

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

УДК 681.51

## СОЗДАНИЕ МОДУЛЕЙ ЗВУКОВОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ПОДСИСТЕМ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ КОНВЕЙЕРОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ТОРФА

О.Л. АХРЕМЧИК, д-р техн. наук, И.И. БАЗУЛЕВ, ст. преп.

Тверской государственной технической университет,  
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, email: axremchic@mail.ru

© Ахремчик О.Л., Базулев И.И., 2024

Представлены результаты, полученные в ходе разработки модулей звуковой сигнализации систем управления производством смесей на основе торфа. Выделены задачи, решаемые в ходе контроля, сигнализации и управления технологическими конвейерами. Приведен пример функциональной схемы автоматизации привода конвейера для подачи торфа, определены его состояния. Предложено математическое описание звуковых тональных сигналов для оператора с введением классов состояний, сигналов и реакций на сигнал. Отмечено, что алгоритм формирования сигнала включает выбор вида и параметров сигнала по производственным правилам. Приоритет звукового сигнала рассмотрен как один из параметров. Подчеркнуто, что коррекция параметров происходит на основе оценки реакции оператора на сигнал; добавление к основной частоте звука вариации приводит к изменению спектра сигнала при оценке времени реакции и ошибок оператора.

*Ключевые слова:* модуль, параметр, класс, конвейер, звуковой сигнал, сигнализация, система, реакция, частота.

**DOI: 10.46573/2658-5030-2024-3-81-90**

### ВВЕДЕНИЕ

Истощение почв в процессе выращивания сельскохозяйственной продукции требует постоянного возобновления плодородия путем внесения органоминеральных смесей. В Тверской области исторически одним из компонентов смеси является торф, который представляет собой полидисперсную многокомпонентную систему с разной дисперсностью твердой части. Полтора десятилетия назад при научно-техническом совете Минсельхоза РФ в Тверском государственном техническом университете функционировала рабочая группа, деятельность которой была ориентирована на внедрение в сельскохозяйственное производство субъектов РФ инновационных технологий использования торфа и продуктов его переработки [1]. Идея проектирования «пилотных цехов» по выпуску торфяных смесей остается актуальной и в настоящее время.

Базовым подходом к построению цеха или завода по выпуску торфяных смесей на текущий момент является модульность [2]. Конвейеры – это обязательный модуль (составляющая оборудования). Например, при производстве биокомпостов используются ленточные, цепочно-планчатые и шнековые конвейеры и питатели

(типов КЛП-500, Ш1-П1312А, ТС-40, ТПН-Ф-40 и пр.) с производительностью от 30 до 120 т/ч [1]. Простой конвейерного оборудования приводит к нарушению ритмичности работы технологических линий цеха, снижению производительности и повышению стоимости единицы объема смеси. Время восстановления процесса транспортировки после незапланированного останова существенно влияет на коэффициенты надежности линий (готовности, вынужденного простоя, профилактики) [3]. Анализ причин простоев конвейеров в линиях по производству торфа и продуктов на его основе показывает, что зачастую останов происходит после вмешательства оператора (ручного отключения). Уменьшить среднее время восстановления можно за счет правильных действий оператора и сокращения числа его вмешательств в работу конвейерных линий на основе формирования сообщений сигнализации о состоянии конвейеров.

### ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Авторами предпринята попытка предложить конструкторские решения по созданию модулей подсистем аварийно-предупредительной сигнализации систем управления производством смесей. Цели заключаются в сокращении числа отключений операторами конвейерного транспорта и минимизации времени на выполнение последовательности действий, связанных с отключением одного из конвейеров технологической цепочки.

