



СБОРНИК НАУЧНЫХ
СТАТЕЙ

Выпуск XIV



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"
Институт радиотехнических систем и управления

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМОТЕХНИКИ

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

Выпуск XIV

Таганрог
2020

УДК 681.51(06)

Редакционная коллегия:

Потипак М.В., Лобач В.Т., Корниенко В.Т. (отв. редактор)

Коллектив авторов: Проблемы современной системотехники –сборник научных статей. – Таганрог: Изд-ль ИП Ступин С.А, 2020. – 162 с.

ISBN 978-5-9500797-3-9

Сборник содержит статьи молодых ученых, аспирантов, студентов и их руководителей по вопросам системотехники, дистанционного радиомониторинга, радиолокации и радионавигации, радиоэлектронной разведки и радиопротиводействия, комплексных систем охраны и безопасности объектов. Рассмотрены принципы построения и использования информационных систем и программного обеспечения в моделировании, разработке и эксплуатации радиосистем, представлены результаты практической реализации электроэнергетических, мехатронных и робототехнических систем.

За подбор и точность приведенных фактов, цитат и других данных, не подлежащих открытой публикации, авторы опубликованных материалов несут самостоятельную ответственность. Мнение редакционной коллегии может не совпадать с мнением авторов. Материалы размещены в сборнике с учетом авторской правки, проверены системой «Антиплагиат» пакета «Антиплагиат.ВУЗ». Большая часть статей имеет высокий уровень оригинальности (выше 60%), и лишь десять процентов статей имеют оригинальность ниже 50% с учетом заимствования из персональных авторских источников.

Сборник включен в национальную информационно-аналитическую систему "Российский индекс научного цитирования" (РИНЦ).

ISBN 978-5-9500797-3-9

УДК 681.51(06)

© Коллектив авторов, 2020

УМЕНЬШЕНИЕ АППАРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ФАЗОВОГО ПЕЛЕНГАТОРА

Дятлов П.А.

Институт радиотехнических систем и управления ЮФУ, г. Таганрог

Точное определение пеленга источников радиоизлучений (ИРИ) систем связи является одной из актуальных проблем радиомониторинга. Кроме высокой точности для успешного решения задач радиомониторинга необходимо, чтобы пеленгаторы имели высокую пропускную способность и разрешающую способность по пеленгу и частоте и при этом обладали достаточным быстродействием с широким пространственным сектором и функционировали в большом рабочем частотном диапазоне. Наиболее перспективным классом пеленгаторов, обеспечивающих высокую точность, являются фазовые пеленгаторы (ФП). Однако многоканальные решения данного класса пеленгаторов имеют высокую аппаратную погрешность из-за не идентичности амплитудно- и фазо-частотных характеристик приемного тракта ФП.

Известны несколько направлений устранения указанной проблемы. Одно из которых одноканальное построение приемного тракта благодаря использованию частотного или временного объединения каналов. Первый способ на основе частотного объединения каналов приемного тракта фазового пеленгатора достаточно подробно исследован в работе [1].

Данная работа посвящена исследованию уменьшению аппаратной погрешности ФП за счет одноканального построения приемного тракта ФП на основе использования временного объединения каналов и последующей автокорреляционной обработки. Для определения пеленга ИРИ по азимуту используется разновременное периодическое преобразование входного сигнала на основе коммутации антенн А1 и А2, в результате чего входной сигнал преобразуется в сигнал с амплитудой и фазовой манипуляциями к следующему виду:

$$y(t) = A_0[1 + m M(t)] \cos[\omega t + \Delta\varphi M(t)]; \quad \Delta\varphi = (\varphi_1 - \varphi_2)/2; \quad m = (A_1 - A_2)/(2A_0);$$

$$M(t) = +1 \text{ при } (n + 1) T/2 \leq t < nT/2,$$

где $\Delta\varphi$ – индекс ФМ; φ_1, φ_2 – начальные фазы сигнала, принимаемого с первого и второго облучателей, соответственно; m – коэффициент АМ; t_1 – времени, в течении которого сигнал принимается с первого облучателя; n – целое число; T – период опорного генератора.

Информация о пространственном положении ИРИ заложена как в амплитуде, так и в разности фаз. В данной работе рассматривается только разность фаз сигналов. Коммутированный сигнал напоминает сигнал с относительной манипуляцией (ОФМ), а для обработки таких сигналов применяются автокорреляционные приемные устройства [2].

Структурная схема ФП с использованием автокорреляционного устройства, предназначенного для обработки коммутированного сигнала, приведена на рис. 1, где приняты следующие обозначения: 1 – коммутатор; 2 – супергетеродинное приемное устройство; 3 – устройство сдвига частоты (УСЧ); 4 – фиксированный генератор; 5 – линия задержки (ЛЗ); 6 – перемножитель (смеситель); 7 – полосовой фильтр (ПФ); 8 – фазовращатель; 9 – фазовый детектор (ФД); 10 – двухпериодный выпрямитель; 11 – выходное устройство; 12 – опорный генератор.

Сигналы с выхода облучателей поступают на вход супергетеродинного приемного устройства 2 через коммутатор 1. С выхода супергетеродинного приемного устройства сигнал поступает на автокоррелятор 3 ÷ 7, в котором линия задержки 5 берется со временем задержки, равным длительности посылки импульса коммутации одного облучателя, в свою очередь равного половине периода опорного генератора 12. При этом в одном из каналов автокоррелятора сигнал задерживается на $\tau = T/2$, а в другом с помощью фиксированного генератора 4 и устройства сдвига частоты УСЧ 3 сдвигается на частоту, равную Ω .

На входе перемножителя (смесителя 6) сигналы имеют вид:

$$U_2 = kA_{1m} \cos[\omega_{np}(t + \tau) + \varphi(\omega) - \Delta\varphi_M(t + \tau)];$$

$$U_3 = kA_{2m} \cos[\omega_{np} + \Omega)t + \varphi(\omega) + \varphi_\Omega + \Delta\varphi_M(t)],$$

где k – коэффициент пропорциональности; ω_{np} – угловая частота сигнала на выходе УПЧ приемника; φ_Ω – начальная фаза генератора, $\varphi(\omega)$ – аппаратная погрешность приемного тракта.

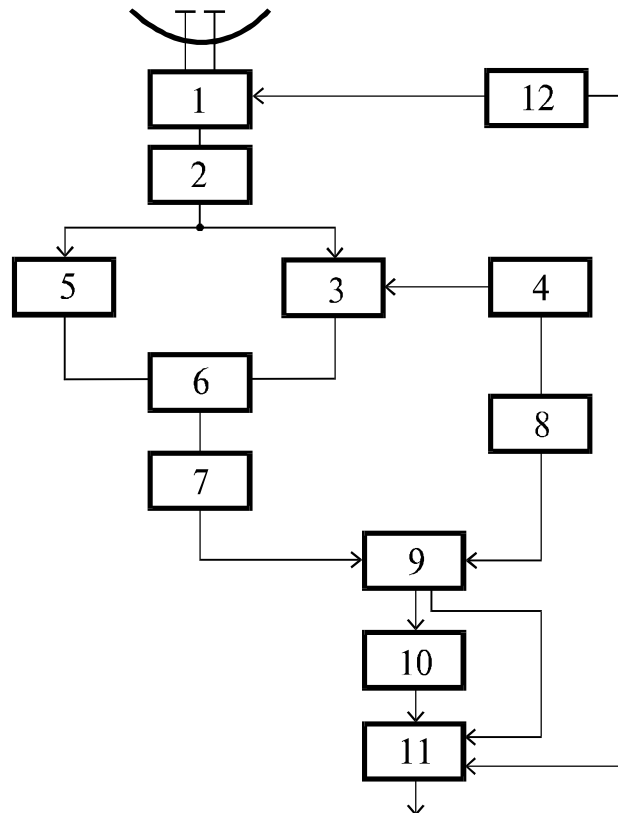


Рис. 1. Структурная схема фазового пеленгатора

За счет ограничения в приемном устройстве амплитудная манипуляция отсутствует и после преобразования и фильтрации в УПЧ аппаратурная погрешность $\varphi(\omega)$ устраняется

$$U_4 = A_m \cos[\Omega t + 2\Delta\varphi M(t) + \varphi_\Omega - \omega_{\text{пр}}\tau].$$

Поскольку при функционировании ФП принято, чтобы сигнал ошибки равнялся нулю при нулевой ошибке по направлению, то фазовращателем необходимо создать фазовый сдвиг $\pi/2$. При этом напряжение на выходе фазового детектора примет следующий вид:

$$U_{\text{вых}} = \sin[2\Delta\varphi M(t) - \omega_{\text{пр}}\tau]; \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi L}{\lambda} \sin \alpha,$$

где L – база ФП; λ – длина волны принимаемого сигнала; α – отклонение пеленга от равносигнального направления.

Выходной эффект $U_{\text{вых}}$ содержит оценку разности фаз $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$, которая несет информацию о точном значении азимута α и текущему значению частоты сигнала на выходе приемника $\omega_{\text{пр}}$. Далее выходное напряжение с формой меандра поступает на двухполупериодный выпрямитель и затем выходное устройство, где по величине напряжения определяется азимут α . Для определения стороны отклонения пеленга от равносигнального направления необходимо иметь информацию о знаке разности фаз $\Delta\varphi$, который определяется путем сравнения напряжения на выходе фазового детектора с сигналом опорного генератора в выходном устройстве.

Точность измерения пеленга зависит также от погрешности измерения δf_c частоты принимаемого сигнала f_c и точности установки облучателей δL . В случае неизвестной частоты сигнала $f_c = f_r \pm f_{\text{пр}}$ с целью точного измерения отклонения пеленга от равносигнального направления α необходимо измерить f_c путем замера частоты сигнала на выходе УПЧ супергетеродинного приемника $f_{\text{пр}}$ и частоты перестраиваемого гетеродина f_r .

Достоинством рассмотренного одноканального ФП являются возможности уменьшения аппаратурной погрешности и измерение частоты сигнала, используя разность фаз $\Delta\varphi = \omega_{\text{пр}}\tau$, что позволяет обойтись без частотомера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Леонов А.И., Фомичев К.И.* Моноимпульсная радиолокация. – М.: Радио и связь. 1984. С.312.
2. *Окунев Ю.Б.* Теория фазоразностной модуляции. – М.: Связь. 1979. С.216.

АЛГОРИТМЫ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА РАДИООБСТАНОВКИ

Дятлов П.А.

Институт радиотехнических систем и управления ЮФУ, г. Таганрог

Для оперативного решения задач демодуляции (перехвата) сигналов спутниковой связи на основе комплекса радиоконтроля (КРК) необходимо проведения эффективного экспресс-анализа радиобстановки (ЭАРО), в ходе которого производятся поиск, обнаружение и установление контакта со всеми источниками радиоизлучений (ИРИ), существующими в зоне наблюдения КРК [1]. Далее в рамках ЭАРО осуществляется селекция ИРИ, их классификация и оценивание информативных параметров полезного сигнала, а также формирование директив по несущей и тактовой частотам для обеспечения автосопровождения и синхронизации. Процесс ЭАРО реализуется экспресс-анализатором, входящим в состав КРК.

Для описания функциональных преобразований воспользуемся следующей абстрактной моделью. Допустим, что в зоне наблюдения КРК имеется множество $\{B\}$ ИРИ, которое абстрактно разделено на два подмножества $\{S\}$ и $\{P\}$. Причем подмножество $\{S\}$ принадлежит классу полезных сигналов, а подмножество $\{P\}$ коррелированным помехам распространяемых различными радиоэлектронными средствами, соответственно. Тогда имеем $B = \{b_i(t): i=1, 2, \dots, n\}$; $P \subset B$; $S \subset B$.

Чтобы представить в компактной форме полезные сигналы и коррелированные помехи, к соответствующим классам подмножеств $\{S\}$ и $\{P\}$, применяются инфопризнаки $\{l\} = \{l_1, \dots, l_n\}$: $S_i = F_i(l_k: k=1, 2, \dots, K)$, $i = \{1, N_s\}$; $P_j = \Phi_j(l_k: k=1, 2, \dots, K)$; $j = \{1, N_p\}$, где N_s, N_p – предельное количество сигналов и помех, которые могут быть охвачены КРК.

Ранее было установлено, что подмножество $\{S\}$ определяется сигналами $\{S_i: i = 1, 2, \dots, N_c\}$, относящимися к сигналам, используемым в системах спутниковой связи, т.е. сигналы с фазовой и квадратурно-амплитудной манипуляцией различной позиционности. Полезные сигналы характеризуются инфопризнаками $\{l_k: k = 1, 2, \dots, K\}$, с помощью которых осуществляется классификация сигналов, оценивание их основных параметров, а также генерирование директив для работы систем частотной и тактовой синхронизации.

ЭАРО реализуется следующим алгоритмом: на первом этапе производится поиск сигналов, на втором осуществляется их селекция, а в заключительной стадии проводится классификация сигналов.

Для проведения первого этапа алгоритм ЭАРО может быть представлен следующим соотношением $F_n[y_0(t)] \rightarrow y_n(t)$ при $t_0 \leq t \leq t_0 + T_n$, где $F_n[y_0(t)]$ – оператор поисковой процедуры над многокомпонентным процессом $y_0(t)$, отражающим модель радиобстановки в сеансе наблюдения $[t_0, t_0 + T_n]$, t_0 – время начала поиска ЭАРО; T_n – время поиска ЭАРО; $y_n(t)$ – выходное наблюдение ЭАРО, содержащее полезный сигнал.

Для предельно допустимого время поиска ЭАРО $T_{\text{макс}}$ вероятность установления контакта с ИРИ, находящихся в зоне действия КРК, определяется следующим отношением: $P_{\text{ук}} = T_{\text{макс}}/T_{\text{п}}$, где величина $T_{\text{макс}}$ определяется динамикой перемещения линии пеленга между космическими аппаратами и КРК и находится в интервале от единиц до десятков секунд. При $P_{\text{ук}} = 1$ достигается точное установление контакта с ИРИ при этом требуется, чтобы $T_{\text{п}} \leq T_{\text{макс}}$, $T_{\text{п1}} = T_{\text{п}}/N_s + N_p$, где $T_{\text{п1}}$ – максимально допустимое время поиска для одного ИРИ; N_s – количество ИРИ спутниковых систем связи; N_p – количество мешающих (сопутствующих) ИРИ.

При использовании в ЭАРО пространственной и частотной селекции количество шагов поиска ЭАРО $n_{\text{ш}}$ определяется следующим образом:

$$n_{\text{ш}} = \prod_{i=1}^{K_s} \frac{\Delta L_i}{\Delta l_j},$$

где ΔL_i – интервал априорной неопределенности по i -му признаку селекции (азимуту, углу места, частоте); Δl_j – интервал селекции по i -му признаку; K_s – количество используемых видов селекции.

Для установления энергетического контакта с ИРИ после осуществления их поиска средствами ЭАРО производится обнаружение полезного сигнала $y_{\text{п}}(t)$

$$F_{\text{об}}[y_{\text{п}}(t)] \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} U_{\text{пор}},$$

где $F_{\text{об}}[y_{\text{п}}(t)]$ – оператор обнаружения процесса $y_{\text{п}}(t)$; H_1, H_0 – решения о наличии или отсутствии процесса $y_{\text{п}}(t)$; $U_{\text{пор}}$ – пороговое отношение сигнал/помеха, обеспечивающее, согласно критерию Неймана-Пирсона, заданную вероятность ложной тревоги $P_{\text{лт}}$. Обнаруженный сигнал $y_{\text{п}}(t)$ может быть представлен одним из трех вариантов

$$y_{\text{пк}}(t) = \begin{cases} S(t, l, \hat{\alpha}) + n(t); \\ P(t, \hat{\alpha}_1) \text{ при } t_0 + \Delta T \leq t \leq t_0 + \Delta T + T_{\text{п1}}; \\ \sum_{i=0}^{n_s} S(t, l, \hat{\alpha}) + \sum_{i=0}^{n_p} P(t, \hat{\alpha}_1) + n(t), \end{cases}$$

где 1 вариант – полезный сигнал, 2-й – коррелированная помеха, 3-й – многокомпонентная смесь сигнала и шума, соответственно; ΔT – интервал времени, в течение которого устанавливается энергетический контакт КРК с процессом $y_{\text{пк}}(t)$; $n_s \in [0, N_s]$; $n_p \in [0, N_p]$.

Для проведения второго этапа алгоритм ЭАРО имеет следующий вид:

$$F_{\text{об1}}[S(t, l, \hat{\alpha}) + n(t)] \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} U_{\text{пор}};$$

$$F_{\text{об2}}[P(t, \hat{\alpha}_1) + n(t)] \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} U_{\text{пор}} \text{ при } t_0 + \Delta T \leq t \leq t_0 + \Delta T + T_{\text{п1}};$$

$$F_{063}[\sum_{i=0}^{n_s} S(t, l, \hat{\alpha}) + \sum_{i=0}^{n_p} P(t, \hat{\alpha}_1) + n(t)] \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} U_{\text{пор}},$$

где $F_{061}[\dots]$, $F_{062}[\dots]$, $F_{063}[\dots]$ – операторы обнаружения различных вариантов процесса $y_{\text{пк}}(t)$.

В случае приема многокомпонентной смеси $y_{\text{пк}}(t)$ обеспечение требуемой устойчивости обнаружения достигается путем усложнения этапа классификации и оценивания параметров сигналов в ЭАРО, поскольку для обеспечения их эффективности необходимо предварительно решить задачу полного разрешения, которая требует дополнительного времени и аппаратных ресурсов.

Третий этап алгоритма ЭАРО характеризуется следующим образом:

$$F_{\text{кл1}}[y_{\text{пк}}(t)] = y(t); \quad F_{\text{кл2}}[y(t)] \underset{H_p}{\overset{H_s}{\geq}} l_{\text{пор кл}};$$

$$F_{\text{оц}}[y(t)] = \{\hat{l}\} \text{ при } t_0 + \Delta T + T_{\text{об}} \leq t \leq t_0 + \Delta T + T_{\text{об}} + T_{\text{кл1}} + T_{\text{кл2}} + T_{\text{оц}},$$

где $F_{\text{кл1}}[y_{\text{пк}}(t)]$ – оператор первого подэтапа классификации, соответствующей полному разрешению при многокомпонентном характере процесса $y_{\text{пк}}(t)$; $F_{\text{кл2}}[y(t)]$ – оператор второго подэтапа классификации, соответствующий классификации полезного сигнала $S(t, l, \hat{\alpha})$ (гипотеза H_s) или помехи $P(t, \hat{\alpha}_1)$ (гипотеза H_p); $y(t)$ – двухкомпонентный процесс, соответствующий смеси сигнала и шума; $l_{\text{пор кл}}$ – пороговое значение информативного признака, на основе которого производится классификация с гипотезами H_s или H_p ; $F_{\text{оц}}[y(t)]$ – оператор оценивания совокупности информативных признаков $\{\hat{l}\}$, например, несущей частоты $\{\hat{f}_c\}$, длительности элемента $\{\hat{T}_э\}$, вида и кратности модуляции; $T_{\text{кл1}}$, $T_{\text{кл2}}$ – длительности первого и второго подэтапов классификации; $T_{\text{оц}}$ – длительность оценивания совокупности информативных параметров сигналов $\{\hat{l}\}$.

Функциональные преобразования оператора $F_{\text{кл1}}[y_{\text{пк}}(t)]$ зависят от процесса $y_{\text{пк}}(t)$. Так, например, при двухкомпонентной модели $y_{\text{пк}}(t)$ на первом подэтапе необходимо провести только проверку количества компонент

$$F_{\text{кл1}}[y_{\text{пк}}(t)] \rightarrow \{H_2, H_n\},$$

где H_2 – решение принято в пользу двухкомпонентного процесса $y_{\text{пк}}(t)$; H_n – решение принято в пользу многокомпонентного процесса $y_{\text{пк}}(t)$.

В последнем случае необходимо, наряду с проверкой гипотезы H_n , осуществить функциональные преобразования, обеспечивающие определение количества компонент $n_s + n_p$, их частотные параметры и обеспечение их полного разрешения на основе параллельного или последовательного спектрального анализа. При этом задача полного разрешения процесса $y_0(t)$ может быть выполнена на этапе поиска и установления контакта с ИРИ (1 алгоритм ЭАРО) или на первом подэтапе классификации (3 алгоритм ЭАРО). Выбор алгоритма ЭАРО зависит от конкретных особенностей радиообстановки,

используемых технических средств РК и заданных технико-экономических показателей.

Эффективность полного разрешения процесса $y_0(t)$ зависит от количества компонент, их пространственного и частотного распределения, количества используемых видов селекции и величины интервалов разрешения по каждому из оцениваемых параметров.

Задача полного разрешения считается успешно завершённой в том случае, когда на выходе поисковой подсистемы или классификатора процесс $y_{пк}(t)$ является двухкомпонентным. Вероятность успешного решения задачи полного разрешения P_p определяется из следующего соотношения

$$P_p = 1 - P_{сов}; \quad P_{сов} = \prod_{i=1}^{K_c} \frac{\lambda_{li}^2}{2} e^{-\lambda_{li}}; \quad \lambda_{li} = \frac{N_s + N_p}{2} \Delta l_{li},$$

где $P_{сов}$ – вероятность попадания в элемент разрешения селектора двух и более компонент процесса $y_0(t)$; K_c – количество используемых видов селекции; Δl_{li} – интенсивность потока компонент в элементе разрешения Δl_i при использовании i -го вида селекции.

Приведенные соотношения позволяют при заданной величине P_p определить требования к интервалу селекции в первом и третьем алгоритмах ЭАРО при использовании одного или нескольких видов селекции. После решения задачи полного разрешения процесса $y_{пк}(t)$ на втором подэтапе классификации уточняется принадлежность процесса $y_{пк}(t)$ к одной из гипотез H_s и H_p на основе использования таких информативных признаков, как вид модуляции, особенности корреляционной функции и т.п.

Эффективность второго этапа классификации определяется вероятностью успешной классификации $P_{кл} = 1 - P_{ош}$, где $P_{ош}$ – вероятность ошибок классификации. В случае принятия решения о гипотезе H_p экспресс-анализ процесса $y_{пк}(t)$ завершается в данном шаге поиска и продолжается в следующем элементе разрешения. Если принято решение о гипотезе H_s , то осуществляется оценивание необходимого набора информативных параметров $\{l\}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дятлов П.А. Разработка и исследование комбинированного пеленгатора на основе линейной фазированной антенной решетки: Диссертация кандидата технических наук: 05.12.17 Радиотехнические и телевизионные системы и устройства. – Москва. – 1999. – 134 с.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПЕРЕДАТЧИКОВ ПОМЕХ

Дятлов П.А.

Институт радиотехнических систем и управления ЮФУ, г. Таганрог

Детальный анализ энергетического потенциала передатчиков помех (ПП) комплексов радиоэлектронной борьбы (РЭБ) спутниковой

радионавигационной системой (СРНС) «Навстар» приводится в работе [1] при использовании шумовых (ШП), гармонических (ГП) и сигналоподобных (СП) помех. В данной работе на основе методики, приведенной в работе [1], выполняется энергетический расчет ПП, обеспечивающий подавление всех комплексов аппаратуры потребителей (АП) СРНС «Навстар» на частотах $L_1 = 1575$ МГц и $L_2 = 1227$ МГц, находящихся в заданной зоне (зоне радиоэлектронного подавления), при использовании ШП и СП.

