galyautdinova Alsu Renatovna¹, Ivshin Igor Vladimirovich²

^{1,2} FSBEI HE «Kazan State Power Engineering University», Kazan, Russia

¹Alsu296@ya.ru, ²ivshini@mail.ru

Abstract: The problem of the reliability of the power supply system in the modern world is one of the main aspects of ensuring energy security. The use of a preventive maintenance system to maintain equipment in working order becomes costly and ineffective. The creation of a monitoring system with an algorithm for determining the coefficient of express analysis of a transformer substation in real time is an urgent task today.

Key words: algorithm, express analysis coefficient, transformer substation, online assessment, technical condition, equipment, efficiency.

В процессе эксплуатации под воздействием различных факторов, условий и режимов работы исходное состояние оборудования непрерывно ухудшается, снижается эксплуатационная надежность и увеличивается вероятность возникновения отказов. Использование системы планово-предупредительных ремонтов для поддержания необходимой эксплуатационной готовности оборудования становится неэффективным [1]. Разработка алгоритма определения коэффициента экспресс-анализа (КЭА) всей трансформаторной подстанции (ТП) 35/6(10) кВ обеспечивает

процесс удаленного наблюдения и контроль состояния действующего оборудования, прогнозирования изменения технического состояния на основе собранных данных.

На основании методики онлайн оценки технического состояния ТП[2] разработаны алгоритмы расчета КЭА для каждого элемента подстанции и всей трансформаторной подстанции. КЭА каждого элемента (трансформатора, высоковольтного выключателя, разъединителя, ОПН, кабельных линий 6 кВ) ТП рассчитывается индивидуально по выбранным параметрам. Каждый измеренный параметр технического состояния оценивается в соответствии с балльной шкалой оценки отклонения фактических значений от предельно-допустимых. Присваивается весовой коэффициент каждому параметру по важности. Для определения весовых коэффициентов применяется метод Саати. Итоговый КЭА определяется по способу соединения элементов ТП. Расчет совокупного КЭА основного технологического оборудования осуществляется по группам (*КЭА Г1* и *КЭА Г2*), по формулам (1) и (2):

$$КЭА Г1 = \sum(КЭА_{Э1} \times B_{Э1}) \quad (1)$$

где $КЭА_{Э1}$ – КЭА элемента, входящего в оцениваемую 1 группу подстанции;

$B_{Э1}$ – весовой коэффициент каждого элемента группы.

$$КЭА Г2 = \sum(КЭА_{Э2} \times B_{Э2}) \quad (2)$$

где $КЭА_{Э2}$ – КЭА элемента, входящего в оцениваемую 2 группу подстанции;

$B_{Э2}$ – весовой коэффициент каждого элемента группы;

КЭА Г1 и *КЭА Г2* – первая и вторая линия трансформаторной подстанции.

Рассмотрим алгоритм определения КЭА разъединителя. Диагностируемым параметром разъединителя является температура фаз. Температура фаз определяется согласно ГОСТ 8024-90 «Аппараты и электротехнические устройства переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Нормы нагрева при продолжительном режиме работы и методы испытаний» [3]. Балльная шкала оценки отклонения фактического значения параметра от предельно допустимого представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Балльная шкала.

Заключение	Температура фаз	Балльная шкала
Нормальное состояние	$t \leq 75$ и/или $(T - T_{\text{возд}}) \leq 40$	4
Аварийный дефект	$t \geq 75$ и/или $(T - T_{\text{возд}}) \geq 40$	0

В данном случае КЭА будет равен либо 0, либо 100. Весовой коэффициент будет равным 1. На рис. 1 представлены получаемые данные от датчиков WDM-T и алгоритм определения КЭА разъединителя показан на рис.2.