В статье рассматривается и принимается положение о том, что подсистема мониторинга и сигнализации является сложной технической системой, которая обнаруживает отклонения, оповещает оператора о нежелательных событиях. Согласно стандарту ANSI/ISA-18.2-2016, «система сигнализации представляет собой совокупность аппаратного и программного обеспечения, которое обнаруживает состояние тревоги, передает информацию об этом состоянии операторам и регистрирует изменения в состоянии» [4]. Основной упор в существующих системах анализа сигналов делается на задействовании зрительного канала при поступлении разнообразных производственных и контрольных сигналов тревог [4, 5]. Программно-техническая реализация формирования сигналов подсистемы сигнализации на торфяном производстве происходит с использованием SCADA-систем (например, на заводе переработки торфа компании Rucianka, Польша) [5]. Российские разработчики рекомендуют запись в лог-файл всех действий оператора при срабатывании сигнализации в SCADA-системе [6]. В то же время при схемотехническом проектировании модулей сигнализации задача выбора вида и параметров сигналов отечественными исследователями не ставится [7].

Под модулем сигнализации в настоящей статье понимается целевой функциональный узел, объединяющий интеллектуальную инженерную составляющую и технологию ее реализации и способный работать как автономно, так и в составе оборудования линии [2]. Модуль является частью функциональных и обеспечивающих подсистем автоматизированных систем управления технологическими процессами и производствами. Основной функцией модуля подсистемы звуковой сигнализации выступает формирование аварийного и (или) предупредительного звукового сигнала.

Объект исследования – процесс формирования сигнализаций при производстве смесей на основе торфа. Предметом исследования выступают классы событий, состояний и задач, рассматриваемых при функционировании подсистемы аварийно-предупредительной сигнализации. Методология исследования основана на процедурах анализа, синтеза и рационального выбора математического и алгоритмического обеспечений модулей системы управления процессом производства торфяных смесей.

## **КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОНВЕЙЕРОМ В ЦЕХЕ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СМЕСЕЙ**

В ходе производства торфяных смесей на модули контроля, сигнализации и управления технологическими конвейерами возлагаются задачи дистанционного управления пуском-остановом конвейеров с локального и удаленного пультов при выборе маршрута перемещения компонентов торфяной смеси; автоматического формирования и подачи звукового предупредительного сигнала перед пуском конвейера, который должен отключаться через установленное время или при несостоявшемся пуске; выдачи звуковых сигналов при запуске конвейеров по маршруту перемещения компонентов в разветвленной технологической линии; запуска части конвейерной линии при наличии неработающих конвейеров; автоматического контроля и формирования сообщений о параметрах ленты конвейера (в частности, скорости движения ленты); пуска каждого последующего конвейера линии только после достижения предыдущим конвейером заданной скорости; контроля и сигнализации наличия груза на конвейере; контроля параметров состояния электродвигателей привода конвейера; экстренного прекращения пуска и останова конвейера из любой точки по его длине с наложением тормозов в момент отключения конвейера или при обрыве ленты (цепи), при завале бункера перегрузочного устройства и превышении номинальной скорости ленты; автоматического аварийного отключения конвейера при отсутствии сигнала о достижении заданной скорости при пуске, снижении скорости во время работы несущего полотна или тяговой цепи до 75 % от номинальной, при недопустимом перегреве приводных барабанов, опорных подшипников, сходе ленты в сторону, завале мест перегрузки и неисправностях цепей управления с отключением всех конвейеров, транспортирующих груз на остановившийся конвейер.

Сигналы аварийного отключения конвейера сопровождаются выдачей аварийного звукового оповещения и сохраняются до ручной деблокировки по месту аварии во всех случаях. Модуль сигнализации обеспечивает формирование уведомительных сообщений о числе конвейеров, работающих в цехе, с указанием на блоках управления неисправного состояния конвейера.

В ходе исследования процесса управления конвейерными линиями цеха по производству торфяных смесей выявлены характерные особенности:

- 1) периодическое появление прерывистого потока материалов на конвейерах (связано с возможными поломками, завалами или засорениями);
- 2) периодическое повышение температуры подшипников и (или) электродвигателей (свидетельствует об изменении режима работы и появлении потенциальной причины останова конвейера);
- 3) периодическое нахождение людей или посторонних предметов на конвейерной линии (может привести к аварийным ситуациям и травмам);
- 4) периодическое пропадание напряжения питания или превышение фазного тока электродвигателей;
- 5) наличие особых требований к торфу как веществу высокой пожарной опасности и необходимости дополнительного контроля воспламенений с формированием звукового сигнала об эвакуации;
- 6) неритмичная поставка к оборудованию материалов и компонентов смеси, требующая дополнительной загрузки и реагирования со стороны персонала;
- 7) частые останovy конвейеров с нарушением последовательности включения после останова.