Энергетический потенциал ПП $P_n G_n$ можно рассчитать из следующих соотношений:

$$P_n G_n = 4\pi W_n R^2; W_n = \sigma_n^2 / S_{ан1(2)}; S_{ан1(2)} = \frac{G_{ан} \lambda_{1(2)}^2}{4\pi}; \lambda_1 = 0,19 \text{ м}; \lambda_2 = 0,25 \text{ м},$$

где W_n — плотность потока мощности помехи на входе АП, удаленной от ПП на расстояние R ; σ_n^2 — дисперсия помехи на входе приемника АП; $S_{ан1(2)}, G_{ан}$ — эффективная площадь и коэффициент усиления антенны АП; $\lambda_{1(2)}$ — длина волны соответствующей частоты $L_{1(2)}$.

При использовании в ПП и АП всенаправленных антенн имеем $G_{ан} = 1; G_n = 1; S_{ан1} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ для λ_1 и $S_{ан2} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ для λ_2 . В соответствии с методикой оценки эффективности радиоэлектронного подавления (РЭП) АП СРНС «Навстар» целесообразно одновременно нарушать функционирование всех каналов подсистемы первичной обработки АП: канала обнаружения (КО), канала слежения за частотой (КСЧ), канала слежения за задержкой (КСЗ), канала демодуляции (КД).

При расчете необходимой для РЭП АП дисперсии помехи σ_n^2 следует учитывать особенности обработки информации в каждом из вышеперечисленных каналов. Дисперсия помехи σ_n^2 может быть определена следующим образом

$$\sigma_n^2 = P_{ш} g_{рп}^2, P_{ш} = kT_0 N_{ш} \Delta f_{лт}; kT_0 = 4 \cdot 10^{-21} \text{ Вт/Гц}; N_{ш} = 2,5,$$

где $P_{ш}$ — шумовая чувствительность приемника АП; $N_{ш}$ — коэффициент шума приемника АП; $g_{рп}^2$ — отношение ШП/шум по мощности на входе приемника АП; $\Delta f_{лт}$ — эквивалентная шумовая полоса приемника АП.

При РЭП навигационных сигналов с «С кодом» $\Delta f_{лт} = \Delta f_{сч} = 2 \cdot 10^6$ Гц и $P_{шс} = 2 \cdot 10^{-14}$ Вт, а при РЭП навигационных сигналов с «Р кодом» $\Delta f_{лт} = \Delta f_{сп} = 2 \cdot 10^7$ Гц и $P_{шр} = 2 \cdot 10^{-13}$ Вт.

С учетом вышеизложенного выражение для энергетического потенциала ПП может быть трансформировано к следующему виду:

$$P_n G_n = 4,5 \cdot 10^3 P_{шс} g_{рп}^2 R^2 \text{ при РЭП на частоте } L_1;$$

$$P_n G_n = 2,5 \cdot 10^3 P_{шр} g_{рп}^2 R^2 \text{ при РЭП на частоте } L_2.$$

Для качественной оценки энергетического потенциала ПП при использовании ШП требуется определить допустимую величину $g_{рп}^2$ для каждого канала подсистемы первичной обработки АП. Приведем упрощенную

методику расчета допустимой величины $g_{\text{рп}}^2$ при РЭП навигационных сигналов с «С кодом» на частоте L_1 при использовании ШП с шириной спектра $\Delta f_{\text{лт}} = \Delta f_{\text{sc}} = 2 \cdot 10^6$ Гц.

При проведении РЭП в КО имеем [1]:

$$g_{\text{рп ко}}^2 = \frac{g_{\text{ко}}^2}{g_{\text{кор}}^2}; \quad \sigma_{\text{п ко}}^2 = P_{\text{шс}} g_{\text{рп ко}}^2; g_{\text{ко}} = \sqrt{2} g_{\text{вхс}} \sqrt{\Delta f_{\text{sc}} T_6}; g_{\text{вхс}}^2 = P_{\text{sc}} / P_{\text{шс}}; g_{\text{кор}}^2 \rightarrow P_{01},$$

где $g_{\text{рп ко}}^2$ — отношение помеха/шум по мощности на входе КО; $g_{\text{ко}}$ — отношение сигнал/помеха по напряжению на выходе КО при отсутствии помехи; $g_{\text{кор}}$ — отношение сигнал/шум по напряжению на выходе КО; $g_{\text{вхс}}$ — отношение сигнал/помеха по напряжению на входе АП; P_{sc} — мощность навигационного сигнала с «С кодом» на входе АП; $\sigma_{\text{п ко}}^2$ — дисперсия помехи на входе КО; P_{01} — вероятность ошибочных решений в КО; T_6 — длительность бита навигационного сигнала.

При $T_6 = 2 \cdot 10^{-2}$ с; $P_{\text{sc}} = 10^{-16}$ Вт; $P_{01} = 0,8$; $\Delta f_{\text{sc}} = 2 \cdot 10^6$ Гц имеем $g_{\text{вхс}}^2 = 5 \cdot 10^{-3}$; $g_{\text{ко}} = 20$; $g_{\text{кор}} = 1,4$; $g_{\text{рп ко}}^2 = 200$ и $\sigma_{\text{п ко}}^2 = 4 \cdot 10^{-12}$ Вт.

При проведении РЭП в КСЧ имеем [1]:

$$g_{\text{рп f}}^2 = \frac{g_f^2}{g_{\text{fp}}^2}; \quad \sigma_{\text{п f}}^2 = P_{\text{шс}} g_{\text{рп f}}^2; g_f = g_{\text{вхс}} \sqrt{\Delta f_{\text{sc}} / \Delta f_{\text{ш1}}}; g_{\text{fp}} \rightarrow P_{\text{cf}},$$

где $g_{\text{рп f}}^2$ — отношение помеха/шум по мощности на входе КСЧ; g_f — отношение сигнал/шум по напряжению на выходе КСЧ при отсутствии помехи; g_{fp} — отношение сигнал/помеха по напряжению на выходе КСЧ; $\sigma_{\text{п f}}^2$ — дисперсия помехи на входе КСЧ; P_{cf} — вероятность срыва слежения за частотой; $\Delta f_{\text{ш1}}$ — шумовая полоса контура управления КСЧ.

При $\Delta f_{\text{ш1}} = 5$ Гц; $g_{\text{вхс}}^2 = 5 \cdot 10^{-3}$; $\Delta f_{\text{sc}} = 2 \cdot 10^6$ Гц; $P_{\text{sf}} = 1$ имеем $g_f = 31,5$; $g_{\text{fp}} = 1$; $g_{\text{рп f}}^2 = 10^3$; $\sigma_{\text{п f}}^2 = 2 \cdot 10^{-11}$ Вт.

При проведении РЭП в КСЗ имеем [1]:

$$g_{\text{рп } \tau}^2 = \frac{g_{\tau}^2}{g_{\text{тп}}^2}; \quad \sigma_{\text{п } \tau}^2 = P_{\text{шс}} g_{\text{рп } \tau}^2; g_{\tau} = \sqrt{2} g_{\text{вхс}} \sqrt{\Delta f_{\text{sc}} / \Delta f_{\text{ш2}}}; g_{\text{тп}} \rightarrow P_{\text{ст}},$$

где $g_{\text{рп } \tau}^2$ — отношение помеха/шум по мощности на входе КСЗ; g_{τ} — отношение сигнал/шум по напряжению на выходе КСЗ при отсутствии помехи; $g_{\text{тп}}$ — отношение сигнал/помеха по напряжению на выходе КСЗ; $\sigma_{\text{п } \tau}^2$ — дисперсия помехи на входе КСЗ; $P_{\text{ст}}$ — вероятность срыва слежения за задержкой; $\Delta f_{\text{ш2}}$ — шумовая полоса контура управления КСЗ.

При $\Delta f_{\text{ш2}} = 1$ Гц; $g_{\text{вхс}}^2 = 5 \cdot 10^{-3}$; $\Delta f_{\text{sc}} = 2 \cdot 10^6$ Гц; $P_{\text{ст}} = 1$ имеем $g_{\tau} = 140$; $g_{\text{тп}} = 1$; $g_{\text{рп } \tau}^2 = 2 \cdot 10^4$; $\sigma_{\text{п } \tau}^2 = 2 \cdot 10^{-10}$ Вт.

При проведении РЭП в КД имеем [1]:

$$g_{\text{рп д}}^2 = \frac{g_{\text{д}}^2}{g_{\text{др}}^2}; \quad \sigma_{\text{п д}}^2 = P_{\text{шс}} g_{\text{рп д}}^2; g_{\text{д}} = \sqrt{2} g_{\text{вхс}} \sqrt{\Delta f_{\text{sc}} T_6}; g_{\text{др}} \rightarrow P_{02},$$

где $g_{\text{рп д}}^2$ — отношение помеха/шум по мощности на входе КД; $g_{\text{д}}$ — отношение сигнал/шум по напряжению на выходе КД при отсутствии помехи; $g_{\text{др}}$ — отношение сигнал/помеха по напряжению на выходе КД; $\sigma_{\text{п д}}^2$ — дисперсия помехи на входе КД; P_{02} — вероятность ошибочных решений в КД.

При $T_6 = 2 \cdot 10^{-2}$ с; $\Delta f_{sc} = 2 \cdot 10^6$ Гц; $g_{вхс}^2 = 5 \cdot 10^{-3}$; $P_{02} = 0,3$; имеем $g_d = 20$; $g_{др} = 0,5$; $g_{рпд}^2 = 1,6 \cdot 10^3$ и $\sigma_{нд}^2 = 3,2 \cdot 10^{-11}$ Вт.

На основе приведенных расчетов можно сделать следующие выводы: 1) для обеспечения вероятности ошибочного обнаружения $P_{01} = 0,8$ необходимо использовать энергетический потенциал ПП $(P_{пG_{п}})_{ко}$, который рассчитывается из следующего соотношения: $(P_{пG_{п}})_{ко1} = 2,2 \cdot 10^{-8} R^2$ (Вт); 2) для обеспечения срыва слежения за частотой ($P_{cf} = 1$) в КСЧ необходимо, чтобы $(P_{пG_{п}})_{кч1} = 9 \cdot 10^{-8} R^2$ (Вт); 3) для обеспечения срыва слежения за задержкой ($P_{ст} = 1$) в КСЗ необходимо, чтобы $(P_{пG_{п}})_{кз1} = 9 \cdot 10^{-7} R^2$ (Вт); 4) для обеспечения вероятности ошибочных решений при демодуляции $P_{02} = 0,3$ в КД необходимо, чтобы $(P_{пG_{п}})_{кд1} = 1,4 \cdot 10^{-7} R^2$ (Вт).

При РЭП шумовыми помехами навигационных сигналов с «Р кодом» можно также использовать методику, вышеописанную, но при этом необходимо учитывать следующие изменения в исходных данных: $\Delta f_{п} = \Delta f_{sp} = 2 \cdot 10^7$ Гц; $P_{sp1} = 5 \cdot 10^{-17}$ Вт; $g_{вхр1}^2 = 2,5 \cdot 10^{-4}$; $P_{sp2} = 2,5 \cdot 10^{-17}$ Вт; $g_{вхр2}^2 = 1,25 \cdot 10^{-4}$, где Δf_{sp} — ширина спектра навигационных сигналов с «Р кодом»; P_{sp1} , P_{sp2} — мощность навигационных сигналов с «Р кодом» на входе АП на частотах L_1 и L_2 соответственно; $g_{вхр1}^2$, $g_{вхр2}^2$ — отношение сигнал/шум по мощности на входе АП при приеме навигационных сигналов с «Р кодом» на частотах L_1 и L_2 соответственно.

При этом в результате расчетов получаем следующие соотношения для энергетического потенциала ПП, обеспечивающих РЭП навигационных сигналов с «Р кодом» в соответствующих каналах АП

а) на частоте L_1 $(P_{пG_{п}})_{ко2} = 5,2 \cdot 10^{-8} R^2$ (Вт); $(P_{пG_{п}})_{кч2} = 5,2 \cdot 10^{-7} R^2$ (Вт); $(P_{пG_{п}})_{кз2} = 5,2 \cdot 10^{-6} R^2$ (Вт); $(P_{пG_{п}})_{кд2} = 1,4 \cdot 10^{-7} R^2$ (Вт); б) на частоте L_2 $(P_{пG_{п}})_{ко3} = 2,5 \cdot 10^{-8} R^2$ (Вт); $(P_{пG_{п}})_{кч3} = 2,4 \cdot 10^{-7} R^2$ (Вт); $(P_{пG_{п}})_{кз3} = 2,4 \cdot 10^{-6} R^2$ (Вт); $(P_{пG_{п}})_{кд3} = 2 \cdot 10^{-7} R^2$ (Вт).

Для РЭП навигационных сигналов с «Скодом» на частоте L_1 при использовании целеуказаний от комплекса радиомониторинга, как показано в работе [1], целесообразно использовать адаптивные заградительные сигналоподобные помехи (СП), которые обеспечивают возможность существенного снижения энергетического потенциала ПП. СП представляет собой многокомпонентный процесс, состоящий из набора копий навигационных сигналов с «Скодом», излучаемых одним из КА, входящих в созвездие СРНС «Навстар». Количество компонентов N_k в результирующей СП, которая соответствует излучениям нескольких КА $n_{ка}$ определяется следующим образом: $N_k = n_p n_{ка}$, где n_p — количество копий навигационных сигналов, сдвинутых во времени.

Поскольку дисперсия одного компонента СП равна $\sigma_{п1}^2 = P_{sc} = 10^{-16}$ Вт, то при $n_p = 25$, $n_{ка} = 4$ имеем дисперсию результирующей СП $\sigma_n^2 = 10^{-14}$ Вт, а энергетический потенциал ПП равен $P_{пG_{п}} = 2,5 \cdot 10^{-11} R^2$ (Вт). Поскольку при использовании многокомпонентной СП вероятность ошибочных решений

соответствует вероятности перепутывания, то при $n_p = 25$ вероятность РЭП составляет $P_{pp} = 0,96$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дятлов А. П., Дятлов П. А., Кульбикаян Б. Х. Радиоэлектронная борьба со спутниковыми радионавигационными системами. – М.: Радио и связь, 2004. – 226 с.

ВАРИАНТЫ ПРИКРЫТИЯ ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНЫХ РАЗМЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ

Дятлов П.А.

Институт радиотехнических систем и управления ЮФУ, г. Таганрог

В данной статье рассматривается возможность организации радиоэлектронной борьбы (РЭБ) с целью обеспечения прикрытия объектов со следующими размерами [а) $V_1 = 10^3 \times 10^3 \times 10^3 \text{ м}^3$; б) $V_2 = 10^2 \times 10^2 \times 10^2 \text{ м}^3$; в) $V_3 = 10 \times 10 \times 10 \text{ м}^3$] от нападения с использованием спутниковой радионавигационной системы (СРНС) «Навстар» в комбинации с инерционной системой наведения. Рассмотрим особенности организации РЭБ при установке аппаратуры потребителя (АП) СРНС «Навстар» на наиболее опасных и эффективных средствах воздушного нападения (СВН) типа крылатых ракет воздушного базирования AGM-86 ALCM и морского базирования BGM-109 «Томагавк». В настоящее время при наведении СВН на поражаемые объекты используется информация как от СРНС «Навстар», так и от бортовой инерциальной системы (ИНС), что существенно повышает помехоустойчивость.

Однако необходимо учитывать, что при успешном радиоэлектронном подавлении (РЭП) АП ($P_{pp} \rightarrow 1$), когда приходится использовать для наведения СВН информацию только от бортовой инерциальной системы (ИНС), то происходит накопление ошибок. При этом среднеквадратичная погрешность по дальности σr составляет от 1% до 1,5% от пройденного СВН пути R_r .

С учетом вышеизложенного для обеспечения прикрытия защищаемого объекта с учетом использования ИНС необходимо, чтобы размеры зоны РЭП средствами РЭБ выбирались из следующих соотношений:

$$\Delta x = \Delta y < \sigma r; \sigma r = (1 \div 1,5) \cdot 10^{-2} R_r;$$

$$\Delta z < r_{pp}; r_{pp} = R_{ш} \approx R_r; R_{в} \geq \Delta z_{max},$$

где Δx , Δy , Δz — ширина, глубина и высота защищаемого объекта; R_r , $R_{ш}$, $R_{в}$ — глубина, ширина и высота зоны РЭП; Δz_{max} — максимально ожидаемая высота зоны прикрытия защищаемых объектов; r_{pp} — дальность РЭП.

При использовании в передатчиках помех (ПП) ненаправленных антенн, а также учитывая, что $r_{\text{рп}} \gg R_{\text{в}}$, в ходе дальнейшего анализа можно вместо объема зоны РЭП использовать площадь РЭП $S_{\text{рп}} = R_{\text{г}}R_{\text{в}}$.

Для заданных размеров защищаемых объектов получаем:

$$\text{для } \Delta x_1 = \Delta y_1 = \Delta z_1 = 10^3 \text{ м } \sigma r_1 = (1 \div 1,5) \cdot 10^3 \text{ м} \\ \text{при } R_{\text{г1}} = R_{\text{ш1}} = 100 \text{ км}; S_{\text{рп1}} = 10^4 \text{ км}^2;$$

$$\text{для } \Delta x_2 = \Delta y_2 = \Delta z_2 = 10^2 \text{ м } \sigma r_2 = (1 \div 1,5) \cdot 10^2 \text{ м} \\ \text{при } R_{\text{г2}} = R_{\text{ш2}} = 10 \text{ км}; S_{\text{рп2}} = 10^2 \text{ км}^2;$$

$$\text{для } \Delta x_3 = \Delta y_3 = \Delta z_3 = 10 \text{ м } \sigma r_3 = (1 \div 1,5) \cdot 10 \text{ м} \\ \text{при } R_{\text{г3}} = R_{\text{ш3}} = 1 \text{ км}; S_{\text{рп3}} = 1 \text{ км}^2.$$

При этом предполагается, что априорно известно направление полета СВН и защищаемый объект находится на максимальной глубине и в середине фронта РЭП.

Для нормального функционирования средств РЭБ (включения ПП) необходимо наличие предупреждений о вхождении СВН в зону РЭП и целеуказаний о траектории их движения. Данные команды могут поступать от подсистем истребительно-авиационного зенитного ракетного прикрытие или специальных средств, например, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с радиолокационными станциями (РЛС), вводимых состав комплекса РЭБ.

При скорости полета СВН $v = 200$ м/с продолжительность сеансов РЭП составляет $T_{\text{рп}} = R_{\text{гi}}/v = [500, 50, 5]$ с.

В общем случае в составе комплекса РЭБ необходимо использовать передатчики шумовых помех (ПШП) на частотах L_1 и L_2 , передатчики сигналоподобных помех (ПСП) на частоте L_1 и комплекс радиомониторинга (КРМ), используемый как для формирования целеуказаний ПСП, так и для выявления новых частот, сигналов, режимов и т.п. в излучениях КА, входящих в созвездие СРНС «Навстар».

Для прикрытие малоразмерных объектов ($S_3 = 10 \times 10 = 100 \text{ м}^2$) необходимо обеспечить зону РЭП с $S_{\text{рп3}} = 1 \text{ км}^2$ и использовать по одному ПШП на частотах L_1 и L_2 с энергетическим потенциалом $P_{\text{п}}G_{\text{п}} = 0,1$ Вт и $r_{\text{рп}} = 1$ км при их размещении в центре зоны РЭП.

Для прикрытие объектов с $S_2 = 10^2 \times 10^2 = 10^4 \text{ м}^2$ необходимо обеспечить зону РЭП $S_{\text{рп2}} = 100 \text{ км}^2$ и использовать по одному ПШП на частотах L_1 и L_2 с энергетическим потенциалом $P_{\text{п}}G_{\text{п}} = 10$ Вт и $r_{\text{рп}} = 10$ км при их размещении в центре зоны РЭП.

Более сложная ситуация имеет место при прикрытие объектов с $S_1 = 10^3 \times 10^3 = 10^6 \text{ м}^2$. В этом случае необходимо, чтобы зона РЭП имела $R_{\text{г}} \approx R_{\text{ш}} = 100$ км и $S_{\text{рп1}} = 10^4 \text{ км}^2$. В этом случае в составе комплекса РЭБ предлагается использовать:

1) стационарные равномерно размещенные по пространству ПШП на частотах L_1 и L_2 с энергетическим потенциалом $P_{\text{п}}G_{\text{п}} = 10$ Вт и $r_{\text{рп}} = 10 \text{ км}^2$; общее количество двух диапазонных ПШП должно составлять порядка 30, и

они могут включаться одновременно на длительность сеанса РЭП или последовательно по мере перемещения СВН по траектории;

2) одноразовые, забрасываемые по ходу траектории СВН ПШП на частотах L_1 и L_2 с энергетическим потенциалом $P_{\text{п}}G_{\text{п}} = 10$ Вт общим количеством не более 10;

3) для повышения эффективности РЭП дополнительно к первому варианту в состав комплекса РЭБ следует ввести десять равномерно размещенных по пространству ПСП на частоте L_1 с энергетическим потенциалом $P_{\text{п}}G_{\text{п}} = 6 \cdot 10^{-3}$ Вт, а также КРМ, размещаемый в центре зоны РЭП.

Наряду с обеспечением эффективного РЭП СРНС «Навстар» вышеприведенные предложения направлены на достижение высокой «живучести» комплекса РЭБ, его адаптации к нештатным режимам функционирования СРНС «Навстар», а также использованию противником средств пространственной селекции излучений ПП или поражения ПП.

Проведенные исследования соответствуют организации РЭБ СРНС «Навстар» с применением стационарных шумовых и сигналоподобных помех и для повышения эффективности РЭП следует обратить внимание на применение нестационарных и комбинированных помех различного типа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дятлов А. П., Дятлов П. А., Кульбикаян Б. Х. Радиоэлектронная борьба со спутниковыми радионавигационными системами. — М.: Радио и связь, 2004. — 226 с.

УДК 621.396

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЕМНИКА ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

Губарев Д.Е., Андрианов А.В., Зикий А.Н., Пустовалов А.И.

Институт компьютерных технологий и информационной безопасности ЮФУ, г. Таганрог

Разработана конструкторская документация, изготовлен макет и проведено экспериментальное исследование приемника пеленгования. Приведены функциональная схема и описание конструкции. Дана методика эксперимента. Показано достижение следующих параметров: диапазон рабочих частот от 18 до 26 ГГц; динамический диапазон сигналов на входе не менее 40 дБ; длительность принимаемых радиоимпульсов не менее 0,1 мкс; неравномерность амплитудно-частотной характеристики не более 6,5 дБ.

Ключевые слова: приемник пеленгования, логарифмический приемник, амплитудно-частотная характеристика, амплитудная характеристика, динамический диапазон.

Введение

Приемники пеленгования являются важной составной частью средств РЭБ. От них зависит диапазон рабочих частот, чувствительность, динамический

диапазон амплитуд, точность пеленгования и измерения длительности импульсов, поэтому их исследование является актуальным.