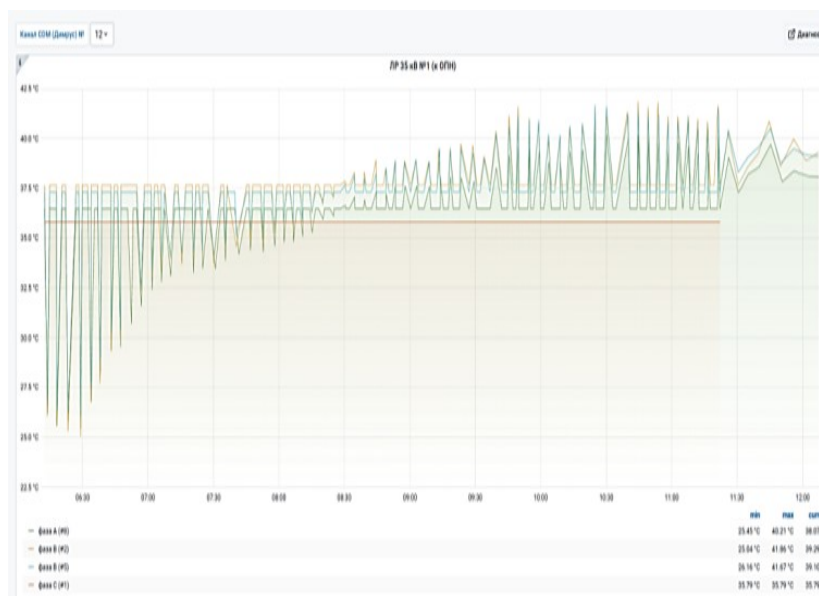


Рис.1. Получаемые данные от датчиков WDM-T

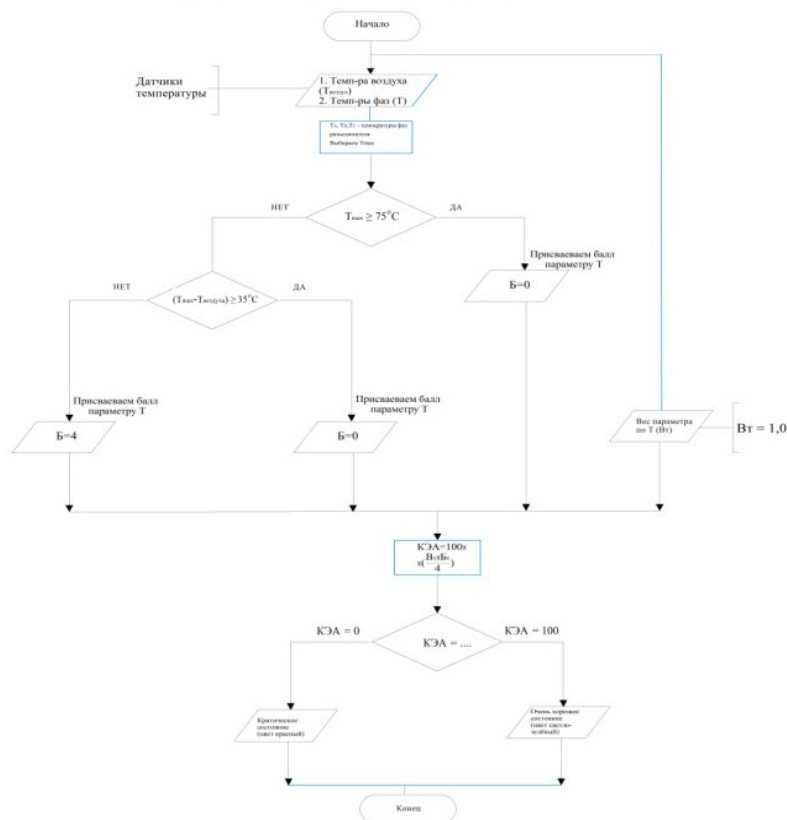


Рис. 2. Алгоритм определения КЭА разъединителя

Таким образом, разработан алгоритм определения КЭА и представлен расчет КЭА одного из оборудования – разъединителя. Алгоритм определения КЭА другого технологического оборудования ТП аналогичен [4]. Разработанная система мониторинга с алгоритмом определения КЭА ТП 35/6(10) кВ позволяют проводить дистанционное обследование в процессе эксплуатации, сократить время восстановления отказавших элементов, поддерживать оборудование в работоспособном состоянии. Система позволяет более эффективно эксплуатировать энергетическое оборудование подстанции и перейти к организации технического обслуживания и ремонта основного электротехнического оборудования ТП по фактическому состоянию.

Источники

1. Ившин И.В., Галяутдинова А.Р., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф. Оценка работоспособности трансформаторной подстанции по результатам экспресс-мониторинга ее элементов // Сборник материалов VI Национальной научно-практической конференции Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве, Казань, 10-11 декабря 2020 г., Казань, 2020. Т. 2. С.33-35.
2. Ившин И.В., Галяутдинова А.Р., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф. Система мониторинга и экспресс-анализа основного оборудования трансформаторной подстанции 35/6(10) кВ // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. Серия Технические науки и технологии, №1 (134)/2021 – С. 100-106.
3. ГОСТ 8024-90 Аппараты и электротехнические устройства переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Нормы нагрева при продолжительном режиме работы и методы испытаний. [Текст]. - Введ. 1991.01.01. - М.: Издательство стандартов, 1990. – С. 10.
4. Rozhentcova N.V., Galyautdinova A.R., Khayaliev R. A. et al. Automated Diagnostic System for Power Transformers using a QR Code // International Journal of Technology. 2020. Vol. 11(8). pp. 1519-1527.

Научное издание

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ
И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

VII Национальная научно-практическая конференция
(Казань, 9-10 декабря 2021г.)

Корректоры: С.Н. Валеева, О.В. Цветкова

Компьютерная верстка: О.В. Цветкова

Дизайн обложки: Ю.Ф. Мухаметшина

Подписано в печать 18.03.2022 г. Тираж 30. Заказ № 5249

Формат 60 84/16. Усл. печ. л. 47,9. Уч. изд. л. 34,04.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51.