Фрагмент функциональной схемы автоматизации привода конвейера технологической линии с использованием двух трехфазных электродвигателей

переменного тока в первом приближении имеет несколько информационно-управляющих каналов (рис. 1). Каналы 1–4 служат для передачи данных о параметрах электродвигателей (каналы 1, 2 – для контроля температуры железа и обмоток двигателя по показаниям преобразователей 1-1 и 2-1); каналы 3, 4 предназначены для передачи данных о скорости вращения двигателей по показаниям тахометров (поз. 3-1, 4-1). Канал 6 обеспечивает контроль схода или излома полотна конвейера (датчик излома 6-1). Каналы 7 и 8 предназначены для обнаружения отклонений в цепях электропитания (изменения силы тока (поз. 7-1) и напряжения (поз. 8-1)). Датчики температуры опорных подшипников на схеме не показаны. Пуск и останов электродвигателей *M* обеспечивается с помощью коммутационной аппаратуры. Как правило, это магнитные пускатели или реле плавного пуска (поз. 5-3, 5-4). Преобразователи (поз. 1-2, 2-2, ..., 8-2) используются для кодирования и дистанционной передачи измерительных сигналов в распределенной системе управления.

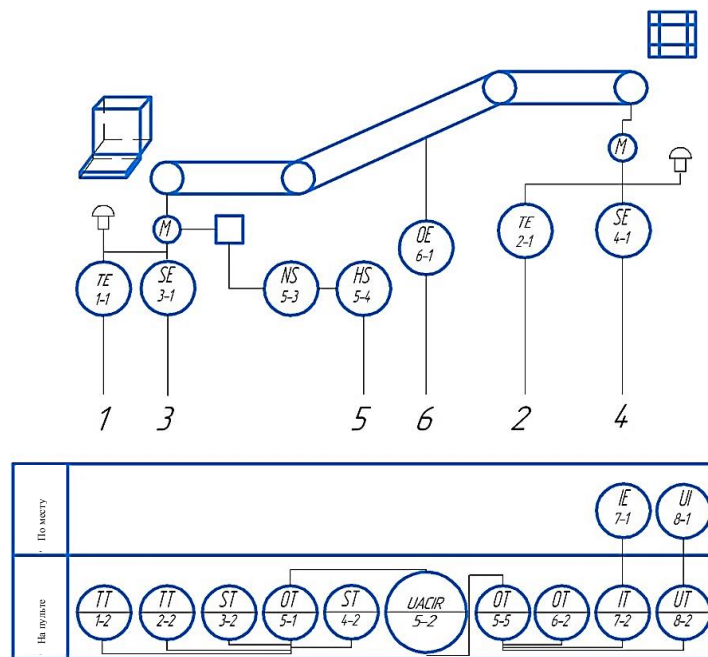


Рис. 1. Функциональная схема автоматизации привода конвейера

Исследователи из Кузбасского государственного технического университета дополнительно предлагают осуществлять контроль времени воспроизведения сигналов аварийной и предупредительной сигнализации [8], а авторы настоящей статьи – времени реакции оператора при срабатывании сигнализации.

Расчетно-формирующее устройство модуля сигнализации (см. поз. 5-2 на рис. 1) обеспечивает реализацию функций сигнализации, управления и регистрации. В устройстве возможен расчет интегральных показателей (например, мощности привода по значениям тока и напряжения) с формированием сигналов сигнализации о выходе технико-экономических показателей производственного процесса в недопустимую зону.