Для обнаружения и пеленгования источников излучения нашли широкое применение логарифмические приемники [1-3]. Они имеют высокую точность, достаточное быстродействие и хорошую повторяемость. Целью данной работы является экспериментальное исследование логарифмического приемника. К нему предъявлены следующие требования:

- Диапазон рабочих частот от 18 до 26 ГГц;
- Динамический диапазон сигналов на входе не менее 40 дБ;
- Длительность принимаемых радиоимпульсов не менее 0.1 мкс;
- Период повторения не менее 1 мкс;
- Неравномерность амплитудно-частотной характеристики не более 6.5 дБ.

Схема и конструкция

Приемник пеленгования представляет собой приемник прямого усиления, функциональная схема которого показана на рис.1.

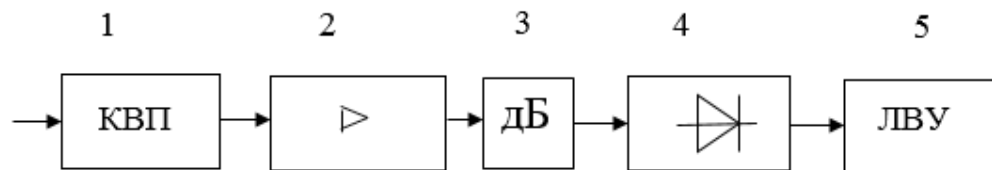


Рис. 1 - Функциональная схема приемника

Приемник состоит из коаксиально-волноводного перехода 1, малошумящего усилителя (МШУ) 2, развязывающего аттенюатора 3, детектора 4 и логарифмического видеоусилителя 5.

В качестве МШУ использованы усилители фирмы СКАРД-Электроникс типа АС180400-071 [4]. Детектор построен по последовательной схеме на диоде типа MADS-001317-1500AG [5].

Логарифмический видеоусилитель построен на микросхеме AD8309. Приемник выполнен в виде вставного блока размером 170x200x30мм. На передней панели блока размещены волноводный фланец сечением 11x5,5, коаксиальный соединитель типа IX по ГОСТ13317, вариант 1, гнездо, и низкочастотный соединитель для подачи питания типа РГ1Н.

На задней панели блока установлены два штыря для фиксации положения блока в кассете. Блок крепится к кассете двумя невыпадающими винтами М3.

Эксперимент

Эксперимент проводили на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 2.

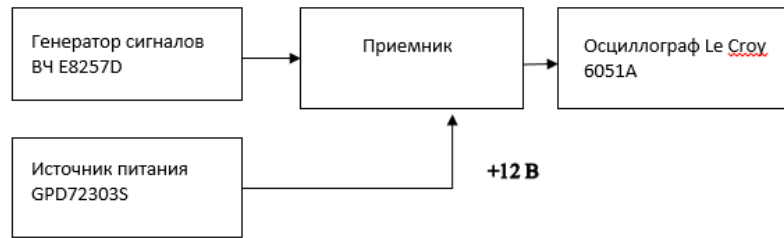


Рис. 2-Структурная схема измерительной установки

В первом эксперименте проводилось измерение амплитудной характеристики приемника на частоте 18 ГГц. Шаг изменения мощности входного сигнала 2дБ. Отличительная ее особенность – наличие падающего участка при перегрузке. Амплитудная характеристика показана на рис.3.

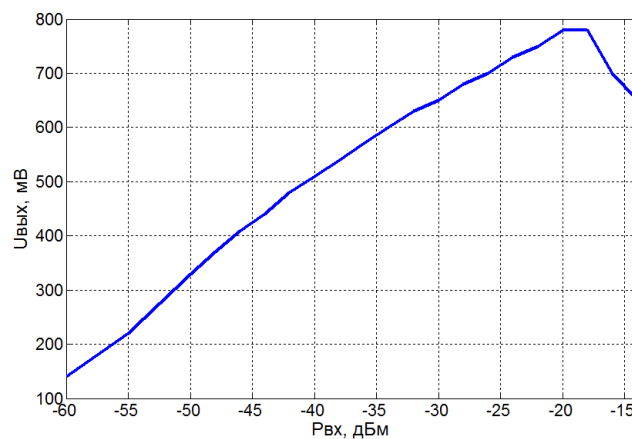


Рис. 3 - Амплитудная характеристика

Во втором эксперименте измерялась амплитудно-частотная характеристика приемника. Частота генератора изменялась от 18 до 26 ГГц с шагом 0.2 ГГц. При этом мощность входного сигнала установлена минус 48 дБм. Результаты измерения АЧХ изображены на рисунке 4.

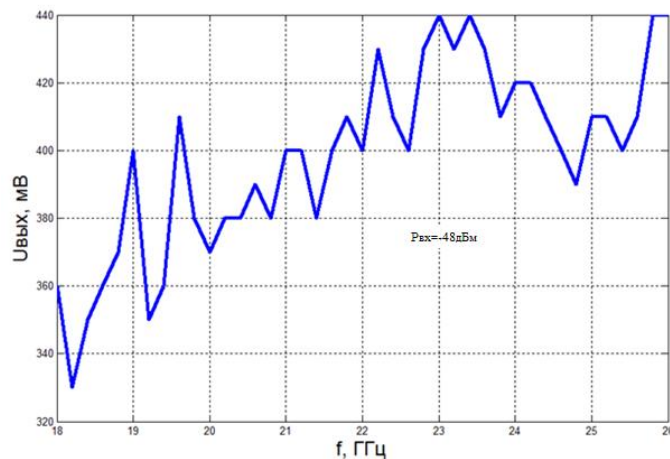


Рис. 4 - АЧХ блока

Неравномерность АЧХ, приведенной на рис.4, обусловлена формой передаточной характеристики предварительного усилителя, которая имеет спад как на начальном участке рабочего диапазона приемника, так и в конце участка. Выбор примененного усилителя был обусловлен его широкополосностью, высоким коэффициентом усиления и малым коэффициентом шума. Также немаловажно то, что используемый усилитель производится в России.

Заключение

Приемник прямого усиления имеет основные параметры, перечисленные ниже в таблице.

Таблица 1

Основные параметры приемника

| Наименование параметра, размерность | Задано | Измерено |
|---|--------|----------|
| Диапазон рабочих частот, ГГц | 18-26 | 18-26 |
| Динамический диапазон сигналов на входе не менее, дБ | 40 | 40 |
| Минимальная длительность импульсов, мкс | 0.1 | 0.1 |
| Неравномерность амплитудно-частотной характеристики, дБ | 6.5 | 6.5 |

Возможные пути совершенствования приемника-уменьшение неравномерности амплитудно-частотной характеристики, расширение его функциональных возможностей в части энергетической защиты, заграждения внеполосных сигналов, расширения динамического диапазона. Еще более важным является повышение идентичности каналов многоканального приемника для снижения погрешности пеленгования [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Tsui J.B.Y.* Microwave Receivers with Electronic Warfare Application. Wiley-Interscience Publication, 1986. 460 p.
2. *Беляев Д.В., Зикий А.Н., Пономаренко А.А.* Динамический диапазон и пропускная способность приемника прямого усиления с логарифмическим видеоусилителем. // Вопросы специальной радиоэлектроники, серия Общие вопросы радиоэлектроники, 2004, №2, с. 118-122 с.
3. *Андрианов А.В., Губарев Д.Е., Зикий А.Н., Шакунов С.А.* Экспериментальное исследование приемника пеленгования. Всероссийская научная конференция «Теоретические и методические проблемы эффективного функционирования радиотехнических систем». Системотехника-2019. Таганрог, ЮФУ. 2019.

4. http://www.skard.ru/?page_id=129 Усилитель АС180400-071
КНПР.434815.005ТУ
5. Диод СВЧ MADS-001317-1500AG– техническая документация.
6. *Беляев Д.В., Зикий А.Н.* Алгоритм пеленгования и погрешность неидентичности моноимпульсного пеленгатора. // Вопросы специальной радиоэлектроники, серия Общие вопросы радиоэлектроники, 2006, № 2, с. 54 – 57.

УДК 621.396.96

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ПО НЕПОЛНЫМ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНЫМ ДАННЫМ, ПОЛУЧЕННЫМ ОТ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ В ВИДЕ ДОПЛЕРОВСКИХ ПОРТРЕТОВ

Надененко В.В., Кваснов А.В., Финогенов М.Е.
Военный инновационный технополис «ЭРА», г.Анапа

Одним из ключевых направлений в современной радиолокации является радиовидение, в рамках которого ведется разработка радиолокационных систем нового поколения, предусматривающих автоматическое распознавание различных типов целей по их радиолокационным портретам. Для разработки и отладки перспективных алгоритмов распознавания объектов техники и других техногенных образований, а также формулировки требований к параметрам радиолокационных станций требуется грамотная обработка данных по сигнатурам объектов в различных диапазонах электромагнитного спектра.

В данной работе рассматривается методика, позволяющая оценивать вероятность распознавания движущихся наземных объектов военной техники (с точностью до класса и типа объекта) по их доплеровским портретам, полученным от радиолокационной станции обнаружения и сопровождения.

В настоящее время широко применяются и развиваются методы распознавания объектов по их сигнальным признакам [1]. Наибольшее распространение получили методы распознавания объектов по дальностным портретам, которые могут формироваться за счет использования широкой полосы частот в импульсе или применения сверхкоротких импульсов. В серийных отечественных радиолокационных станциях (РЛС) такие сигналы не применяются. Поэтому в качестве векторного признака распознавания, отражающего структуру объекта, в настоящее время может быть использован только доплеровский портрет (ДП), сформированный методом инверсного синтезирования апертуры. Ранее проведенные эксперименты показали, что по векторам ДП удастся распознавать объекты разных размеров (до класса) вследствие ограниченного числа составляющих в портрете.

Для типовых когерентно-импульсных систем, основанных на сигналах с ограниченным спектром, речь может идти только о поперечных, то есть доплеровских портретах (ДП), формирование которых базируется на принципе инверсного синтезирования апертуры [2]. Скептическое отношение к ДП как признаку идентификации уже неоднократно развеивалось результатами экспериментов, в том числе и натуральных. Однако векторные признаки, будучи высокоинформативными, должны решать более фундаментальные задачи, к которым относится идентификация (различение объектов равных размеров, но различной архитектуры).

В связи с тем, что серийные локаторы сопровождения с поимпульсной перестройкой частоты или с широкой полосой частот внутри импульса в парке отечественной техники отсутствуют, для исследования закономерностей изменения высокоинформативных признаков распознавания методом эксперимента на начальном этапе целесообразно ограничиться изучением структуры ДП как поперечного среза двумерного РЛИ [3].

Цифровая фильтрация осуществляется путем проведения свертки принятых сигналов определенного периода зондирования с оцифрованным комплексно-сопряженным зондирующим сигналом этого же периода зондирования для выделения амплитуды и фазы отраженного сигнала в пике отклика цифрового фильтра. Амплитуды и фазы пиков (максимумов) откликов, отраженных одним и тем же объектом сигналов, объединяются в массивы отражений, выражающие собой комплексные отражательные характеристики объекта [4].

Исходными данными для проведения исследования являлись доплеровские портреты. Производилась фиксация отклонений несущей частоты принимаемого сигнала для движущейся цели. Частота дискретизации доплеровского сигнала – 7,5 кГц; Время регистрации – 15...20 с Расстояние до цели – 150...350 м Поляризация – вертикальная на излучение и прием. Пример доплеровского портрета для образца военной техники (Урал с прицепом), движущейся продольно относительно линии визирования приведен на рисунке 1.

Математической задачей распознавания представленных классов $Y = Y(y_1 y_2 \dots y_n)$ для заданной обучающей выборки признаков $X = X(x_1 x_2 \dots x_m)$ является нахождение такой целевой функции $F(x^*)$, которая бы для любых $Y \in R^n$ минимизировала преобразование $F(x): X \rightarrow Y$.

Полученные доплеровские портреты позволили установить спектральные различия, которые существуют при перемещении различных образцов военной техники для поперечного движения относительно визирующей РЛС. На рисунке 2 приведен пример спектрального анализа для изделий «КАМАЗ с прицепом» и «БТР», которые совершают перемещаются вдоль линии визирования с соответствующими скоростями 1,44 м/с 1,08 м/с.

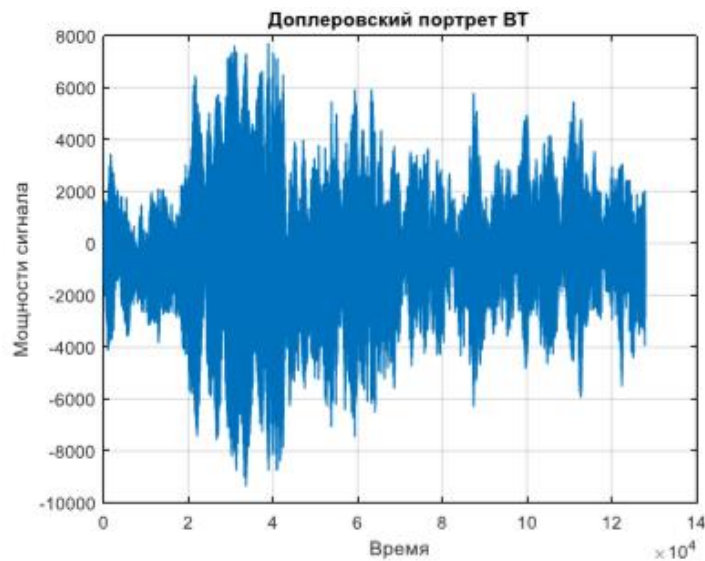


Рис. 1. Доплеровский портрет движущегося образца военной техники (Урал с прицепом)

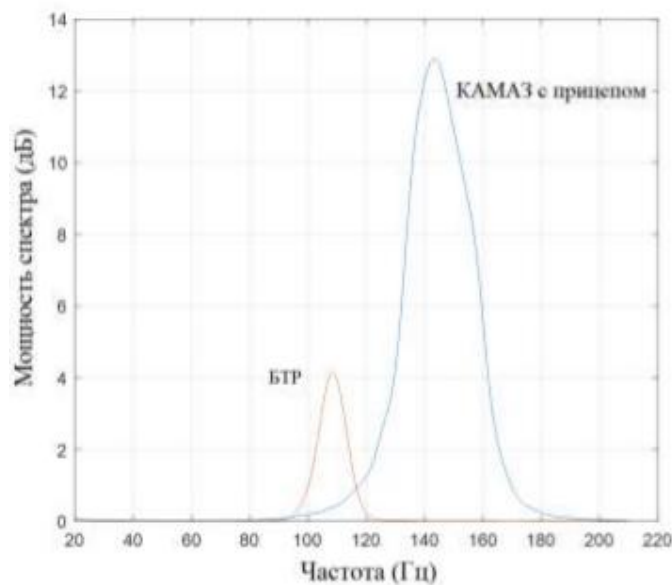


Рис. 2. Спектральный анализ доплеровских портретов (КамАЗ с прицепом и БТР)

Ширина спектра и плотность мощности для более габаритного образца «КАМАЗ с прицепом» соответственно составляет 25 Гц и 13 дБ; для изделия «БТР» аналогичные величины будут – 15 Гц и 4 дБ.

В ходе анализа экспериментальных данных была использована выборка 10 доплеровских портретов для различных образцов военной техники и по ним произведено исследование. К сигнальным характеристикам (ширина спектра и плотность мощности) были добавлены тактические признаки указанных классов и типов объектов: длина движущейся колонны, количество объектов в колонне, расстояние между элементарными объектами в колонне, удаление от линии боевого соприкосновения. В результате по этим признакам была

сформирована обучающая выборка, которая позволила разработать искусственную нейронную сеть (ИНС) типа персептрон для распознавания образцов военной техники, движущейся поперечно относительно линии визирования.

ИНС представляла собой сеть прямого действия с 8 скрытыми слоями, реализующую метод градиентного спуска. Метод градиентного спуска представляет собой переопределенную оптимизационную задачу для целевой функции $F(\mathbf{x}^*)$ с учетом нахождения локального минимума [5]:

$$\nabla f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1} i + \frac{\partial f}{\partial x_2} j + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} n \right),$$

где i, j, k, \dots, n – единичные векторы, параллельные координатным осям.

Процесс нахождения экстремума функции является итерационной процедурой, которая записывается следующим образом:

$$\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{x}^k \pm \lambda^k \frac{\nabla f(\mathbf{x}^k)}{\|\nabla f(\mathbf{x}^k)\|},$$

где знак «-» используется для поиска минимума функции.

Результаты обучения, тестирования и валидации ИНС показали достаточные значения для распознавания классов и типов объектов (рисунок 3).

Моделирование ИНС в среде MatLAB продемонстрировало возможность распознавания до 10 классов групповых объектов с потенциальной точностью $\sigma_{\text{класс}} \approx 0,15$ и до 4 типов групповых объектов с $0,01 \sigma_{\text{класс}} \approx 0,01$.

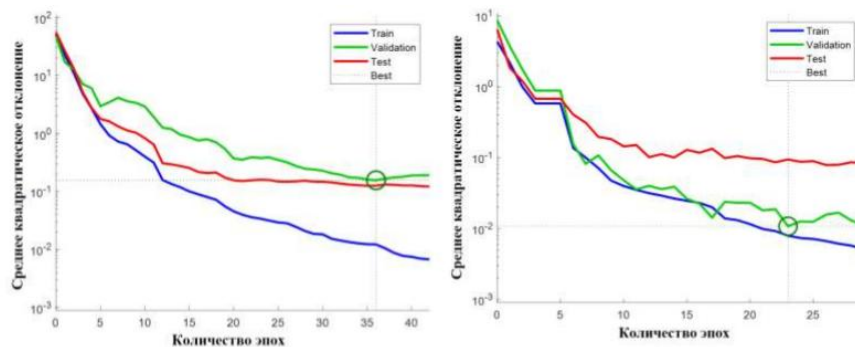


Рис. 3. Результаты моделирования ИНС для классов и типов групповых целей

Анализ доплеровских портретов в среде MatLAB показал возможность выделения характерных сигнальных признаков образцов военной техники (ширина спектра, спектральная плотность мощности), которые могут сочетаться с тактическими признаками групп объектов военной техники (длина движущейся колонны, количество объектов в колонне, расстояние между элементарными объектами в колонне, удаление от линии боевого

соприкосновения). Результатом этого является формирование априорных данных (обучающей выборки) для задач распознавания групповых объектов противника.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ширман Я.Д., Горшков С.А.* и др. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование // Радиолокация и радиометрия. 2000. № 2. С. 5–65.
2. Проведение экспериментальных работ по получению сигнатур радиолокационных целей: Отчет о НИР (заключ.) / ВА ВПВО ВС РФ; руководитель работы Д.Г. Митрофанов. Смоленск, 2007. 184 с.
3. *Кузьмин С.З.* Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С. З. Кузьмин. – Киев: КВИЦ. – 2000. – 428 с.
4. Справочник по радиолокации. Под ред. М. Скольникова. Том 1. Основы радиолокации. – М.: Советское радио. – 1976. – 456 с.
5. *Татузов А. Л.* Нейронные сети в задачах радиолокации / А. Л. Татузов. – М.: Радиотехника. – 2009. – 432 с.

УДК 520.874.3

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЦЕЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ РАССЕЯНИЯ ЦЕЛИ

Бондарай А.А., Угланов А.И., Ильченко А.В., Малышкин С.С.
Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа

Введение

Задача распознавания цели, её классификации к определённому типу (классу), является одной из важнейших задач в радиолокации. Информация о принадлежности воздушного объекта к тому или иному классу (типу) может быть использована для определения класса (типа) неопознанных воздушных объектов, выделения сигналов от летательных аппаратов из сигналов, отраженных от местных предметов, стай птиц, ангел-эхо, облаков гидрометеоров, выбора наиболее опасных целей и обеспечения выдачи информации о них на командный пункт, своевременного обнаружения пусков противорадиолокационных ракет, оптимизации целераспределения и целеуказания.

Актуальность средств распознавания воздушных целей

Развитие задачи распознавания зависит от степени совершенствования существующих и разработки новых методик. Проанализировав существующие радиолокационные станции (РЛС) и методики, можно сказать, что решение

такого рода задачи связано с определенными погрешностями. Частично это объясняется увеличением количества полетов, развитием авиастроительной техники и как следствие уменьшением времени на процесс распознавания воздушного объекта. Также развитие техники и беспроводных технологий увеличивает количество излучений, влияющих и вносящих помехи, в работу РЛС. Поэтому возникает необходимость в совершенствовании средств и методик, позволяющих за меньшее время и с большей достоверностью определить тип летательного аппарата. [1]

В данной работе представлен инновационный подход к проблеме идентификации летательного аппарата по его трехмерному изображению и эффективной площади рассеивания.

Эффективная площадь рассеивания (ЭПР) – площадь некоторой фиктивной идеальной сферы, являющейся идеальным изотропным переизлучателем, которая, будучи помещена в точку расположения цели, создает у антенны РЛС ту же плотность потока мощности, что и реальная цель:

$$\sigma_{ц} = 4\pi r_{ц}^2 \frac{P_{пр}}{P_{ц}},$$

где $r_{ц}$ – расстояние от РЛС до цели, $P_{пр}$ – плотность потока мощности первичной волны в точке цели, $P_{ц}$ – плотность потока мощности вторичной волны в точке приема.

ЭПР цели существенно зависит от ориентации цели относительно направления на РЛС. Зависимость величины ЭПР от угла поворота цели относительно направления на РЛС называется диаграммой обратного вторичного излучения, т.е. $\sigma_{ц} = \sigma_{ц}(\theta)$.

Факторы, определяющие ЭПР:

1. Электрические и магнитные свойства материала цели.

ЭПР ($\sigma_{ц}$) тем больше, чем больше отличаются ϵ и μ цели от соответствующих параметров окружающей среды.

2. Характер поверхности цели.

Если неровности на поверхности цели Δh удовлетворяют условию:

$$\Delta h \leq \frac{\lambda}{16 \sin \theta},$$

где θ – угол падения радиоволны (РВ), то отражение носит зеркальный характер. В остальных случаях оно является диффузным.

3. Относительные размеры цели, которые определяются отношением ее линейного размера l к длине волны λ : l/λ .

Большинство реальных целей, в т. ч. аэродинамических (самолеты и т. д.) и космических (головки баллистических ракет, искусственные спутники), имеют размеры, значительно превышающие длину волны современных РЛС. Выпуклые и плоские участки проводящей поверхности целей создают обычно большое число «блестящих» точек, вторичное излучение которых взаимодействует друг с другом. Поэтому диаграммы обратного вторичного

излучения реальных сосредоточенных целей, как и групповых целей, имеют многолепестковый изрезанный характер. Ширина лепестков пропорциональна отношению линейных размеров цели к длине волны. Вследствие этого диаграмма обратного вторичного излучения самолета при облучении его зондирующим сигналом в диапазоне метровых волн (рис. 1, а) существенно отличается от диаграммы вторичного излучения, снятой в сантиметровом диапазоне волн (рис. 1, б). [2]

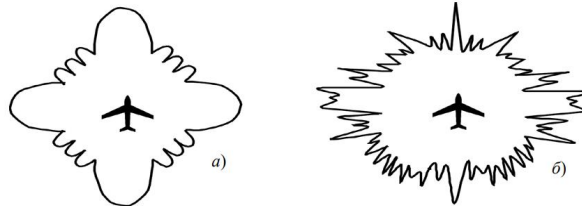


Рис.1. Диаграммы обратного вторичного излучения самолета при облучении его зондирующим сигналом: а - в диапазоне метровых волн, б – в сантиметровом диапазоне волн.