Множества состояний конвейера могут быть выражены следующим образом:

$$C = \{C1; C2\}, C1 = \{C11; C12; C13\}; C2 = \{C21; C22; C23\},$$

где  $C_1$  – множество состояний процесса производства смесей;  $C_2$  – множество состояний оборудования;  $C_{11}$  – множество состояний при нормальной подаче сырья;  $C_{12}$  – множество отклонений параметров подачи сырья от нормы;  $C_{13}$  – множество состояний отказа;  $C_{21}$  – множество состояний оборудования в норме;  $C_{22}$  – множество состояний с отклонениями режимов работы оборудования от нормы;  $C_{23}$  – множество состояний отказа оборудования.

В указанные множества не входят состояния чрезвычайной ситуации, угрожающие здоровью и жизни персонала.

При ранжировании особенностей по степени угрозы оборудованию, жизни и здоровью операторов использованы три градации: высокая, средняя, низкая. Данным градациям присваиваются уровни приоритета при формировании звуковых сигналов в модулях сигнализации. Приоритет относится к параметрам сигнала: высокий (P1) соответствует звуковому сигналу аварийного останова и эвакуации персонала в случаях пожара и чрезвычайных ситуаций; средний (P2) присваивается звуковому аварийному сигналу о наличии предельных отклонений в работе конвейеров; низкий (P3) соответствует звуковому сигналу предупредительной сигнализации. Уведомительные сигналы звуком не сопровождаются и приоритета не имеют.

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ В МОДУЛЕ СИГНАЛИЗАЦИИ**

Множество звуковых сообщений информационного поля аварийно-предупредительной сигнализации можно представить следующим образом:

$$\text{InF} = \{S_0, S_1, S_2, S_{12}\}, \quad (1)$$

где  $\text{InF}$  – информационное поле состояния конвейерных линий;  $S_0$  – отсутствие звукового сигнала;  $S_1$  – речевой сигнал;  $S_2$  – тональный сигнал;  $S_{12}$  – комбинированный сигнал.

Элементы множества (1) определяются на основе идентификации состояния конвейера. Входные сигналы модуля сигнализации имеют гетерогенную природу [9]. При этом аргументы в выражениях формирования сигналов имеют вид триплетов, включающих идентификатор, метку времени, значение параметра [9].

Расширим теоретико-множественное представление звукового тонального сигнала, формируемого модулем сигнализации:

$$S_2 = \langle \text{ID}, \text{Time}, \text{P}, \text{Event class}, \text{Signal class}, \text{Value}, \text{Action class}, \text{Archive} \rangle, \quad (2)$$

где  $\text{ID}$  – идентификатор;  $\text{Time}$  – метка времени;  $\text{P}$  – уровень приоритета;  $\text{Event class}$  – класс состояний конвейера;  $\text{Signal class}$  – класс сигнала;  $\text{Value}$  – значение;  $\text{Action class}$  – класс реакций на сигнал;  $\text{Archive}$  – отметка об архивировании.

В выражении (2) неявно присутствует причинно-следственная связь классов событий и классов сигналов. Необходимость учета этой связи является базовой при формировании сигналов [9].

Дополним класс событий, требующих контроля и фиксации реакции оператора на звуковой сигнал в системах типа SCADA:

$$\text{Action class} = \langle \text{Alarm}, \text{Warning}, \text{Event}, \text{Action} \rangle,$$

где  $\text{Alarm}$  – класс реакций на аварийные события, требующий квитирования;  $\text{Warning}$  – класс реакций на срабатывание предупредительной сигнализации, требующий

квитирования; Event – уведомительные сообщения, не требующие квитирования; Action – события, связанные с действиями оператора.

Класс Action class в выражении (2) включает подклассы реакций со стороны оператора и реакций со стороны оборудования и системы управления. Время реакции оператора на звуковой сигнал при квитировании, формировании решения об останове и блокировке T можно выразить следующим образом:

$$T = T_{ав} + T_{п} + T_{в} + T_{р},$$

где  $T_{ав}$  – время формирования отклонений в измерительных цепях;  $T_{п}$  – время формирования сигнала в модуле;  $T_{в}$  – время воспроизведения;  $T_{р}$  – время идентификации сообщения оператором и принятия решения о классе действий.

Процедура формирования сигнализации в соответствии с классом ситуации реализуется на основе продукционных правил (ПП). Перейдя к формализации синтагм естественного языка, можно записать:

$$ПП = \langle \text{class, L, A} \Rightarrow \text{B, Q} \rangle, \quad (3)$$

где class – описание класса ситуаций; L – условие, при котором правило активизируется;  $A \Rightarrow B$  – ядро, в котором A и B являются посылкой и следствием для формирования сигнала; Q – постусловие.

Наиболее часто используют сокращенные ПП вида «если A то B», которые могут быть дополнены логическими выражениями, определяющими иницируемые процедуры в случае отсутствия ее активности: «если A то B1 иначе B2».

Применительно к модулю сигнализации следует расширить правила (3) в части наследования класса ситуаций с реакцией оператора (системы) на сформированный сигнал [10]. В простейшем случае рассматривается наличие подтверждения получения сигнала (квитирование) посредством нажатия кнопки мыши на изображении конвейера на пульте оператора. В посылки правил (3) включаются приоритеты событий.

В общем случае может быть выделено до 10 значений приоритетов:

$$P2 = \{P2.1; P2.2; P2.3; \dots P2.10\}; \quad P3 = \{P3.1; P3.2; P3.3; \dots P3.10\},$$

где P2 – группа приоритетов при формировании аварийных сигналов; P3 – группа приоритетов при формировании предупредительных сигналов.

Группа приоритетов P1 соответствует сигналам об эвакуации и чрезвычайной ситуации. Приоритеты в каждой группе расположены в порядке их уменьшения. Присвоение приоритетов сигналам осуществляется с помощью модифицированных правил (3) на основе отклонений числа G ошибочных действий оператора, отраженных в лог-файле модуля сигнализации:

«ЕСЛИ»  $G = \min$ , «ТО»  $\text{Sig1} \Rightarrow P2$  -- {виду звукового сигнала Sig1 присваивается «Средний» приоритет};

«ЕСЛИ»  $G = \min + 1$ , «ТО»  $\text{Sig2} \Rightarrow P3$  -- {виду звукового сигнала Sig2 присваивается «Низкий» приоритет};

«ЕСЛИ» Sig1 «И»  $t = \min$ , «ТО»  $\text{Sig1.1} \Rightarrow P2.1$  -- {сигналу Sig1.1 соответствует самый высокий приоритет в классе аварийных сигналов};

.....  
«ЕСЛИ» Sig1 «И»  $t = \max$ , «ТО»  $\text{Sig1.10} \Rightarrow P2.10$  -- {сигналу Sig1.10 соответствует самый низкий приоритет в классе аварийных сигналов};

«ЕСЛИ» Sig2 «И»  $t = m_i + 1$ , «ТО» Sig2.1=>P3.1 -- {сигналу Sig2.1 соответствует самый высокий приоритет в классе предупредительных сигналов};

.....  
 «ЕСЛИ» Sig2 «И»  $t = \max$ , «ТО» Sig2.10 = P3.10 -- {сигналу Sig2.10 соответствует самый низкий приоритет в классе предупредительных сигналов}.

Соотнесение сигналов аварийно-предупредительной сигнализации с конкретным человеком-оператором происходит во время тестирования модулей на этапе аутентификации с определением времени реакции  $t$  [10]. В отличие от ранее используемой методики тестирования выбор вида сигнала на текущий момент осуществляется по минимаксному критерию. В классе звуковых сигналов Signal class используются тональные сигналы с частотой от 200 до 5 000 Гц [11]:

$$\text{Value} = A(\lambda, t) \sin((f + \Delta f) + \psi(\lambda, t)), \quad (4)$$

где  $A(\lambda, t)$ ,  $f$ ,  $\psi(\lambda, t)$  – амплитуда, частота и фаза звукового сигнала соответственно;  $\lambda$  – функция времени;  $t$  – время;  $\Delta f$  – вариация частоты.