Таким образом, отражательные способности радиолокационных целей определяются как параметрами электромагнитной волны (длина, угол падения и пр.), так и характеристиками цели (конфигурацией, линейными размерами, электрическими и магнитными свойствами и т. п.). Для количественной оценки этих свойств используют ЭПР цели. Наиболее существенно на ЭПР целей влияют электрические и магнитные свойства цели, характер поверхности и относительные размеры цели. Реальные цели можно представить в виде комбинации областей локализации вторичного излучения, гладких и шероховатых поверхностей и большого числа элементарных отражателей. ЭПР таких целей имеет сложный характер, изменяется от ракурса цели и оценивается статистическими характеристиками (например, средним значением). Измеряют ЭПР обычно в натуральных экспериментах или на моделях [2]. Нормализованные диаграммы обратного вторичного излучения МиГ-21 и F-15 представлены на рис. 2 и рис. 3 соответственно. [3]

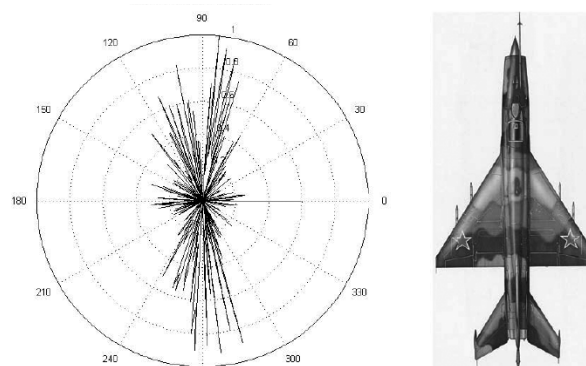


Рис.2. Диаграмма обратного вторичного излучения истребителя МиГ-21.

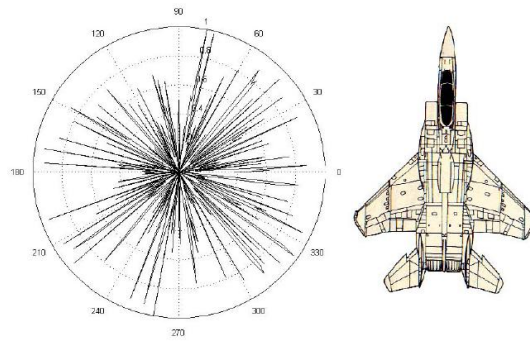


Рис.3. Диаграмма обратного вторичного излучения истребителя F-15.

Применение нейронной сети для кластеризации класса цели алгоритмом k-means

Предлагается вариант определения типа летательного аппарата по его трехмерной модели ЭПР и траекторным параметрам (высоте полёта, скорость по прямой, скорости набора высоты, скорости смены курса) с использованием нейросетевых технологий. Исходными данными для решения задачи является информация о тактико-технических характеристиках типов летательных аппаратов (диапазоны в которых могут находиться), базы данных эталонных ЭПР летательных аппаратов, вычисленные из измеренных координатных параметров значения скорости траекторных параметров средствами РЛС.

Решение задачи начинается с обработки графиков обратной диаграммы направленности различных воздушных судов. Данные значения необходимо преобразовать в эталонную трехмерную модель ЭПР воздушного судна, с различными вариантами эволюции маневров, для конкретной РЛС, с заранее известной несущей частотой и разрешающей способностью по азимуту и углу места. Примеры такой 3D-модели, для различных несущих частот и при различных углах тангажа, представлен на рис. 4. [4]

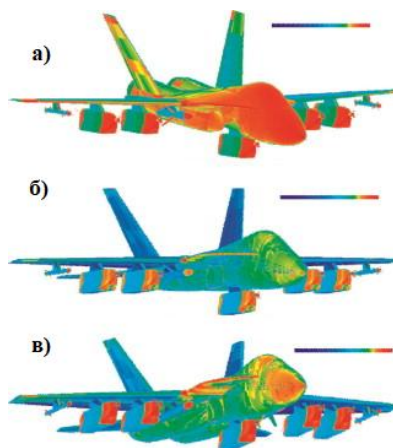


Рис.4. Трехмерная модель диаграммы обратно вторичного излучения для различных углов тангажа и диапазона частот: а – угол тангажа -5° , несущая частота в диапазоне 300 МГц-3 ГГц; б - угол тангажа 0° , несущая частота в диапазоне 8-12 ГГц; в – угол тангажа 5° , несущая частота в диапазоне 2-4 ГГц.

Также для максимизации правдоподобности необходимы тактико-технические характеристики соответствующих летательных аппаратов. По ним делаются однозначные выводы о том, какие воздушные параметры наиболее характерны для того или иного типа воздушного судна. [1]

В качестве алгоритма кластеризации данных для нейронной сети предлагается применить k-means.

Алгоритм k-средних (англ. k-means) - один из алгоритмов машинного обучения, решающий задачу кластеризации. Этот алгоритм является неиерархическим, итерационным методом кластеризации, он получил большую популярность благодаря своей простоте, наглядности реализации и достаточно высокому качеству работы. [5]

Алгоритм k-средних строит k кластеров, расположенных на возможно больших расстояниях друг от друга. Основной тип задач, которые решает алгоритм k-средних, - наличие предположений (гипотез) относительно числа кластеров, при этом они должны быть различны настолько, насколько это возможно. Выбор числа k может базироваться на результатах предшествующих исследований, теоретических соображениях или интуиции. [6]

Общая идея алгоритма: заданное фиксированное число k кластеров наблюдения сопоставляются кластерам так, что средние в кластере (для всех переменных) максимально возможно отличаются друг от друга. Пример реализации алгоритма k-средних представлен на рис. 5. Блок-диаграмма работы алгоритма k-средних представлена на рисунке 6.

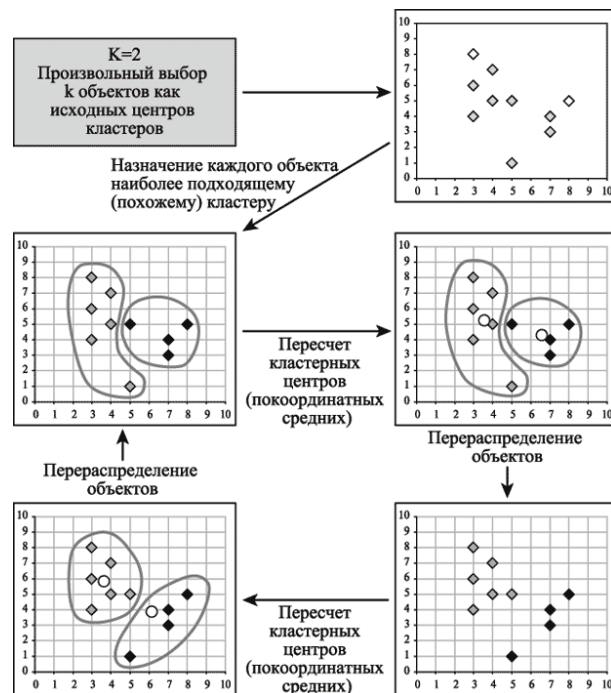


Рис.5. Пример работы алгоритма k-средних при k=2.

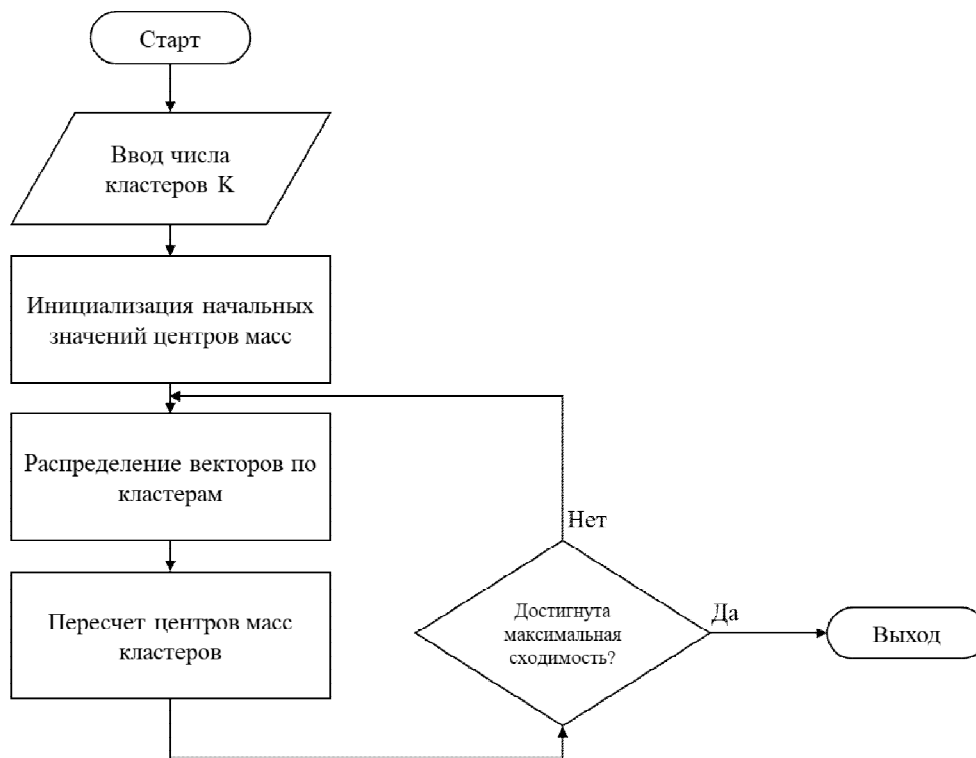


Рис.6. Блок-диаграмма алгоритма k-средних.

Достоинства алгоритма k-средних:

- Алгоритм прозрачный и понятный, за счет чего очень прост в реализации;
- Алгоритм имеет высокую скорость работы в случае выбора оптимальных начальных значений центров масс кластеров.

Недостатки алгоритма k-средних:

- Алгоритм может сойтись к локальному минимуму (достижение глобального минимума не гарантируется);
- Результат сильно зависит от выбора начальных значений центров масс кластеров;
- Чувствительность к выбросам и шумам, так как они учитываются при вычислении центров масс кластеров. [7]

Заключение

Применяя данный алгоритм для решения задачи распознавания воздушных целей будем считать, что каждый кластер соответствует определенному типу воздушного судна. Вход для этого алгоритма будет набор векторов (ТТХ и ЭПР). За счет выполнения процедуры обучения каждому типу воздушного судна будет представлено свое многомерное векторное пространство.

В дальнейшем обученная нейросеть сможет с определенной степенью вероятности спрогнозировать принадлежность обнаруженного воздушного судна к определенному классу, т.е. выполнить процедуру распознавания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мазаков Е.Б., Антропов В.В.* Методика определения типа летательного аппарата//Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 1 (43). – С. 51-54.
2. *Бердышев В.П., Гарин Е.Н., Фомина А.Н.* Радиолокационные системы: учеб. // Красноярск: Сиб. федер. ун-т. – 2011. – 400 с.
3. *Mustafa Emre Aydemir and Ersin Gose* Recent Patents on Engineering: Radar Cross Section Identification of Air Targets using the Cosine Transform and Neural Networks//Turkish Air Force Academy Department of Electronics Engineering, Istanbul, Turkey. – 2012. – С. 65-69.
4. *Yue Kuizhia, b, Liu Wenlina, Li Guanxiong, Ji Jinzub, Yu Dazhao* Chinese Journal of Aeronautics: Numerical simulation of RCS for carrier electronic warfare airplanes// Systems Engineering and Electronics. – 2015. – 36(5). – С. 852-858.
5. Электронный ресурс [https://algowiki-project.org/ru/Алгоритм_k_средних_\(k-means\)](https://algowiki-project.org/ru/Алгоритм_k_средних_(k-means)) дата обращения 08.09.2020.
6. Электронный ресурс <https://www.intuit.ru/studies/courses/6/6/lecture/184> дата обращения 08.09.2020.
7. Электронный ресурс <https://algowiki-project.org/ru/> Участник: IanaV/ Алгоритм_k_means дата обращения 08.09.2020.

УДК 520.874.3

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ В S- ДИАПАЗОНЕ

Ильченко А.В., Угланов А.И., Цилуйко Д.Ю.
Военный инновационный технополис «ЭРА», г.Анапа

Введение

Формирование оперативной и точной оценки частотных параметров отраженного сигнала, а также доплеровского сдвига частоты является необходимым условием эффективной работы радиолокационной станции (РЛС). В настоящее время в задачах радиолокации существует проблема, связанная с измерением частотных параметров радиосигналов, отраженных от быстроманеврирующих радиолокационных целей.

Длительность принятого сигнала (время его существования) зачастую оказывается недостаточной для проведения измерений с заданной погрешностью. Например, используя быстрое преобразование Фурье для оценки центральной частоты, удается добиться низкой погрешности измерений за счет увеличения времени наблюдений сигнала, что не всегда представляется возможным.

Следовательно, необходимо использовать такие алгоритмы измерения центральной частоты, которые позволят обеспечить необходимую погрешность при заданном времени существования сигнала.

Метод измерения центральной частоты

В настоящее время для оценки центральной частоты радиосигналов широко используется метод моментов [1], в соответствии с которым центральная частота определяется следующим образом

$$\omega_0^* = \frac{\int_0^{\infty} \omega S^2(\omega) d\omega}{\int_0^{\infty} S^2(\omega) d\omega}, \quad (1)$$

где $S(\omega)$ – спектральная плотность сигнала $x(t)$, ограниченного интервалом $(0, T)$.

Используя теорему Парсеваля [2], из формулы (1) получим:

$$\omega_0^* = \frac{\int_0^T [D^{1/2}[x(t)]]^2 dt}{\int_0^T x^2(t) dt},$$

где $D^{1/2}[x(t)] = F^{-1}\{\sqrt{j\omega}F^1[x(t)]\}$ – оператор дробного дифференцирования порядка 1/2, аналитическое выражение которого имеет вид:

$$D^{1/2}(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{x(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} d\tau,$$

где F^1, F^{-1} – операторы прямого и обратного преобразования Фурье.

В работах [3-5] рассматривалась возможность использования математического аппарата дробного дифференцирования для решения задач измерения частотных параметров, а именно, несущей частоты радиосигнала. В работах [5-6] было проведено моделирование, направленное на исследование среднеквадратического отклонения оценки центральной частоты частотно-манипулированного сигнала, относительную погрешность оценки частоты, а также приведен способ реализации измерителя на базе двух КИХ фильтров.

Исследования в работе [6] показали, что для реализации частотного измерителя на базе КИХ фильтров необходимо и использовать фильтры высоких (500 и выше) для достижения удовлетворительных результатов. Однако, чем выше порядок КИХ фильтра, тем больше операций умножения необходимо вычислять.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) дробно-дифференцирующего фильтра имеет вид $H(j\omega) = \sqrt{j\omega}$, следовательно АЧХ может быть аппроксимирована БИХ фильтрами верхних частот (ФВЧ) первого порядка.

На рисунке 1 приведена иллюстрация аппроксимации АЧХ дробно-дифференцирующего фильтра ФВЧ первого порядка с разными частотами среза ω_{cp} и коэффициентами усиления K .

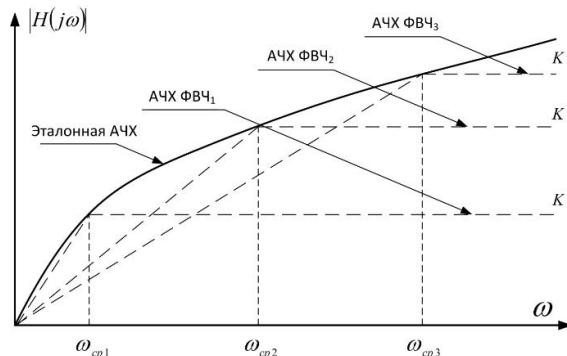


Рис.1. Способ аппроксимации АЧХ дробно-дифференцирующего фильтра

Из рисунка 1 видно, что с помощью одного ФВЧ не удастся добиться точной аппроксимации эталонной характеристики. Следовательно, дробно-дифференцирующий фильтр может быть представлен в виде набора ФВЧ в количестве i штук с частотами среза $\omega_{cp i}$ и коэффициентами усиления K_i .

При аппроксимации эталонной характеристики воспользуемся структурной схемой, приведенной на рисунке 2.

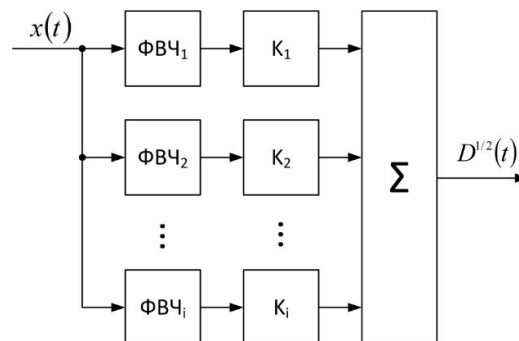


Рис.2. Способ аппроксимации АЧХ дробно-дифференцирующего фильтра

В структурной схеме устройства, приведённой на рисунке 2, входной сигнал $x(t)$ проходит через каскад параллельно включенных ФВЧ с частотами среза $\omega_{cp i}$, при этом выходной сигнал каждого ФВЧ усиливается в K_i раз и поступает в сумматор, где $D^{1/2}(t)$ – сигнал на выходе дробно-дифференцирующего фильтра. Подбор параметров $\omega_{cp i}$ и K_i обеспечит приближение частотной характеристики дробно-дифференцирующего фильтра к аналитической.

Было проведено исследование алгоритма (2), в котором дробно дифференцирующий фильтр был выполнен в виде набора 3 ФВЧ, включенных согласно рисунку 2. Параметры моделирования: частота дискретизации 20 ГГц, интервал наблюдений 0,1 мс, диапазон частот 2-4 ГГц. Параметры ФВЧ были подобраны итерационным методом.

Критерием точности синтеза дробно-дифференцирующего фильтра примем зависимость относительной погрешности оценки частоты δ от частоты f_0 входного тестового гармонического сигнала вида $\sin(2\pi f_0 t)$. Погрешность оценки частоты имеет вид

$$\delta = \frac{|f_0^* - f_0|}{f_0} \cdot 100\%,$$

где f_0 – частота входного тестового сигнала; f_0^* – результат оценки частоты. Результат моделирования приведен на рисунке 3.

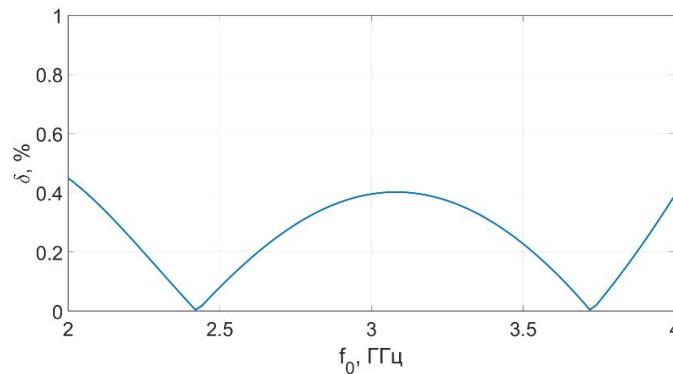


Рис.3. Относительная погрешность оценки частоты

Таким образом, результат моделирования показал, что алгоритм оценки частоты (2) обеспечивает относительную погрешность оценки в S-диапазоне не более 0,5% за интервал наблюдения 0,1 мс. При этом, дробно-дифференцирующий фильтр был реализован на базе 3 ФВЧ первого порядка, что значительно снижает необходимость выполнения большого количества операций умножения, как в случае реализации на базе КИХ фильтров. Для уменьшения погрешности оценки частоты необходимо наращивать количество ФВЧ в каскаде, а также увеличить точность аппроксимации характеристик каскада ФВЧ по отношению к эталонной частотной характеристике дробно-дифференцирующего фильтра.

Заключение

Таким образом, был рассмотрен метод измерения центральной частоты радиосигналов, который позволяет увеличить скорость формирования оценки частоты путем снижения количества необходимых математических операций. Дальнейшее исследование и оптимизация данного алгоритма позволит осуществлять оценку частотных параметров с более низкой погрешностью и дальнейшей передачей этой информации для решения задач обнаружения радиолокационных целей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рембровский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг. Задачи, методы, средства // М.: ИП Горячая линия – Телеком. – 2012, - С. 217.

2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы // М.: Радио и связь – 1986.

3. Захарченко В.Д., Коваленко И.Г. Оценка радиальной скорости объектов методом дробного дифференцирования доплеровского сигнала РЛС // Microwave & Telecommunication Technology. – Севастополь. – 2013.

4. Захарченко В.Д., Брыжин А.А. Использование дробного дифференцирования в задачах цифровой обработки доплеровских сигналов при оценке центра тяжести спектра // 3-я Международная Конференция DSPA-2000 / Волгоград – 2001.

5. Ильченко А.В. Оценка центральной частоты частотно-манипулированного сигнала методом дробного дифференцирования. Материалы Всероссийской науч.-техн. конф. с международным участием «КомТех-2019». — Ростов-на-Дону – Таганрог // изд-во ЮФУ, – 2019. – С. 217-222.

6. Ильченко А.В., Клименко П.П. Исследование метода реализации алгоритма дробного дифференцирования с применением КИХ фильтров: Проблемы современной системотехники – сборник научных статей. – Таганрог // Изд-ль ИП Ступин С.А., – 2019. – С. 18-22.

ВИРТУАЛЬНЫЙ ПРИБОР ГЕНЕРАТОРА РЕЧЕПОДОБНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ПОМЕХИ ТИПА ШАМАН

Корниенко В.Т., Рябчинский М.А.

ЮФУ, Институт Радиотехнических Систем и Управления, г. Таганрог

Рассмотрено такое эффективное средство защиты передаваемой речевой информации от утечки по техническим каналам как генератор речеподобных помех. В работе предложен алгоритм формирования речеподобной помехи, реализованный в виде виртуального прибора LabVIEW.

Генераторы шума с оконечными акустическими и виброакустическими излучателями различных типов создают соответствующие маскирующие шумовые помехи, затрудняя третьей стороне получить доступ к передаваемой речевой информации, как при организации защиты выделенных помещений, так и при передаче по радиоканалам [1].

В настоящее время создано большое количество различных систем активной акустической и виброакустической маскировки, успешно используемых для подавления средств перехвата речевой информации [2,3], среди которых в качестве прототипа для реализации рассматриваемого алгоритма выбран блокиратор прослушивающих устройств «Шаман» [4]. Данное устройство имеет оригинальный алгоритм формирования акустической помехи типа «речевой хор», исключая возможность применения современных методов шумоочистки для восстановления исходного речевого сигнала. Небольшие габариты и автономность работы такого подавителя

диктофонов позволяют использовать прибор при оперативной работе во время проведения переговоров как в замкнутых пространствах – выделенных помещениях, автомобилях, так и на открытой местности. Известно, что речеподобная помеха оказывает меньше утомляющее и раздражающее воздействие на человека по сравнению с акустическим белым шумом. Основные характеристики генератора помех «Шаман» рассчитаны на функционирование в диапазон рабочих частот от 400 до 8000 Гц и при максимальном уровне речеподобной помехи обеспечивают остаточную словесную разборчивость электронной записи речевого сигнала не более 20% и словесную разборчивость акустического сигнала для участников конфиденциальных переговоров не менее 85%.