Модель сигнала представляет собой описание последовательности формируемых через промежутки времени  $T_\Delta$  сигналов  $S_{i3p}$  с разными параметрами (приоритетом, частотой, амплитудой):

$$\langle B; T_\Delta; S_{13p} \text{AND} S_{13B}; T_\Delta; S_{23p} \text{AND} S_{23B}; T_\Delta; \dots; S_{i3p} \text{AND} S_{i3B} \dots \rangle.$$

Сообщение оператору в SCADA-системе включает изображение и звуковой сигнал:

$$I = \langle S_{i3p}; S_{i3B}; \tau_i; B \rangle; S_i = \langle A\tau_i; T_i \rangle,$$

где  $I$  – сообщение оператору;  $i$  – индекс, соответствующий шагу в последовательности предъявления сообщений;  $S_{i3p}$ ,  $S_{i3B}$  – составляющие сообщения, воздействующие на зрительный и слуховой рецепторы оператора;  $\tau_i$  – время между появлением отдельных сообщений;  $B$  – фон (характеристики окружающей среды) предъявления сообщения;  $A\tau_i$  – параметры сигналов;  $T_i$  – время нахождения сообщения в информационном поле.

### **АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНАЛЬНЫХ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ**

Схема алгоритма формирования тональных звуковых сигналов основана на использовании выражений (2) и (4) (рис. 2). Базовыми параметрами  $A\tau_{i3B}$  звукового сигнала являются приоритет, громкость, частота, скважность.

В процессе идентификации состояния конвейера в модуле сигнализации определяется класс ситуаций Event class и подбирается вид сигнала Signal class из базы данных сигналов. Формирование параметров сигнала происходит на основе выражения (4) и зависит от класса реакций на сигнал Action class. В случае отсутствия ошибочных действий оператора воспроизводится сигнал выбранного вида с рассчитанными параметрами. При превышении времени реакции или наличии недопустимых действий оператора осуществляется изменение параметров (в первую очередь частоты) сигнала. При попадании рассчитанных значений параметров сигнала в установленные пределы формируется и воспроизводится измененный звуковой сигнал. В случае выхода параметров за регламентируемые нормы вырабатывается воздействие на изменение вида сигнала из класса Signal class. Параметры и виды сигналов подбираются в зависимости от классов состояний конвейера и классов

реакций оператора. Прежде всего формируются сигналы с высшим уровнем приоритета.

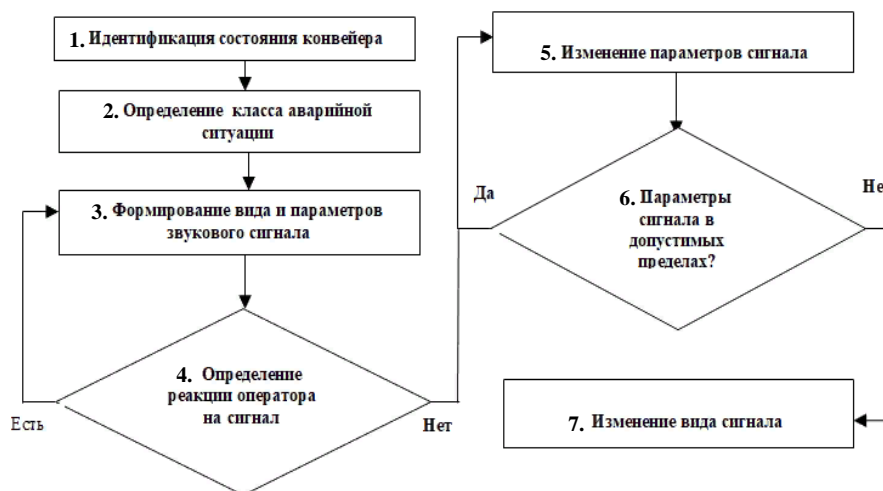


Рис. 2. Схема алгоритма формирования звукового сигнала в модуле сигнализации

Определение значений частоты  $f$  и вариации  $\Delta f$  в выражении (4) относится к задачам параметрического синтеза из условий снижения времени реакции и количества ошибок при изменении информационных полей системы управления производством смесей. Расчет и формирование звукового сигнала по выражению (4) с вариацией частоты  $\Delta f$  в модуле сигнализации на основе отклонений числа  $G$  ошибочных действий приводят к тому, что спектр сигнала расширяется при сохранении базовой частоты  $f$ , рекомендуемой нормативными документами для разных видов сигналов. Например, для частоты предупредительного сигнала 800 Гц амплитуда  $A$  максимальна на этой частоте при отсутствии ошибок в действиях (рис. 3а). Добавление вариаций  $\Delta f$  приводит к появлению дополнительных составляющих в спектре (рис. 3б), что позволяет оператору провести экспресс-оценку наличия ошибочных действий  $G$  в реакции на сигнал. При снижении числа  $G$  ошибочных действий до 0 вариация  $\Delta f$  в модуле сигнализации уменьшается, изменяя тональность сигнала.

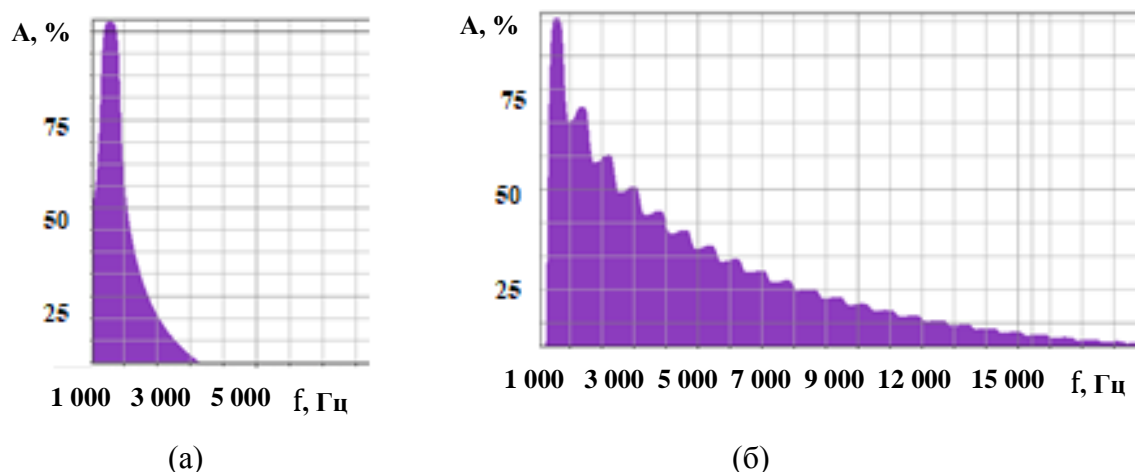


Рис. 3. Спектр звукового сигнала при отсутствии ошибок оператора (а); неправильных действиях оператора (б)