Взяв за прототип алгоритм функционирования рассмотренного выше генератора речеподобной помехи, сформирована модель системы маскирования речевого сигнала речеподобной помехой. Суть предлагаемого алгоритма заключается в следующем.

Формирование речеподобной помехи производится считыванием одного записанного звукового речевого файла в виде хорового пения в простейшем случае, а в более сложном варианте осуществляется смешивание фрагментов записей из библиотеки звуковых файлов различных видов хорового пения.

Алгоритм основывается на эффекте частотно-временной маскировки [5], аналитически заключающейся в подаче на вход системы вектора входных сигналов X , которые представляют собой акустические смеси исходных речеподобных сигналов S и при заданной матрице A смешивания сигналов, на выходе системы формируется выходной вектор

$$Y = A^{-1}X.$$

Речевой сигнал помехи может быть разложен на узкополосные частотные составляющие, задержки в которых могут быть аппроксимированы фазовыми сдвигами в каждой полосе частот.

Для эффекта временной маскировки во временной области выходной сигнал речеподобной помехи такой системы из M временных сегментов с началом выборки каждого из них в моменты времени T_m разных речевых записей может быть представлен как:

$$\hat{S}(t) = \sum_{m=1}^M x_m(t - T_m)$$

Для эффекта частотной маскировки выходной сигнал системы в частотной области представляет собой сумму частотных компонент:

$$S_{out}(f) = \sum_{n=1}^N w_n^2(f) x_n(f)$$

где $x_n(f)$ – спектр n -го речевого сигнала на входе, $w_n(f)$ – функционал частотного преобразования.

Передаваемое речевое сообщение аддитивно смешивается с сформированной речеподобной помехой и в итоге получается маскированный речевой сигнал.

Виртуальный прибор разработанной модели, представленный на рис.1, предусматривает использование одного звукового файла в качестве речеподобной помехи, имеющей максимум спектральной плотности мощности в области нижних частот спектра, а для равномерного распределения спектральной плотности мощности речеподобной помехи по всему диапазону частот от 400 Гц до 8 кГц предусмотрено преобразование частоты с целью переноса спектральных составляющих помехи в область верхних частот спектра вплоть до 8 кГц. Диаграмная панель виртуального прибора представлена на рис.2, а принцип расширения спектра речеподобной помехи показан на диаграммной панели виртуального подприбора, изображенного на рис.3.

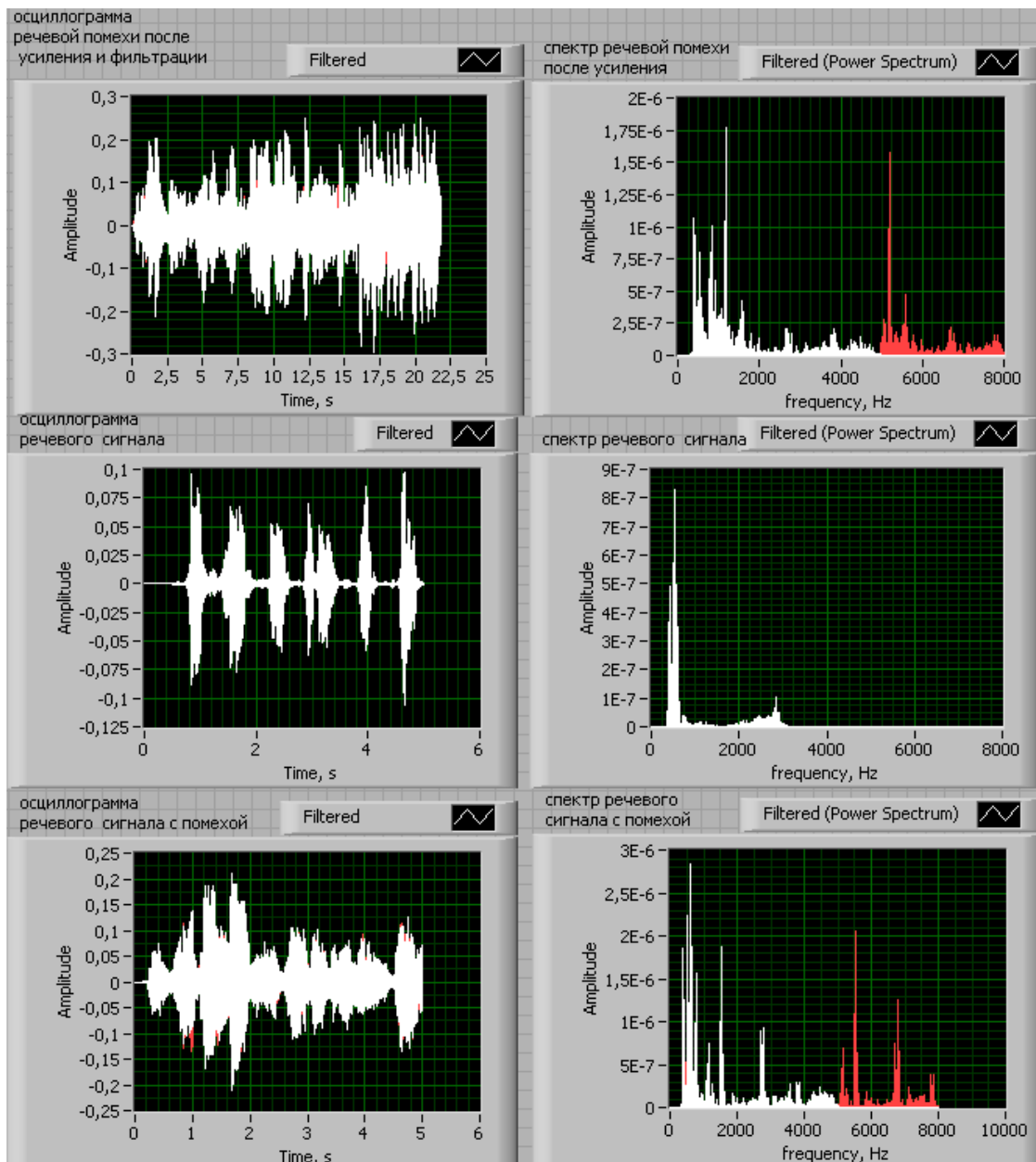


Рисунок 1 – Лицевая панель виртуального прибора LabVIEW модели маскирования речевого сигнала речеподобной помехой

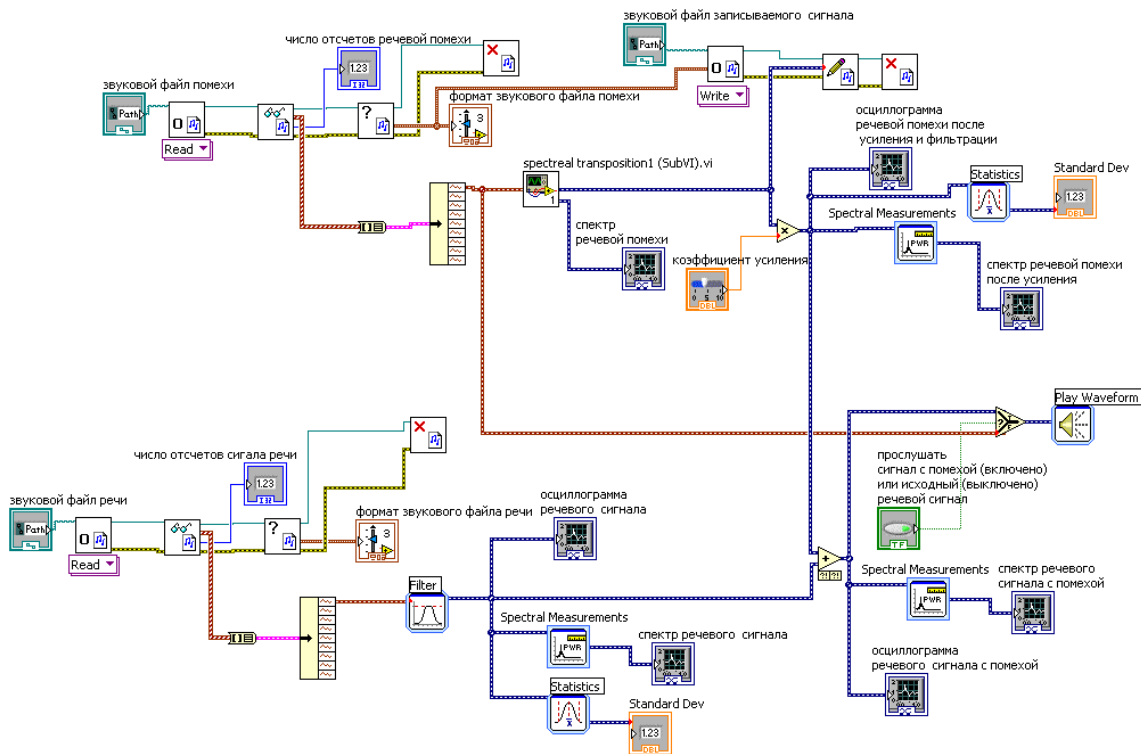


Рисунок 2 – Блок-диаграмма виртуального прибора LabVIEW для осуществления маскирования речевого сигнала речеподобной помехой

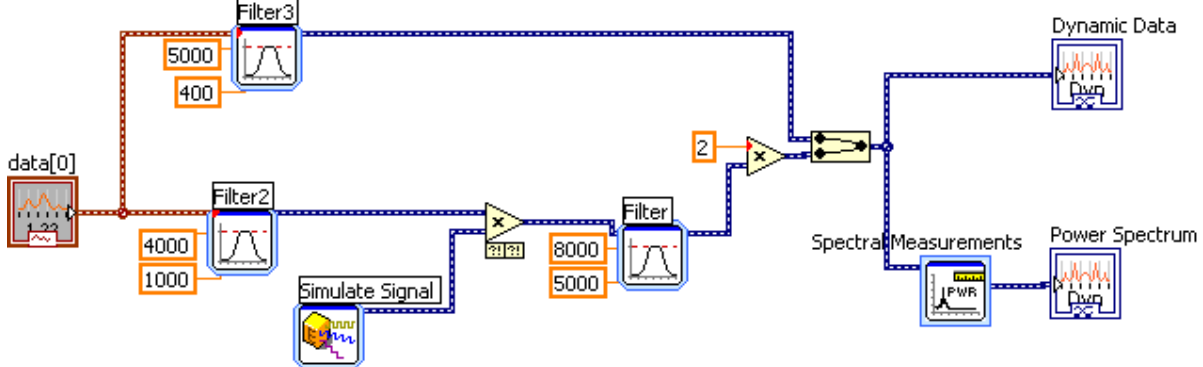


Рисунок 3 – Блок-диаграмма виртуального подприбора для осуществления расширения спектра речеподобной помехи

В результате эксперимента с созданным виртуальным прибором LabVIEW при полученных оценках значений среднеквадратического отклонения речевого сигнала до маскирования, равного 0,012 В, а также среднеквадратического отклонения речеподобной помехи, изменяемого от 0,077 В до 0,77 В, оценка остаточной словесной разборчивости составила соответственно от 85% до 10%, которая была получена с помощью созданного виртуального прибора, основанного на использовании известных соотношений инструментально-расчетного метода ее оценки [1-3].

Таким образом, представленный алгоритм и его реализация в виде виртуального прибора LabVIEW позволяют в условиях лабораторного эксперимента провести анализ маскирования исходного речевого сигнала,

обеспечивая низкий уровень остаточной словесной разборчивости при достаточной простоте своей реализации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хорев А. А., Царев Н. В. Способ и алгоритм формирования речеподобной помехи // Вестник ВГУ, серия: системный анализ и информационные технологии, 2017, № 1, с.57-67
2. Трушин В. А., Иванов А. В. Возможности снижения интегрального уровня помехи в средствах активной защиты речевой информации (состояние и перспективы) // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2018. – Т. 21. – №. 2.;
3. Оценка эффективности защиты акустической (речевой) информации / [Электронный ресурс] / <https://itsec2012.ru/ocenka-effektivnosti-zashchity-akusticheskoy-rechevoy-informacii> (дата обращения: 28.10.2020)
4. Генератор речеподобной акустической помех ШАМАН / [Электронный ресурс] / URL:<http://gkshield-security.ru/catalog/item/shaman> (дата обращения: 28.10.2020).
5. Wang D.L. Time–Frequency masking for speech separation and its potential for hearing aid design / D. L. Wang // Trends in Amplification. – 2008. – V. 12. – № 4. – P. 332–353.

СТЕНОГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ СКРЫТЫХ СООБЩЕНИЙ В СЕТИ ТРАНКИНГОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

Корниенко В.Т., Звягина О.Н.

ЮФУ, Институт Радиотехнических Систем и Управления, г. Таганрог

Рассмотрена стеганографическая подсистема в сети транкинговой радиосвязи, предназначенная для скрытой рассылки ключей шифрования потока данных

Современные системы транкинговой радиосвязи предусматривают шифрование аудиопотока для безопасности соединений абонентов сети. В таких системах предусмотрены несколько типов шифрования. Базовая станция обеспечивает непрерывную рассылку ключевой информации для абонентских радиостанций. Устройства данного типа непрерывно развиваются, поэтому тема работы достаточно актуальна. В данной статье предложен алгоритм для скрытой рассылки ключей шифрования, использующий особенности кодирования потока данных с использованием кода Рида-Маллера.

Структурная схема стенографической подсистемы передачи скрытых сообщений для радиостанции в ее приемо-передающей части размещается между речевым кодеком IMBE и модулятором/демодулятором и укрупнено включает в себя такие структурные блоки как шифратор/дешифратор AES, кодек Рида-Маллера и блок обработки стегоконтейнера.

Сущность работы рассмотренной стеганографической подсистемы сводится к следующему. Кодирование зашифрованного потока речевых данных осуществляется пакетами по по 3 байта. В этом случае для кодера Рида-Маллера $R(1,4)$ при кодировании $n_u = 5$ информационных разрядов формируется блочный неразделимый код с минимальным кодовым расстоянием $d_{min} = 2^{m-h} = 2^{nu-1-h}$, где $n_u = m+1$ [7] при длине кодовой комбинации натурального кода $n = 2^{nu-1} = 16$ разрядов. Таким образом, процесс кодирования распараллеливается на 5 каналов с формированием пяти 16-разрядных кодовых слов (кодограмм). В таком случае получается, что в четырех каналах будет происходить процесс кодирования по 5 информационных бит данных зашифрованного речевого потока, а в пятом канале последние четыре информационных бита дополняются 1 служебным битом, который представляет собой бит ключа, скрываемый в каждой пятой кодограмме. Следовательно, стегоконтейнером для передачи ключа будут являться кодограммы потока речевых данных.

Для рассмотрения функциональной схемы стеганографической подсистемы для начала проанализируем функциональную схему кодера Рида-Маллера, представленную на рис.1, а затем декодера.

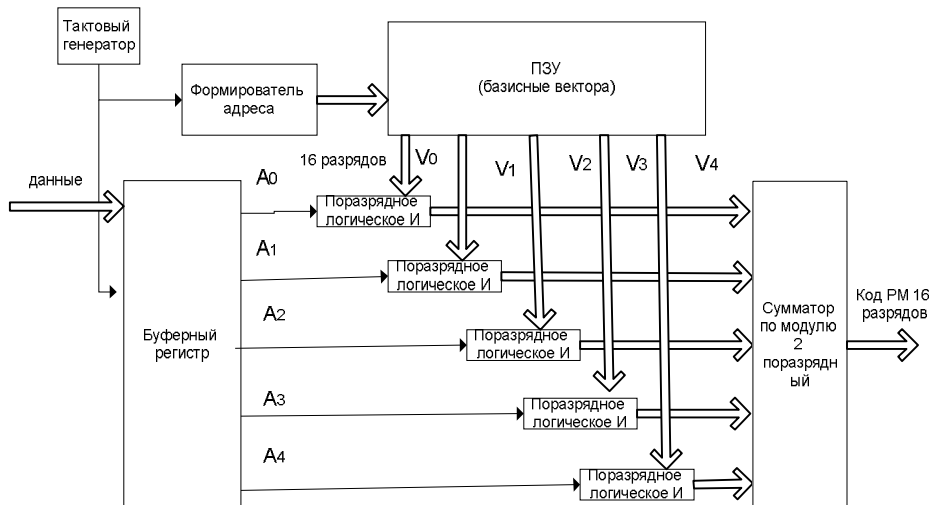


Рис.1 – Функциональная схема кодера Рида-Маллера

Данные подаются на вход 24 разрядного буферного регистра. Над символами входной кодовой комбинации a_i , с выхода буферного регистра применяется операция логического умножения на базисные вектора V_i для формирования кодовой комбинации R кода Рида-Маллера. Порождающая матрица G , первая строка которой содержит n единиц, следующие $(n_u - 1)$ строк содержат чередующиеся последовательности нулей и единиц, представляет собой униполярные функции Радемахера $r_j(i)$, $j=0,5$; $i=0,16$ (базисные вектора), расставленные несколько в определенном порядке и для кода Рида-Маллера порядка $h=1$ при числе кодируемых бит $n_u=5$ [7] имеет следующий вид

$$G = \begin{pmatrix} V_5 \\ V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1111111111111111 \\ 0101010101010101 \\ 0011001100110011 \\ 0000111100001111 \\ 0000000011111111 \end{pmatrix}$$

Базисные векторы записаны в ПЗУ и считываются из него такт за тактом для каждой операции логического умножения вектора V_i на входную кодовую комбинацию a_i с последующим поразрядным суммированием по модулю 2. В итоге кодовая комбинация R Рида-Маллера формируется по правилу, задаваемому соотношением

$$R = a_1 v_1 \oplus a_2 v_2 \oplus a_3 v_3 \oplus a_4 v_4 \dots \oplus a_n v_n ,$$

где

a_i – i -й символ кодируемой кодовой комбинации;

V_i – i -й базисный вектор.

Структура формируемого кадра сообщения имеет максимальную длину 64 байта, причем в первом байте передается количество информационных байт в пакете, а потом следуют 63 байта данных. Получается, что в процессе кодирования 1-го байта формируется 1 кодограмма, которая содержит информацию о количестве информационных байт в пакете, а при кодировании следующих блоков по 3 байта – до 21 кодограммы, которые содержат полезную нагрузку. В результате формирования за один такт 5 кодограмм с выхода буферного регистра считывается 80 бит закодированных данных. Первая кодограмма содержит 2 кодовых 16-разрядных слова, а кодограммы полезной нагрузки содержат по 5 кодовых 16-разрядных слов. Значит размер пакета закодированных данных будет составлять $2 \cdot 16 + 5 \cdot 16 \cdot 21 = 1712$ байт.

Функциональная схема блока формирования стегоконтейнера изображена на рис.2.

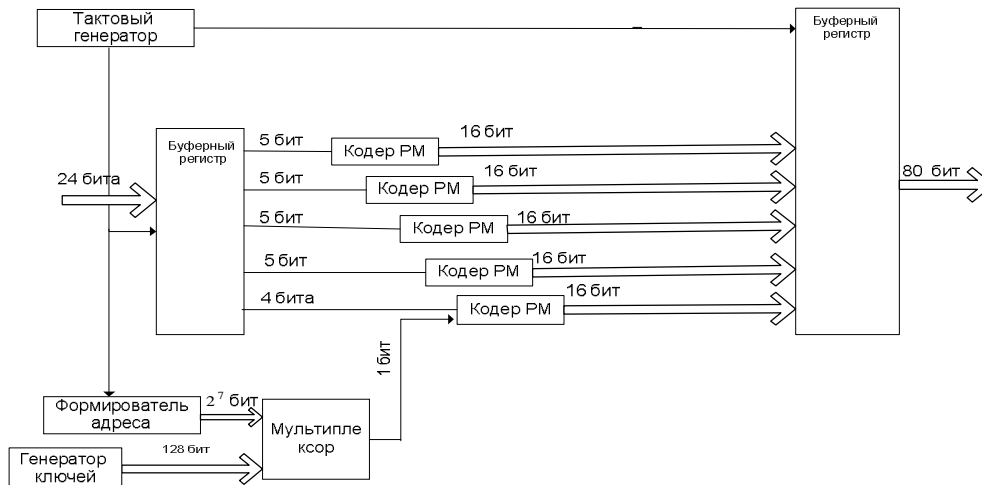


Рис.2 – Функциональная схема блока формирования стегоконтейнера

Так как первый байт формируемого кадра, являющийся служебным, содержит информацию о числе кодограмм в кадре, которых всего 22, то для представления этого числа в этом информационном поле потребуется 6 разрядов, а 2 старших разряда могут быть заполнены служебной информацией, т.е. позволяют скрыто передать 2 бита ключа. Последующие 21 кодограмма каждая позволяет встроить по 1 биту ключа. Таким образом, общее число скрываемой информации в кадре составляет $2+1*21=24$ бит. Следовательно, для скрытой передачи ключа шифрования AES, равного 128 бит, потребуется 5 полных кадров, содержащих скрытые в них 120 бит, и 6-й кадр, содержащий еще 8 бит скрываемой информации.

Прием информации начинается с синхропосылки, которая состоит из преамбулы, необходимой для тактовой синхронизации, и стар-стопного сигнала, определяющего начало кадра информации. После этого происходит декодирование кодовых слов Рида-Маллера при одновременном извлечении скрытых данных (128 бит ключа шифрования) из стегоконтейнера кодограмм.

Блок извлечения стегоконтейнера аналогичен блоку формирования стегоконтейнера, а функциональная схема декодера Рида-Маллера изображена на рис. 3.

Декодирование кодовой комбинации Рида-Маллера на приемной стороне происходит следующим образом. Входной поток кодовых слов Рида-Маллера поступает на входной буферный регистр, из символов g_i формируется (n_u-1) групп контрольных пар символов для суммирования по модулю 2, причем в первой группе складываются пары символов, расстояние между которыми будет равно 2^0 , во второй группе складываются пары символов, расстояние между которыми будет 2^1 , в третьей группе – с расстоянием 2^2 , в четвертой – с расстоянием 2^3 и т. д.

Далее каждая сформированная группа контрольных сумм пар символов поступает на вход мажоритарной схемы, выходом каждой из которых является декодированный разряд a^i , подающийся затем на выходной буферный регистр.

При этом для декодирования старшего разряда формируется не группа, а вектор на основе суммирования по модулю два принятой кодовой комбинации Рида-Маллера R , возможно искаженной в процессе передачи, и базисных векторов порождающей матрицы в соответствии с выражением

$$W = R \oplus a^1 V_1 \oplus a^2 V_2 \oplus \dots \oplus a^{n-1} V_{n-1},$$

где

R – это принятая кодовая комбинация Рида-Маллера;

a^i – i -й декодированный символ;

V_i – i -й базисный вектор;

$a^i V_i$ – операция логического умножения вектора V_i на переменную a^i .