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наличие многообразных питателей и конвейеров в составе оборудования для производства питательных смесей и продуктов из торфа требует минимизации вмешательства операторов в работу линий. Предлагаемые способ описания и алгоритм формирования звуковых тональных сигналов о работе конвейеров и движении потоков являются основой информационного, математического и программного обеспечений подсистемы сигнализации. Автоматический выбор вида и параметров звукового сигнала в соответствии с классами состояний конвейера и реакций оператора на сигнал позволяют для распределенного объекта управления провести экспресс-оценку правильности действий. Использование приоритета и частоты сигналов в качестве базовых устанавливаемых параметров дает возможность формировать индивидуальные наборы тональных звуковых сигналов в соответствии с регламентируемыми нормами для аварийно-предупредительной сигнализации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Петрунина В.А., Кутровский В.Н. Производство биокомпоста на основе торфа // *Агрехимический вестник*. 2010. № 5. С. 37–38.
2. Сорокин К.Н. Математическая модель для разработки технологической линии по производству гуминовых удобрений на основе модульного оборудования // *Агроинженерия*. 2022. № 3. С. 19–26.
3. Черемушкина М.С., Соловьев В.А. Построение системы диагностики конвейерного транспорта // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2010. № 3-3. С. 202–207.
4. Alarm management techniques to improve process safety / F. Yang [et al.] // *Methods in Chemical Process Safety*. 2022. V. 6. P. 227–280.
5. Trace mode scada/HMI controls peat product production in Poland. URL: <http://www.scadatm.com/products/overview/lib/news/peat/> (дата обращения: 21.02.2024).
6. Коровиков А.Г., Павлов В.М., Ольховик Д.А. Программный модуль предупредительной сигнализации, аварийной защиты и помощи оператору вакуумной системы токамака КТМ // *Известия Томского политехнического университета*. 2013. № 5. С. 88–92.
7. Осокина Е.Б., Баленко К.А., Микушина А.А. Моделирование микроконтроллерной системы аварийно-предупредительной сигнализации // *Эксплуатация морского транспорта*. 2021. № 4. С. 197–205.
8. Каширских В.Г., Медведев А.Е. Компьютерная система управления конвейерной линией // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2005. № 6. С. 51–55.
9. Caproni A. Integrated alarm system architecture. URL: [https://integratedalarmsystem-group.github.io/docs/ESO-293482\\_2%20Integrated%20Alarm%20System%20Architecture.pdf](https://integratedalarmsystem-group.github.io/docs/ESO-293482_2%20Integrated%20Alarm%20System%20Architecture.pdf) (дата обращения: 21.02.2024).
10. Ахремчик О.Л. Направление расширения функциональных возможностей промышленных контроллеров при взаимодействии с пользователем // *Промышленные АСУ и контроллеры*. 2017. № 9. С. 59–64.
11. Ахремчик О.Л., Базулев И.И. Характеристики аварийных и предупредительных звуковых сигналов при управлении технологическими процессами // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2018. Вып. 33. С. 15–17.

**Для цитирования:** Ахремчик О.Л., Базулев И.И. Создание модулей звуковой сигнализации для подсистем контроля состояния конвейеров при производстве смесей

на основе торфа // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2024. № 3 (23). С. 81–90.

## **CREATION OF AUDIO ALARM MODULES FOR CONVEYOR STATE MONITORING SUBSYSTEMS IN THE PEAT-BASED MIXTURE PRODUCTION**

O.L. AKHREMCHIK, Dr. Sc., I.I. BASULEV, Senior Lecturer

Tver State Technical University,  
22, Af. Nikitin emb., 170026, Tver, e-mail: axremchic@mail.ru

The results obtained in the course of development of sound signaling modules of control systems for production of peat-based mixtures are presented. The tasks solved in the course of monitoring, signaling and control of technological conveyors are highlighted. An example of the functional scheme of automation of the conveyor drive for peat feeding is given and its states are defined. A mathematical description of sound tones for the operator with the introduction of classes of states, signals and reactions to the signal is proposed. It is noted that the algorithm of signal formation includes the choice of signal type and parameters by production rules. The priority of the sound signal is considered as one of the parameters. It is emphasized that the correction of parameters is based on the estimation of the operator's reaction to the signal; the addition of variation to the basic frequency of sound leads to a change in the signal spectrum when estimating the reaction time and operator's errors.

*Keywords:* module, parameter, class, conveyor, beep, alarm, system, reaction, frequency.

Поступила в редакцию/received: 16.03.2024; после рецензирования/revised: 20.03.2024;  
принята/accepted: 26.03.2024

УДК 681.51

## **ПОСТРОЕНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ КОНЕЧНЫМ СОСТОЯНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

В.В. БОРОВИК, магистр, И.А. ЕГЕРЕВА, канд. техн. наук,  
П.М. СМIRНОВА, магистр

Тверской государственный технический университет,  
170026, Тверь, наб. Никитина, 22, e-mail: refhesx@mail.ru

© Боровик В.В., Егерев И.А., Смирнова П.М., 2024

Разработаны алгоритмы управления конечным состоянием нечеткой динамической системы. Для этого рассмотрена система управления, в которой пространство состояний системы представляет собой компактное метрическое пространство. Пространство управлений рассматриваемой системы также является компактным метрическим пространством. Для построения данных алгоритмов эволюция системы была описана как нечеткое отношение, представленное в произведении пространств управления и состояния системы. Данное отношение задано нечетким множеством с