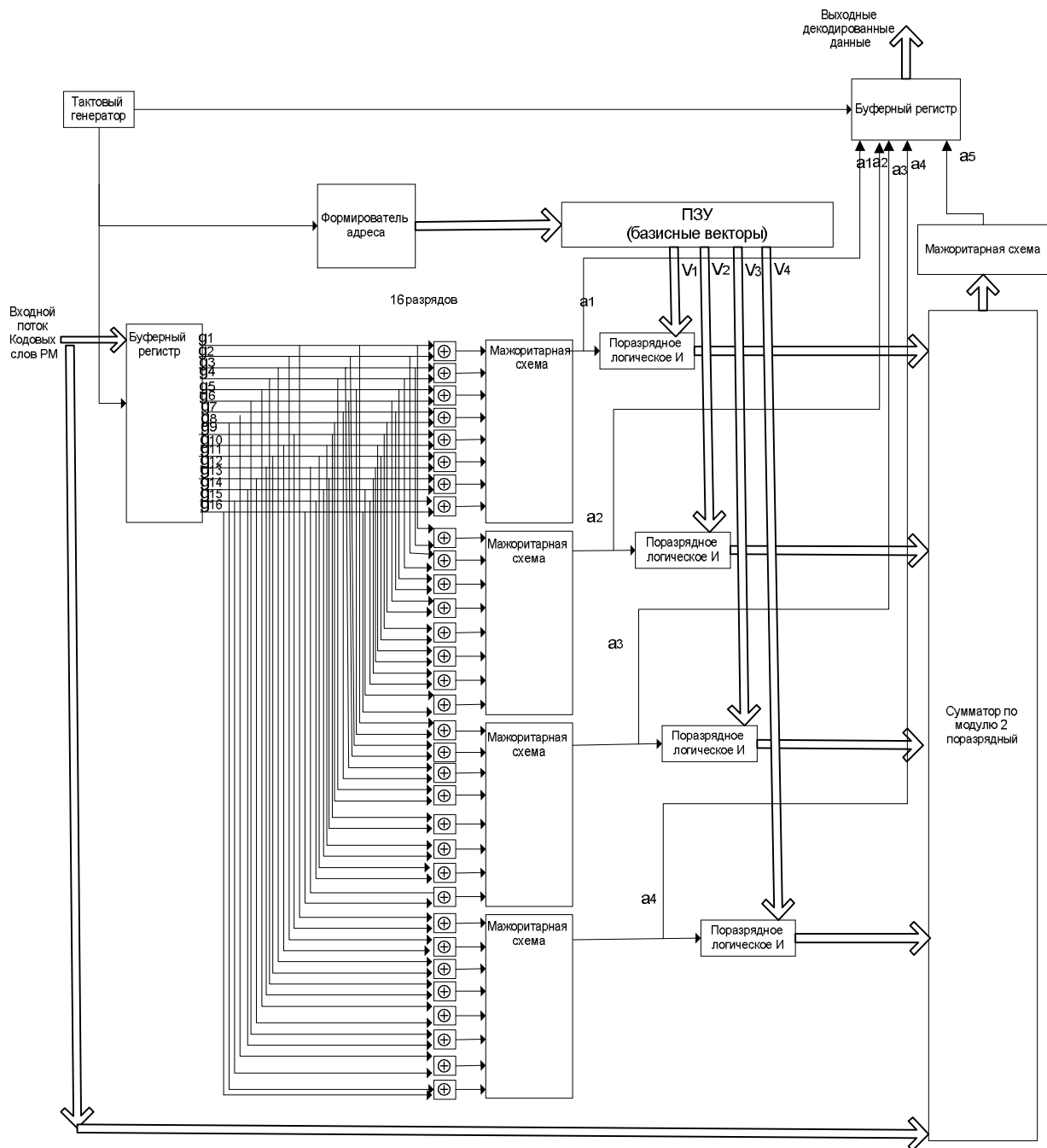


Рис.3 – Функциональная схема декодера Рида-Маллера

Таким образом, предложенное построение стеганографической подсистемы позволит осуществлять рассылку ключей шифрования речевого потока данных в кодовых словах помехоустойчивого кода Рида-Маллера, предоставляя новые возможности для скрытой передачи служебной информации в сети транкинговой радиосвязи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Усманов Н. Р., Шафиков Р. Д. Шифрование речевых сообщений. – Челябинск: ЮУрГУ, 2012,

2. Овчинников А.М., Лазин А.С. Устройства защиты информации для средств УКВ радиосвязи - <https://docplayer.ru/55467635-Ovchinnikov-a-m-lazin-a-s-ustroystva-zashchity-informacii-dlya-sredstv-ukv-radiosvyazi.html>

3. Овчинников А.М. Открытые стандарты цифровой транкинговой радиосвязи. Издательство: Москва : 2000

4. Морелос–Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. – М.: Техносфера, 2005.

5. Корниенко В.Т. Повышенные эффективности системы условного доступа при рассылке группового ключа // Известия ЮФУ. Технические науки, 2015. – Тематический выпуск №4.

МОДЕЛЬ ЗАЩИЩЕННОГО ПРОТОКОЛА ПЕРЕДАЧИ ДАНЫХ СЕТИ СВЯЗНЫХ РАДИОСТАНЦИЙ

Корниенко В.Т., Кузьмина О.Н.

ЮФУ, Институт Радиотехнических Систем и Управления, г. Таганрог

Проведен анализ уровней безопасности передачи речевой информации в цифровой сети связи, основанной на IP ядре. Рассмотрен виртуальный прибор LabVIEW модели транспортного протокола безопасности

В цифровых системах транкинговой радиосвязи для передачи защищенных речевых данных в реальном времени служит протокол обеспечения безопасности (SRTP–SecureReal-timeTransportProtocol), предназначенный для шифрования, установления подлинности сообщения, обеспечения его целостности и защиты от замены данных при передаче речи транспортным протоколом реального времени RTP. Инкапсуляция речевых кадров в кадры транспортного, сетевого и канального с физическим уровнями базовой типовой модели семейства протоколов TCP/IP показана на рис.1. Здесь в основе транспортного уровня выбран быстрый протокол передачи пользовательских датаграмм UDP.

Для шифрования аудио потока используется шифр AES, но при мягких требованиях к конфиденциальности протоколом SRTP предусматривается использование так называемого «пустого шифра», который не выполняет шифрования, но предусматривает обеспечение аутентификации и целостности сообщения с применением хэш-функций.

Таким образом, SRTP является как частью прикладного уровня, так и неотъемлемой частью транспортного уровня, обеспечивая первый слой защищенности канала передачи речи.

При жестких требованиях к конфиденциальности передаваемых сообщений вторым слоем защищенности может выступать протокол IPSec (IP Security), используемый для создания VPN (виртуальной частной сети) и являющийся неотъемлемой частью версии интернет протокола IPv6 и расширением существующих версий IPv4.

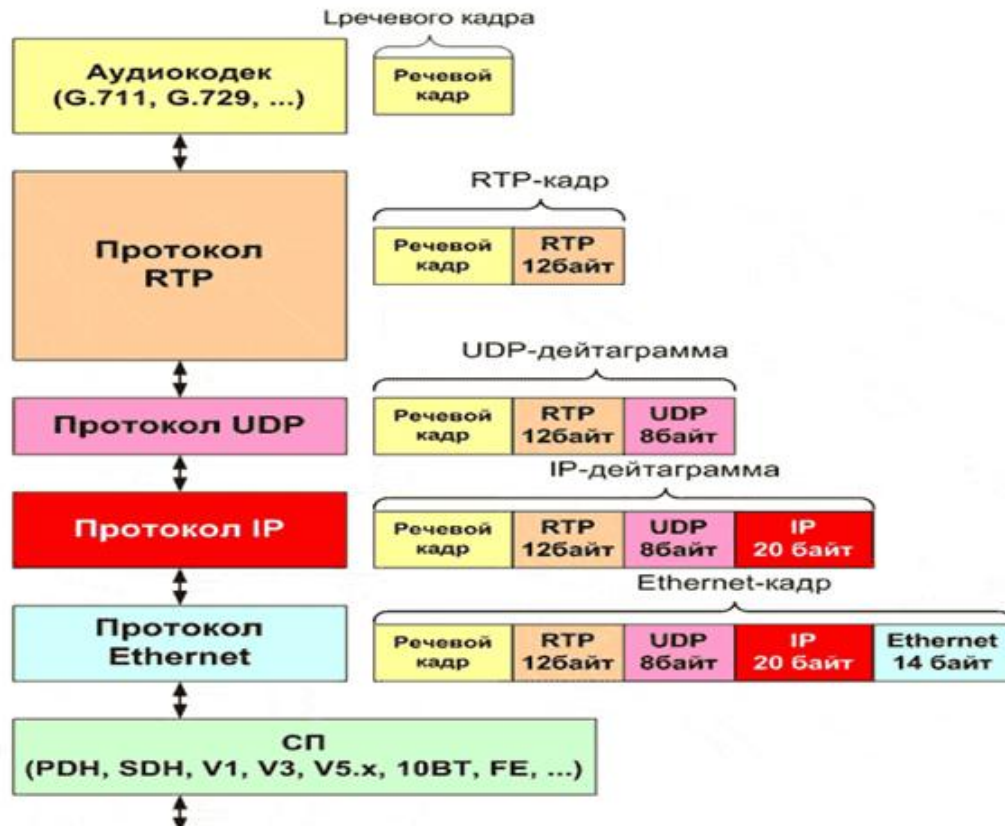


Рисунок 1 – Процесс инкапсуляции речевых кадров

Основными составляющими IPsec являются: аутентификационный заголовок (AH); безопасное шифрование данных (ESP); туннельный и транспортный режимы работы; ассоциации безопасности (SA) и управление ключами (IKE). Основные сервисы протокола IPsec реализуются с использованием двух протоколов безопасного трафика: заголовка аутентификации (AH) и инкапсулированной полезной нагрузки безопасности (ESP). Семейство компонентов IPsec показано на рис. 2.

Два протокола защищенного трафика AH и ESP могут применяться по отдельности либо в сочетании друг с другом для обеспечения нужного комплекта служб безопасности в IPv4 и IPv6. Каждый из протоколов поддерживает два режима работы: транспортный и туннельный. В транспортном режиме протоколы обеспечивают защиту основным образом с поддержкой протокола более высокого уровня, а туннельный режим применяется для скрытия заголовков IP-пакетов.

Пакеты IPsec передаются с применением IP-дейтаграмм. Заголовки IPsec (AH и ESP) расположены сразу после заголовка IP. Тип пакета, вставленного в IP, определяется содержимым поля протокола.

Протокол AH используется для аутентификации, но не для шифрования IP-трафика, и применяется для подтверждения правильного приема. Аутентификация осуществляется с поддержкой вычисления зашифрованного хэш-кода сообщения, которое охватывает почти все поля IP-пакета кроме тех,

которые могут быть изменены при транспортировке в канале связи, таких как время жизни пакета (TTL) либо контрольной суммы (HeaderChecksum).

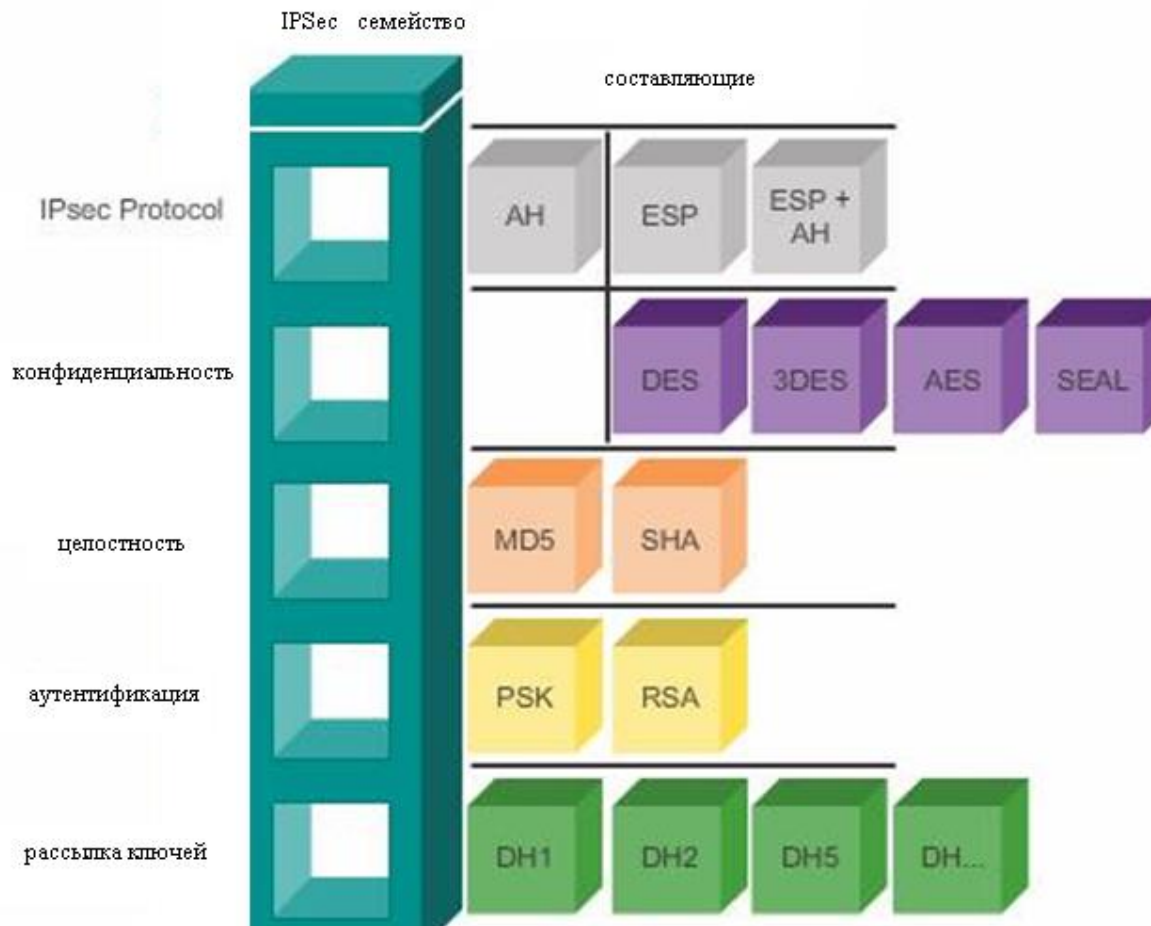


Рисунок 2 – Составляющие IPsec

В отличие от протокола AH, который вводит маленький заголовок перед полем данных, ESP имеет заголовок и концевик, окружая защищаемое поле данных. ESP может быть использован без шифрования (NULL алгоритм), не обеспечивая конфиденциальности, но в сочетании с аутентификацией ESP, использующей алгоритм HMAC, осуществляющей аутентификацию только ESP заголовка и зашифрованного поля данных.

Транспортный режим протоколов AH и ESP обеспечивает механизмы безопасности только для протоколов, которые начинаются с транспортного (TCP) уровня и выше, тогда как данные самого сетевого уровня (заголовок IP) остаются без дополнительной защиты (см. рис.3). Туннельный режим протоколов AH и ESP, сопровождающийся формированием нового IP-заголовка, можно охарактеризовать следующим: ESP обеспечивает скрытие всех данных, включая и адреса источника и получателя кадра, но не полную аутентификацию всего кадра, а AH полностью аутентифицирует, но не скрывает данные, как показано на рис.4.

Следовательно, совместное применение обоих протоколов обеспечивает наивысший уровень безопасности.

Экспериментальная реализация защищенного протокола передачи речевых данных осуществлена с использованием созданных виртуальных приборов передающей и приемной частей виртуальных терминалов, реализующих упрощенную модель первого слоя защищенности канала передачи речи с использованием протокола SRTP. Передающий и приемный модули системы используют протокол UDP, а шифрование осуществляется алгоритмом AES. Блок функции шифрования по алгоритму AES взят из набора блоков библиотеки CryptoTools, подключаемой к стандартной версии LabVIEW не ниже 14 года ее выпуска, а блоки функций протокола UDP входят в стандартный набор библиотек палитры функций раздела Data Communication>Protocols. Блок-диаграммы передающего и приемного модулей изображены на рис. 5, а лицевые панели виртуальных приборов приведены на рис. 6 при выключенном криптографическом шифраторе и дешифраторе – это стандартный режим работы протокола RTP.



Рисунок 3 –Транспортный режим протоколов АН и ESP



Рисунок 4 – Туннельный режим протоколов AH и ESP

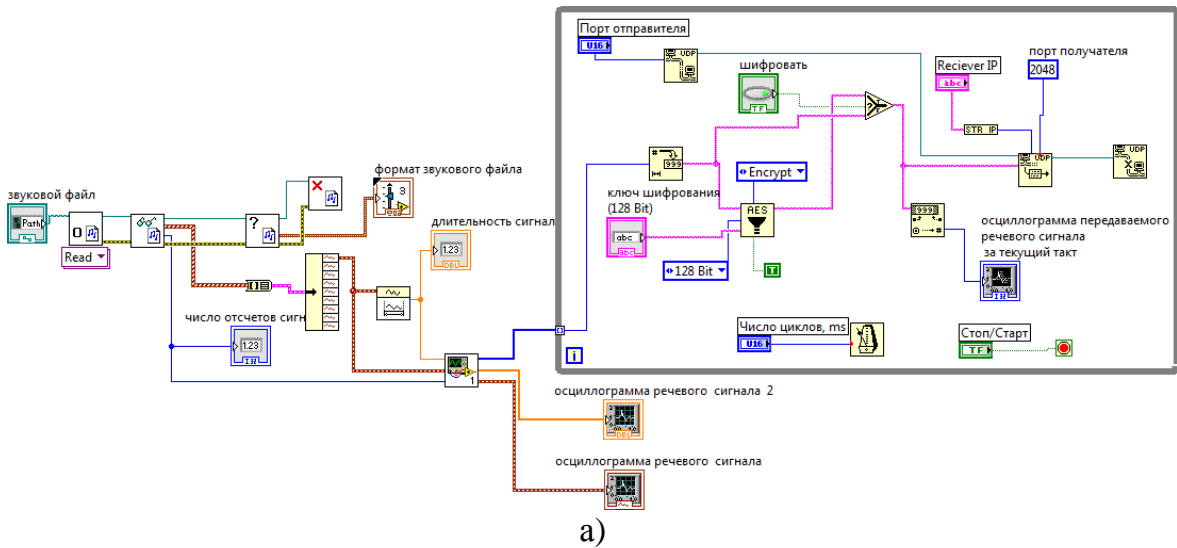
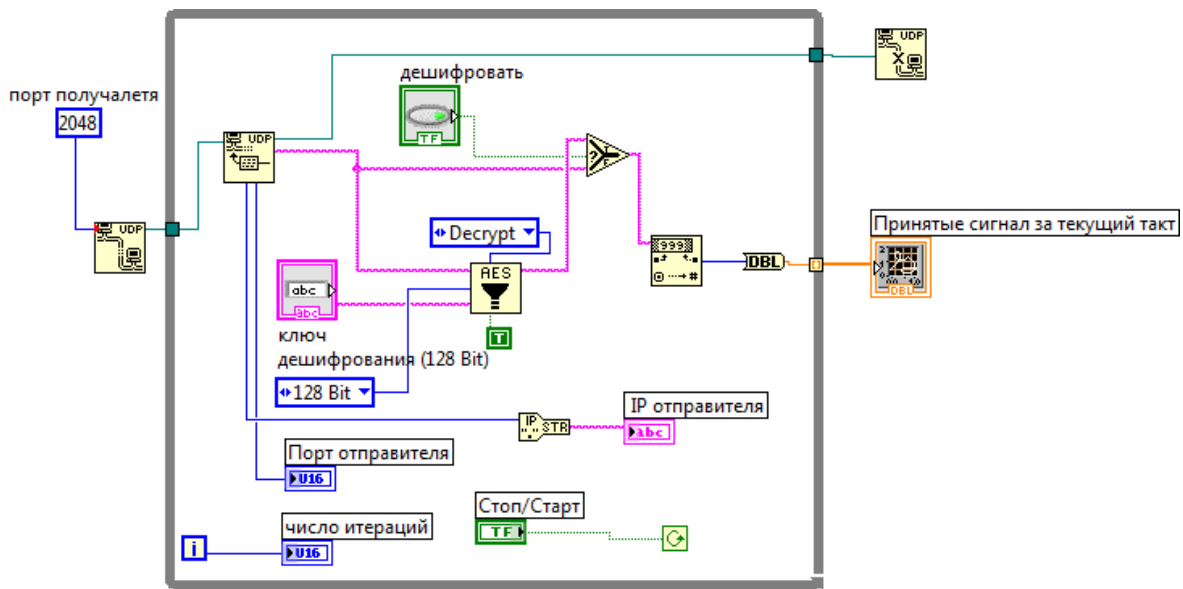


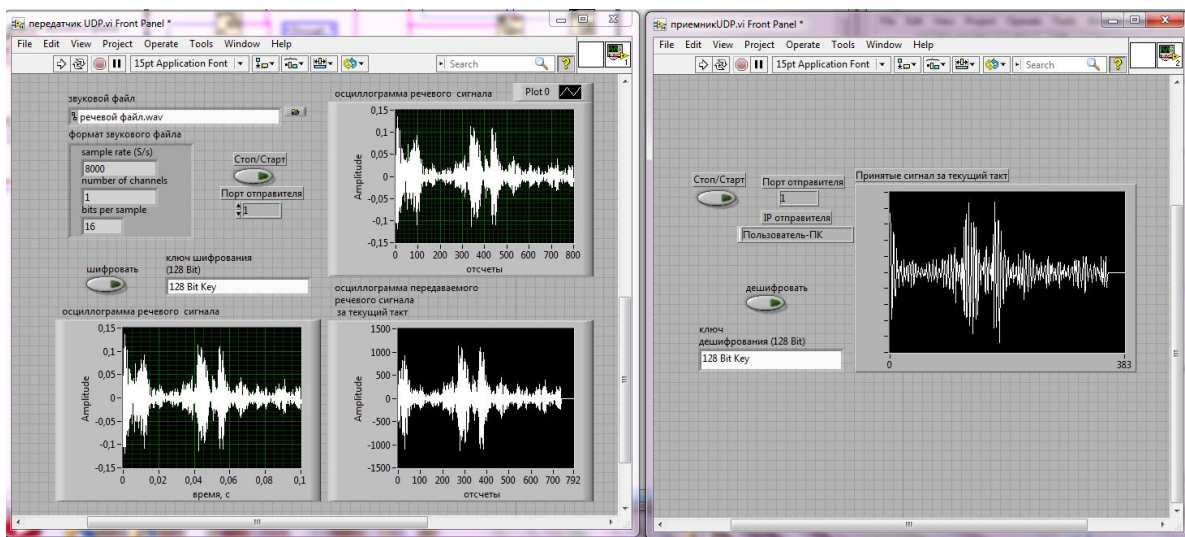
Рисунок 5 (начало)– Блок-диаграммы виртуальных приборов, использующих упрощенную модель протокола SRTP для инкапсуляции в UDP кадр: а) передающего модуля



б)

Рисунок 5 (продолжение) – Блок-диаграммы виртуальных приборов, использующих упрощенную модель протокола SRTP для инкапсуляции в UDP кадр: б) приемного модуля

При включенном режиме криптографического шифрования AES с ключом 128 бит при передаче речевого сигнала и при его приеме с дешифрацией лицевые панели виртуальных приборов приведены на рис.7, что демонстрирует работу протокола SRTP. Если режим дешифрации не включен или осуществлен доступ к передаваемому сообщению не с каким необходимо ключом, тогда речевой сигнал не восстановлен, что продемонстрировано на рис.8.



а)

б)

Рисунок 6–Лицевая панель виртуальных приборов по протоколу UDP без шифрования: а) передающего и б) приемного модулей

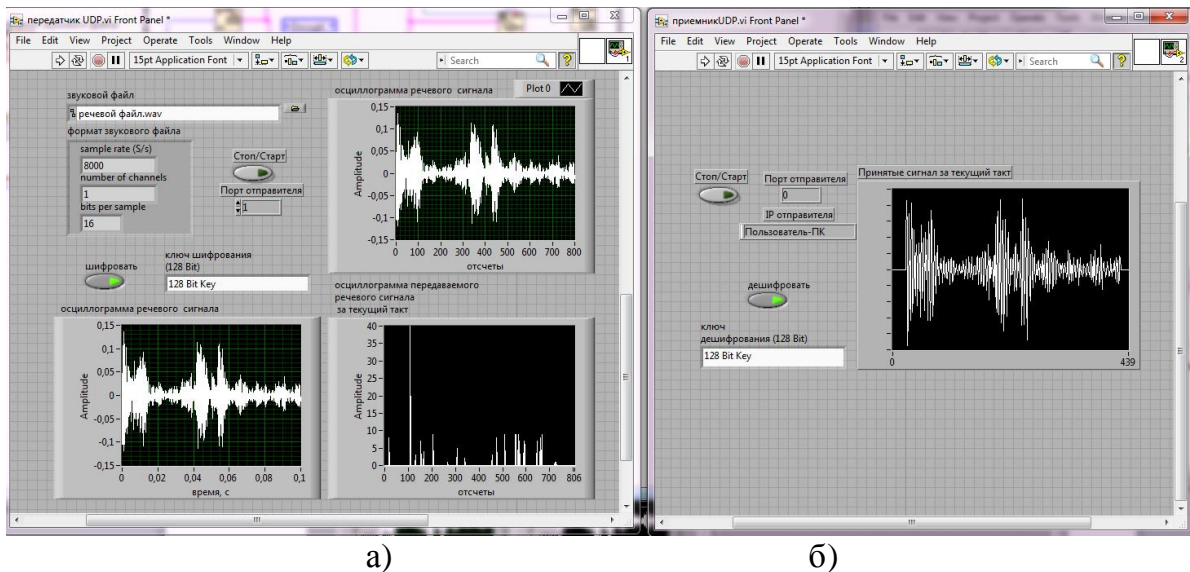


Рисунок 7 – Лицевая панель виртуальных приборов упрощенной модели протокола SRTP для инкапсуляции в UDP кадр с шифрованием AES: а) передающего модуля с включенным шифратором и б) приемного модуля при включенном дешифраторе

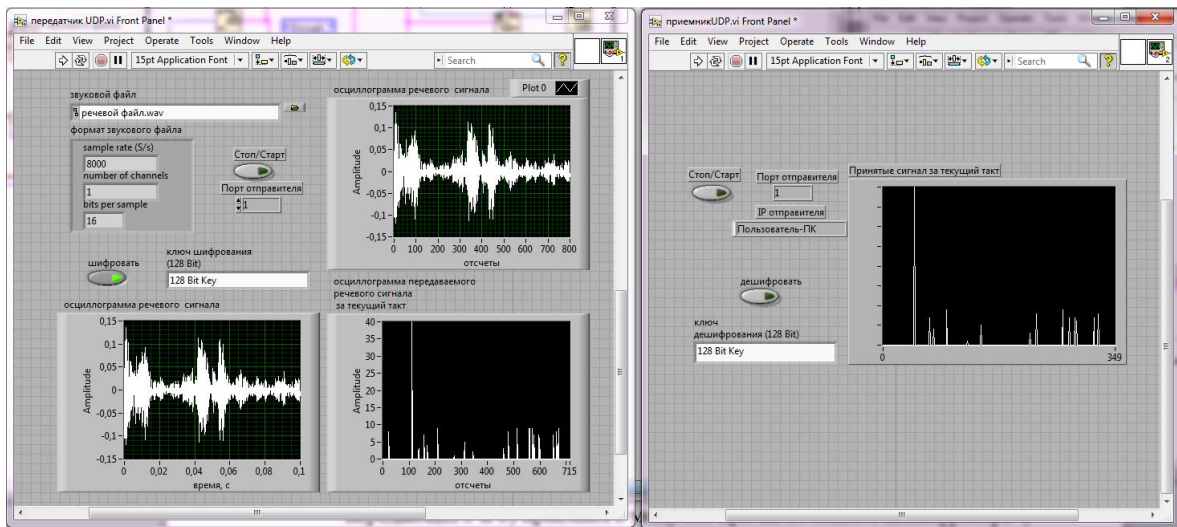


Рисунок 8 – Лицевая панель виртуальных приборов упрощенной модели протокола SRTP для инкапсуляции в UDP кадр с шифрованием AES: а) передающего модуля с включенным шифратором и б) приемного модуля при выключенном дешифраторе

По аналогии с использованием стандартных функций для работы с UDP протоколом были использованы функции для работы с протоколом TCP/IP и построены виртуальные приборы для исследования упрощенных моделей составляющих протокола IPsec (AH и ESP) с использованием блоков функций шифрования библиотеки CryptoTools.

Таким образом, созданные виртуальные приборы упрощенных моделей защищенных протоколов передачи данных, таких как SRTP и IPsec, позволяют

в лабораторных условиях виртуального эксперимента проанализировать принцип их построения и исследовать задержки при передаче речевых сигналов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Усманов Н. Р., Шафигов Р. Д. Шифрование речевых сообщений. – Челябинск: ЮУрГУ, 2012.
2. Овчинников А.М., Лазин А.С. Устройства защиты информации для средств УКВ радиосвязи - <https://docplayer.ru/55467635-Ovchinnikov-a-m-lazin-a-s-ustroystva-zashchity-informacii-dlya-sredstv-ukv-radiosvyazi.html>
3. Овчинников А.М. Открытые стандарты цифровой транкинговой радиосвязи. Издательство: Москва : 2000.
4. Технология IPsec // book.itер. [2019-2019]. Дата обновления: 21.03.2005. URL: <http://book.itер.ru/6/ipsec.htm>
5. Олифер Н. Протоколы IPSec // Журнал сетевых решений LAN.2001, № 03 URL: <https://www.osp.ru/lan/2001/03/134690>
6. Хамраева С. И., Маримбаева С. А. Безопасность IPV6 // Техника. Технологии. Инженерия. – 2017. – № 2.1 (4.1). – С. 40-41. – URL: <https://moluch.ru/th/8/archive/57/2320/> (дата обращения: 01.12.2020).

УДК 621.3: 658.2.016

РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Огреничев А.В., Азаров Н.В., Полуянович Н.К.

Южный федеральный университет, г. Таганрог, Российская федерация

Введение и постановка задачи. Основной целью обслуживания кабельных линий (КЛ), является обеспечение бесперебойного и качественного электроснабжения потребителей, также выполнение текущего и капитального ремонта[1]. В настоящее время происходит увеличение нагрузки частного сектора, что приводит к необходимости постоянного контроля состояния существующих линий электропередач для повышения пропускной способности и соответствия требованиям стабильности и надёжности электроснабжения потребителей. Температура высоковольтной кабельной линии является важным эксплуатационным и диагностическим параметром [2, 3]. С одной стороны, она характеризует рабочую нагрузку КЛ, а с другой является признаком наличия и развития дефектов в изоляции. В связи с дороговизной кабеля, контроль температуры позволяет уменьшить затраты связанные с закупкой, ремонтом и прокладкой линий. Мониторинг температуры может производиться как в зонах расположения концевых и промежуточных муфт, так и по всей длине линии [4].

Целью работы являются разработка системы мониторинга позволяющей уменьшить необходимость присутствия сотрудников энергопредприятий в

непосредственной близости диагностируемого высоковольтного оборудования за счёт применения системы распределенного мониторинга состояния КЛ [5].

Выбор методов волоконно-оптического мониторинга. В квазираспределенных системах число дискретных чувствительных элементов, как правило, не может превышать несколько десятков, что обусловлено необходимостью усложнения электронного оборудования для обеспечения нужного разрешения, динамического диапазона и чувствительности таких устройств. В распределенных системах сам световод является единым чувствительным элементом, а возможность извлечения информации о распределении физического воздействия по его длине основана на эффектах рассеяния в нем света.

Классификация методов волоконно-оптического мониторинга представлена на рис. 1.

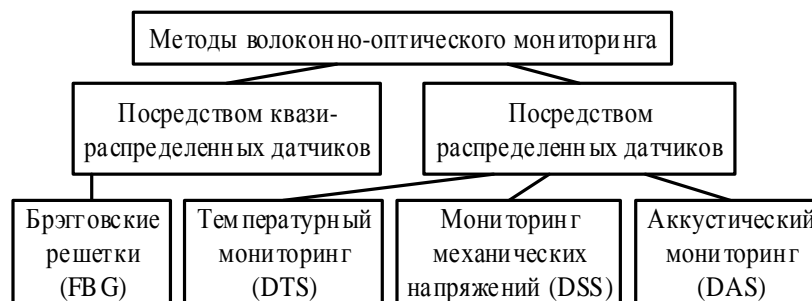


Рисунок 1 – Классификация методов волоконно-оптического мониторинга

Устройство распределенного мониторинга. Разрабатываемая система мониторинга основана на измерении параметров температуры на поверхности КЛ, тока жилы с помощью датчика тока (ДТ) и температуры окружающей среды посредством датчика температуры окружающей среды (ДТОС).

Предлагаемое устройство MDIM-2 (рис. 2) на базе микроконтроллера (МК) ATmega328/P 28pinPDIP программируются с помощью персонального компьютера (ПК) при использовании USB интерфейса, имеет возможность подключения нескольких типов датчиков для проведения полного спектра параметров тепловых режимов СКЛ, имеет низкую себестоимость и не требует значительных производственных затрат.

Алгоритм работы нейросетевой системы. В целях прогнозирования остаточного ресурса СКЛ применено прогнозирование посредством ИНС. В качестве нейросетевой модели обработки сигнала выбран многослойный перцептрон, в котором каждый элемент вычисляет взвешенную сумму своих входов с поправкой в виде порога активации нейрона и затем преобразует эту величину с помощью передаточной функции, формируя выходное значение этого элемента. Элементы организованы в послойную топологию с прямой передачей сигнала. Разработан алгоритм работы микроконтроллерной нейросетевой системы распределенного мониторинга СКЛ (рис. 3), включающий в себя: алгоритм работы микроконтроллерного устройства

управления измерительных устройств, алгоритм формирования выходного сигнала волоконно-оптической DTS системы, алгоритм работы ИНС.

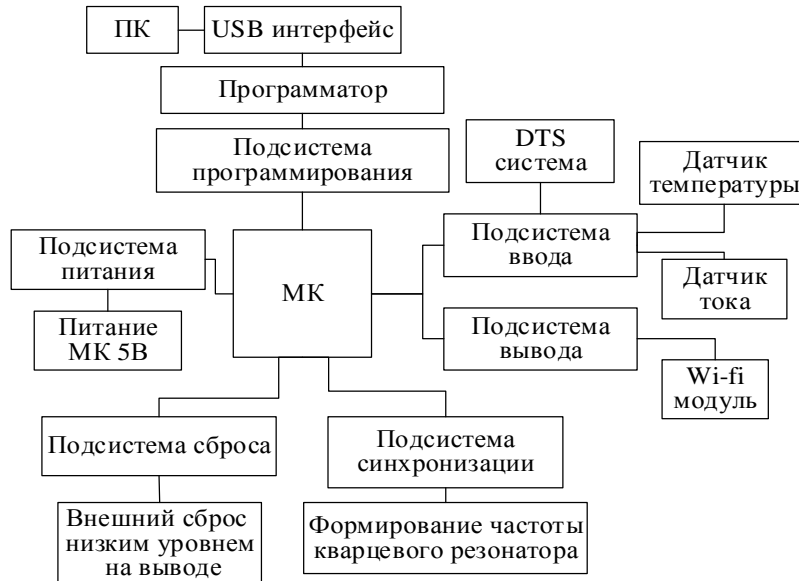


Рисунок 2 – Структурная схема микроконтроллерного устройства сбора и обработки данных

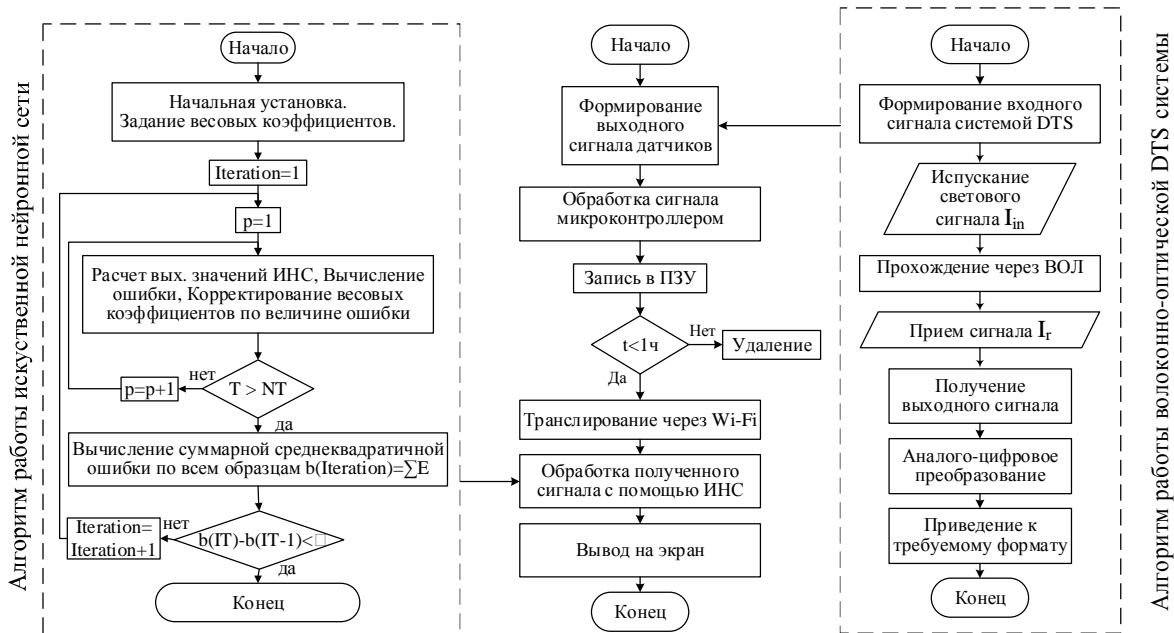


Рисунок 3 – Алгоритм работы нейросетевой распределенной измерительной системы

База данных для обучения ИНС. В целях исследования термических процессов и прогнозирования ресурса кабельных линий необходимо сопоставление экспериментальных данных, полученных в результате исследований исправных и состаренных образцов кабеля.

База данных – это организованная структура, предназначенная для хранения информации. Большинство систем управления базами данных позволяют размещать в своих структурах не только данные, но и методы, то есть алгоритмы. Таким образом, в современных базах данных хранятся отнюдь не только данные, но и информация. Разработан алгоритм работы базы данных для обучения искусственной нейронной сети с помощью которого база экспериментальных данных производит взаимодействие с потребителем или с другими программно-аппаратными комплексами.

С понятием базы данных тесно связано понятие системы управления базой данных. Это комплекс программных средств, предназначенных для создания структуры новой базы, наполнения ее содержимым, редактирования содержимого и визуализации информации. Под визуализацией информации базы понимается отбор отображаемых данных в соответствии с заданным критерием, их упорядочение, оформление и последующая выдача на устройство вывода или передача по каналам связи.

В ходе лабораторных исследований путем измерения термических характеристик изоляционных слоев исследуемых образцов силового кабеля была составлена база экспериментальных данных (BDNN(i,j)) для обучения нейронной сети (рис. 4) включающая в себя показатели исправных и состаренных образцов.

TrainNN(i) – обучающая выборка, включающая данные об исправных экспериментальных образцах кабеля.

TestNN(j) – тестирующая выборка, включающая данные о состаренных экспериментальных образцах.

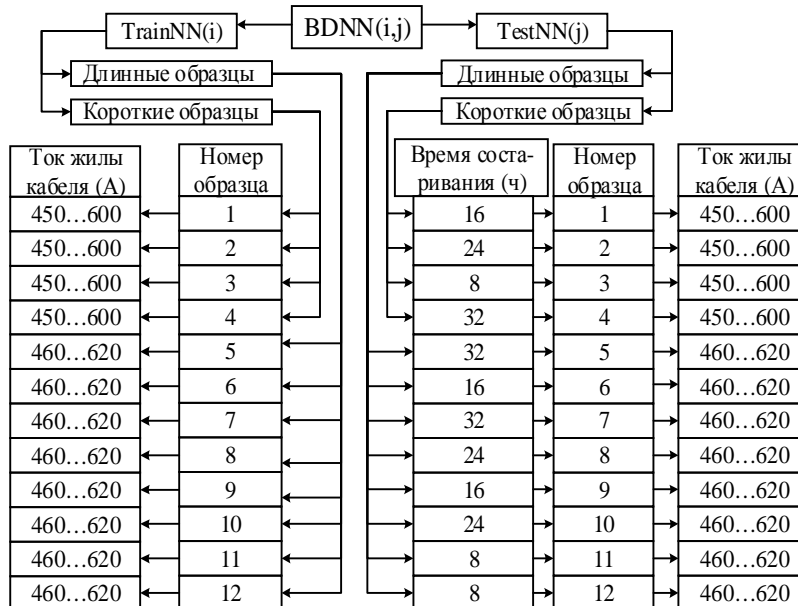


Рисунок 4 – Структурная схема экспериментальной базы данных для обучения ИНС

Ускоренное старение изоляции кабеля. Рассмотрим вначале ущерб, обусловленный старением изоляции. Как уже отмечалось [3], ускоренное

старение изоляции происходит в результате повышенного нагрева. Монтзингер предложил простое правило для определения срока службы изоляции. Связь между сроком службы изоляции и рабочей температурой имеет логарифмический характер, и если по одной оси откладывать температуру в линейном масштабе, а по другой — срок службы в логарифмическом масштабе, то зависимость представляется прямой. Правило восьми градусов не гарантируют строго определенного срока работы.

$$D_q = A_0 2^{-q/\Delta q} \quad (1)$$

где D_q - срок службы при неизменной температуре q ; A_0 - срок службы при $q = 0^\circ\text{C}$.

По Монтзингеру $\Delta q = 5 \dots 10^\circ\text{C}$. В большинстве расчетов принимается $\Delta q \approx 8^\circ\text{C}$, тогда формула (1) приобретает вид

$$Q(D) = 90^\circ - 8 \cdot \log_2 \frac{D}{A}$$

где $D=30 \dots 1$ – срок службы; $A=30$ – срок службы при температуре не превышающую предельную; 90°C – рабочая температура, при которой срок службы кабеля составляет 30 лет.

Зависимость срока службы от температуры представлена таблицей 1.

Таблица 1 – Зависимость срока службы от температуры

| | | | | | | |
|--------|----|-------|-----|--------|--------|--------|
| D(лет) | 30 | 20 | 10 | 6 | 3 | 1 |
| Q(°C) | 90 | 94,68 | 102 | 108,57 | 116,57 | 129,37 |

Анализ зависимости показывает, что чем больше температура тем меньше срок службы изоляции кабеля.

Искусственное старение в лабораторных условиях [3]. Исследованы термофлуктуационные процессы в изоляционном материале силового кабеля АПвПу г-1х240/25-10 (без повреждений) при реальной диаграмме действующего значения тока жилы кабеля и разработанной модели прогноза с использованием НС. На следующем этапе все образцы кабеля были искусственно состарены в термошкафу при различных температурах (табл. 1), что соответствовало различным временам их старения.

Анализ полученных результатов показал, что чем больше время состаривания, тем больше разность температур между исходными и состаренными образцами. Согласно «ГОСТ 10518-88 Системы электрической изоляции. Общие требования к методам ускоренных испытаний на нагревостойкость» проведено состаривание образцов силового кабеля. Диаграмма ошибки прогноза исследуемого образца кабеля приведена на рис.5.

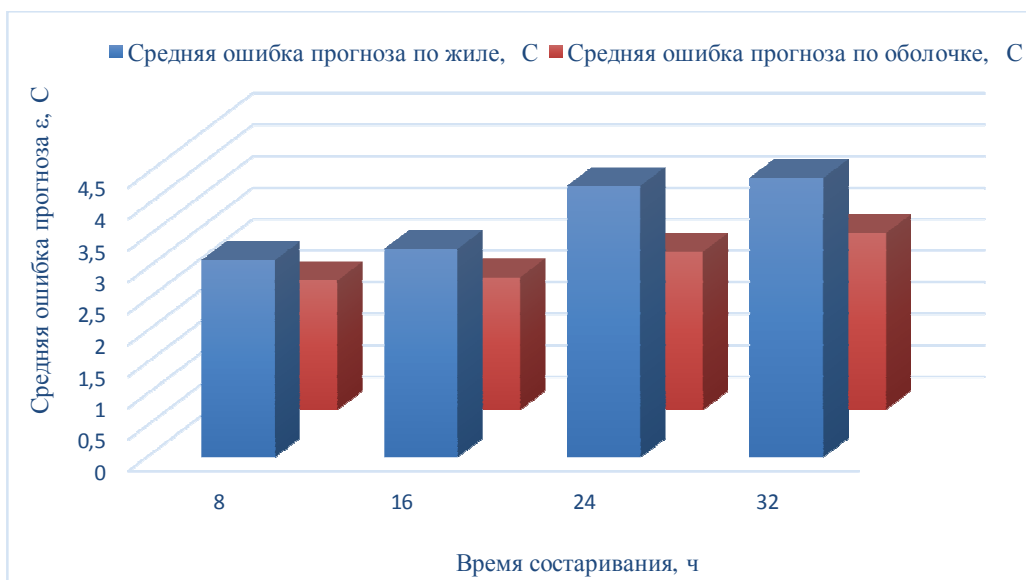


Рисунок 5 – диаграмма ошибки прогноза в °C

На основе опыта проведения испытаний с аналогичными материалами или же после проведения предварительных испытаний предполагается, что критерий конечной точки будет достигнут при температуре 145 °C после 20000 ч. Из таблицы 1 выбирают температуру старения 160, 180 и 200 °C и им соответствующие длительность циклов 28,7 и 2 суток.

Экспериментальные исследования. Исследуемые образцы кабеля искусственно состаривались при одной и той же температуре, но при различном времени выдержки в термошкафу. Одна партия образцов была выдержана в термошкафу в течении 8 часов, другая партия образцов была выдержана в течение 16 часов, а третья в течении 24 часов. На рис. 6 приведены зависимости по новым образцам кабеля (обучающая выборка и искусственно состаренным (контрольная выборка).

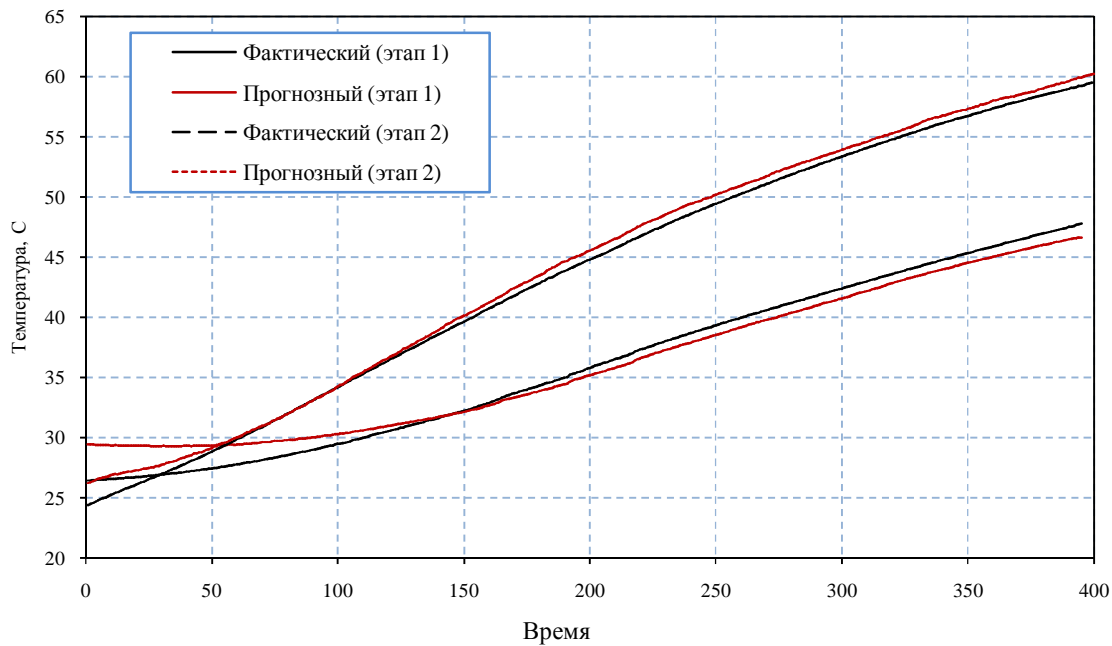


Рисунок 6 – График изменения температур (экспериментальных и прогнозируемых) 4 кабеля до и после состаривания (1 и 2 этап).

Вывод. Средняя ошибка прогноза температуры жилы кабеля, при токе жилы для одного из образцов исследуемого кабеля не превышает 5°C, что свидетельствует о возможности применения метода искусственных НС для прогнозирования температуры жилы кабеля по температуре на ее поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Полуянович Н.К.* Разработка алгоритма релейной защиты распределительной сети на основе математической модели. Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. № 1 (90). С. 240-245.
2. *Marina N. Dubyago, Nikolay K. Poluyanovich.* Analysis of Insulation Materials of Cable Systems by Method of Partial Discharges. Advances in Materials Science and Applications, Mar. 2015, Vol. 4 Iss. 1, PP. 23-32.
3. *Дубяго М.Н.* Разработка модели старения и определение остаточного ресурса изоляции силовых кабелей // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 4 (153). С. 107-114.
4. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Пишихонов В.Х.* Оценка и прогнозирование изоляционных материалов силовых кабельных линий // Известия ЮФУ. Технические науки. №7 (168) июль. 2015 г. С–230-237
5. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Метод селекции сигнала ЧР с помощью Вейвлет-преобразования. Известия ЮФУ. Технически науки. 2013. № 2 (139). С. 99-104.
6. *Poluyanovich N.K. Dubyago M.N.* Study of characteristics of partial discharge for assessment of condition of electrical insulating materials of power supply system. 2013 4th International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering

(ICAMME 2013), October 11-12, 2013, Singapore, Applied Mechanics and Materials Vols. 459 Trans Tech Publications, Switzerland (2014) pp 70-75.

7. *Dubyago M.N. and Poluyanovich N.K.* Prediction of residual life of isolating materials in the process of thermal power equipment deterioration. International Conference on Advances in Energy, Environment and Chemical Engineering (AEECE 2015), September 26-27, 2015 in Changsha, China. Published by Atlantis Press, ISSN:2352-5401 pp.49-54

8. *Poluyanovich N.K. Dubyago M.N.* Study of characteristics of partial discharge for assessment of condition of electrical insulating materials of power supply system. 2013 4th International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering (ICAMME 2013), October 11-12, 2013, Singapore, Applied Mechanics and Materials Vols. 459 Trans Tech Publications, Switzerland (2014) pp 70-75.

УДК 621

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ В ГОРОДЕ БОГОТА (КОЛУМБИЯ)

Сандовал Д.Э., Полюянович Н.К.

Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, г. Таганрог

Введение. Один из самых распространенных источников альтернативной энергии является энергия солнца. Энергия солнца – это наименьшее количество загрязнения для планеты и наиболее неистощимый из всех известных источников энергии. Всего за три дня солнце посылает на Землю столько энергии, сколько ее содержится во всех разведанных запасах ископаемых топлив. Солнечное излучение можно определить как скорость, с которой энергия излучения падает на поверхность на единицу площади, и измеряется в Вт/м². Солнечная батарея – это устройство, которое преобразует падающий солнечный свет в электричество. Исходные данные. В населённом пункте 19 Боготы (Колумбия) дом в среднем потребляет в месяц от 180 кВт/ч по 200 кВт/ч электроэнергии. В том случае, когда потребление составляет 180 кВт/ч, ее стоимость примерно равна 1841 рубль. Это составляет большую часть в оплате коммунальных платежей. Поэтому стоит задача в уменьшении доли оплаты коммунальных услуг за счет получения менее дорогой электроэнергии от альтернативных источников энергии (солнечных элементов)[3].

Постановка задачи. Определить целесообразность использования солнечной энергии в доме в городе Богота.

Система электроснабжения на солнечных элементах. Солнечные панели требуют устройства для преобразования постоянного тока в переменный. Эти устройства называются инверторы и могут быть напрямую подключены к электросети дома. Инвертор позволяет контролировать уровень выходного напряжения (U), частоту (ω) и начальную фазу (φ) домашней электросети.

Структурная схема подключения инвертора приведена на рис.1. В рассматриваемой системе предполагается микроконтроллер, который будет определять какие ячейки надо отключать в зависимости от выходных параметров солнечных панелей (P_n , U_n , I_n).

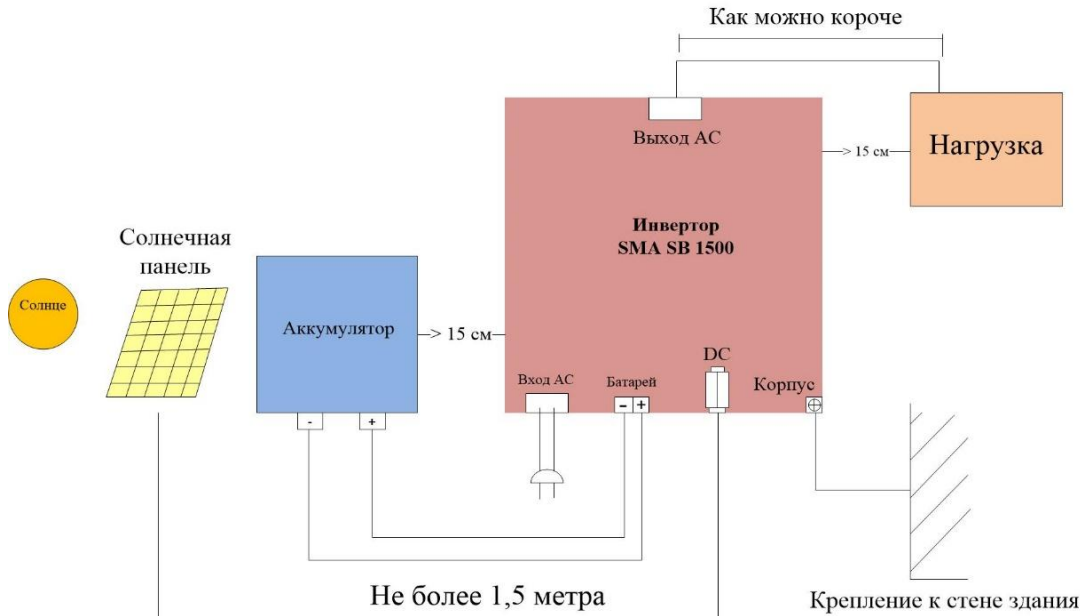


Рис. 1. Структурная схема подключения инверторов TN-1500

Регуляторы заряда позволяют уменьшить интенсивность тока, производимого фотоэлектрическими модулями в направлении батарей в функции уровня заряда. Он может отключить питание от батарей, если обнаружит, что они находятся на опасно низком уровне заряда. Структурная схема регулятора заряда АКБ представлена на рис.2.

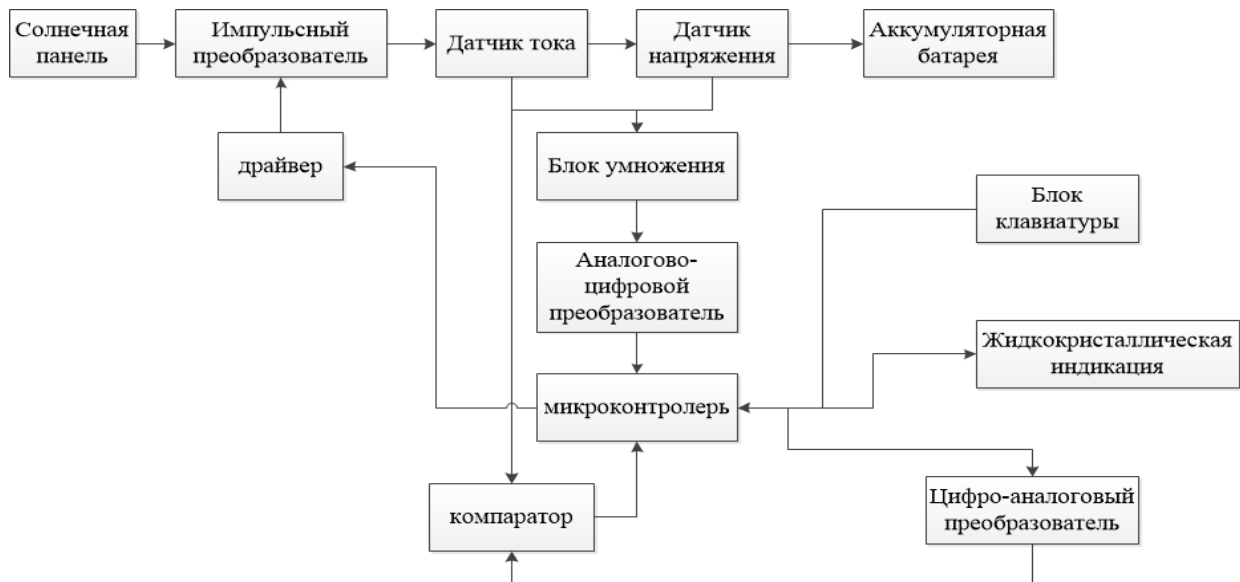


Рис.2 Структурная схема регулятора заряда АКБ

Расчет и анализ потребления энергии. В населённом пункте 19 города Боготы (Колумбия) обычный дом потребляет 208,7733 КвН/месяц, а стоимость примерно 3.000 рублей. Было получено общее потребление энергии 6959,11 ватт-часов / сутки (208,7733 кВтч / месяц), показано на рис.3.

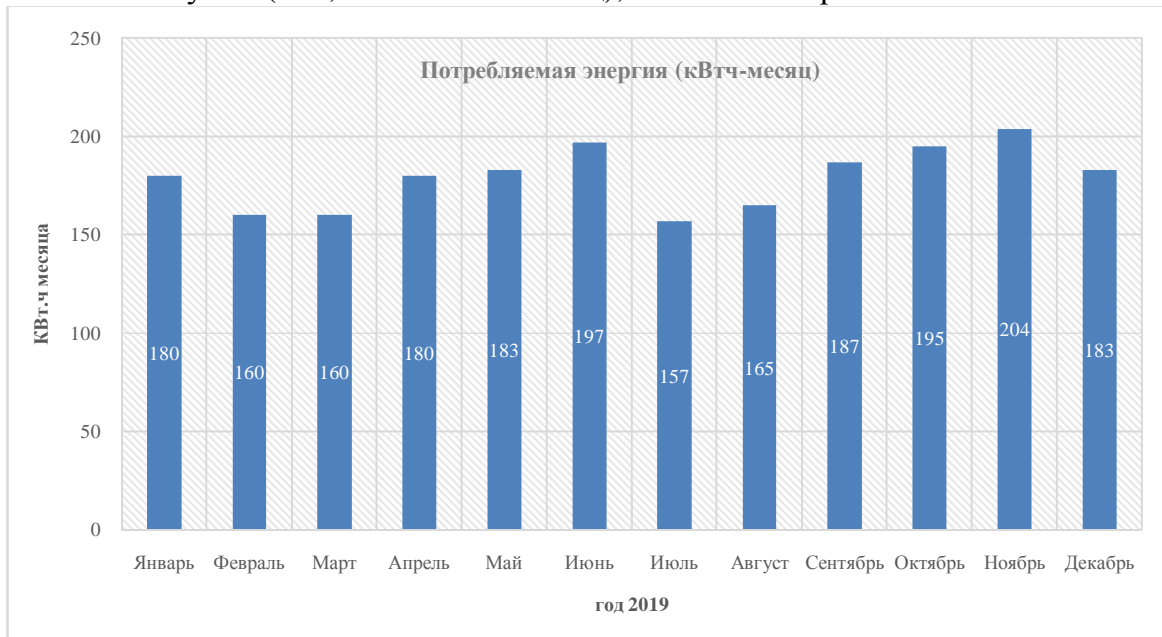


Рис.3 Ежемесячное потребление электроэнергии (кВтч-месяц).

Расчет годового коэффициента энергии. Для анализа потребления был определен месяц с самым высоким потреблением энергии, чтобы взять его в качестве эталона расчета. Эти данные нужны для определения в этом месяце коэффициента энергии, который связывает ежедневное потребление энергии с солнечной радиацией того же месяца, который был определен благодаря программному обеспечению RETScreen. Коэффициент энергии был рассчитан путем соотношения значения солнечного излучения, полученного с помощью программного обеспечения RETSCREEN, которое делит это значение на энергию, потребляемую в кВтч, с учетом количества дней. Было установлено, что месяцем с наибольшим потреблением был июнь 2019, потому что он имеет самый низкий энергетический коэффициент. Потребление в июне: 6,5 кВтч/день, таблица 1.

Таким образом, базовая необходимая энергия составляет 8345 Вт/ч. Результат выбора фотоэлектрической системы в зависимости от ее мощности представлен в таблице 2.

Величина тока при напряжении ФЭС равном 48 В, определится как $8345 \text{ Вт} / 48 \text{ Вольт} = 173,8 \text{ А}$

Наклон панелей будет определяться наклоном крыши корпус это 20 °. Результаты ПСЧ снесены в таблицу 3.

Таблица.1 Расчет наихудшего месяца с учетом энергетического фактора

| Месяц | Излучение (кВтч/м ² /сут) | Потребляемая мощность(кВт.ч- месяц) | Кол- во дней | Мощность (кВт.ч день) | F мощность |
|----------|---|---|--------------------|-----------------------------|---------------|
| Январь | 5,01 | 180 | 31 | 5,80645 | 0,86283 |
| Февраль | 4,66 | 160 | 28 | 5,71429 | 0,81550 |
| Март | 4,47 | 160 | 31 | 5,16129 | 0,86606 |
| Апрель | 3,93 | 180 | 30 | 6,00000 | 0,65500 |
| Май | 3,7 | 183 | 31 | 5,90323 | 0,62678 |
| Июнь | 3,8 | 197 | 30 | 6,56667 | 0,57868 |
| Июль | 4,04 | 157 | 31 | 5,06452 | 0,79771 |
| Август | 4,33 | 165 | 31 | 5,32258 | 0,81352 |
| Сентябрь | 4,31 | 187 | 30 | 6,23333 | 0,69144 |
| Октябрь | 4,33 | 195 | 31 | 6,29032 | 0,68836 |
| Ноябрь | 4,1 | 204 | 30 | 6,80000 | 0,60294 |
| Декабрь | 4,55 | 183 | 31 | 5,90323 | 0,77077 |

Таблица 2. Предлагаемое напряжение ФЭС в зависимости от ее мощности

| Мощность объекта в ваттах | Рабочее напряжение системы в вольтах |
|---------------------------|--------------------------------------|
| ≤1500 | 12 |
| 1500 - 5000 | 24 |
| 5000 - 12000 | 48 |
| ≥12000 | 120 o mas |

Таблица 3. Эксплуатируемые результаты ПСЧ

| Общее излучение на наклонной панели | | Значение |
|-------------------------------------|--|----------|
| $H_{(\beta,\alpha)}$ | Прямое излучение на наклонной панели (Вт / м ²) | 1129,71 |
| $D_{(\beta,\alpha)}$ | Диффузное излучение на наклонной панели (Вт / м ²) | 2131,47 |
| $AL_{(\beta,\alpha)}$ | Излучение альбедо на наклонной панели (Вт / м ²) | 717,68 |
| Солнечные часы | | Значение |
| $G_{(\beta,\alpha)}$ | Общее излучение на наклонной панели (кВтч / м ²) | 3,9788 |

Расчет системы электроснабжения. Метод расчета основан на ежедневном энергетическом балансе получения мощности в день (Вт / день). Производительность установки определяется как

$$R = 1 - \left[(1 - b - c - v) * a * \frac{N}{Pd} \right] - b - c - v = 0.819$$

где: a = 0,005; b = обычно 0,05 и 0,1; c = от 75% до 95%; v = 0,15.

С помощью предыдущих данных мы рассчитаем необходимую энергию:

| Необходимая энергия | | |
|---------------------|------------------------------|---------|
| E_t | Энергия худшего месяца (Втч) | 6566,00 |
| R | Производительность установки | 0,81900 |

Определим потребности всех потребителей электроэнергии. Результаты расчета количества панелей снесены в таблицу 4.

Таблица 4. Результаты расчета

| Пиковая мощность | | Значение |
|--------------------------|-------------------------|----------|
| $E_{\text{необходимая}}$ | Требуемая энергия (Втч) | 8345 |
| ПСЧ | Пиковые солнечные часы. | 3,97 |
| Количество панелей | | Значение |
| P_p | Пиковая мощность (Вт) | 2480 |
| $P_{\text{модуля}}$ | Мощность модуля (Вт) | 310 |

$$N_p \geq \frac{P_p}{0.9 * P_{\text{модуля}}} = 7.22 \approx 8$$

Выполним расчет емкости батареи, которую должна иметь разрабатываемая система. Относительно потребления за дни автономии и с процентом глубины максимально-ожидаемого разряда (60%). Емкость батареи определится

$$C_b = \frac{E_{\text{необходимая}} * \text{Дни автономии}}{\text{Глубина разряда}} = \frac{40085.45 \text{ Втч}}{48 \text{ В}} = 835.19 \text{ А. Ч. Д}$$

Глубина разряда:

$$Pd = ((E_{\text{необходимая}} * \text{дней. авто.}) / C_b) * 100 = ((8017.09 * 3) / 40085.4) * 100 = 0.59999$$

Чтобы получить емкость, будут использоваться 4 батареи по 300 Ач каждая: $300 \text{ Ач} * 4 = 1200 \text{ Ач}$

Соединение между 4 батареями выполнено таким образом, что напряжение каждой батареи складывается и их общее напряжение будет составлять 48 В.

Разработка алгоритма работы системы управления солнечными панелями. После того как наша система готова к работе, и подключили инвертор к потребителю [2]. Солнечные модули начинают вырабатывать электрическую энергию с помощью излучением, которое на них попадает от солнца, если напряжения не появляется на регуляторе, то надо поверить всю систему и найти проблему, если напряжения приходит в регулятор, заряжаются аккумуляторы и переходит в инвертор и преобразуется ток из постоянного на переменный в конце напряжения приходит к потребителю для его использования.

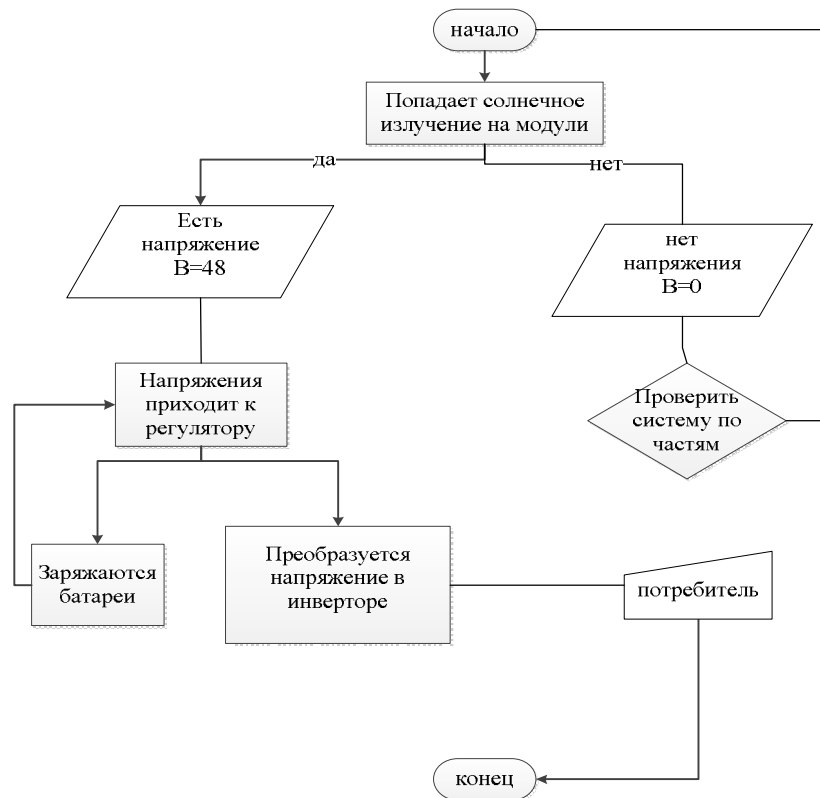


Рис 4. Алгоритм работы системы управления солнечными панелями

Таким образом, разработан алгоритм работы системы электроснабжения дома в населённом пункте Боготы (Колумбия) отсолнечной электроэнергии. Проведены расчеты стоимости необходимого электрооборудования.

Вывод. Определено солнечное излучение для определения эффективной работы солнечных панелей и развития проекта в рассматриваемом районе. С учетом климатологических параметров Боготы, среднем ежедневном использовании электрооборудования в доме, проведен анализ номинального расхода электроэнергии всеми бытовыми приборами. Построена диаграмма ежемесячного потребления электроэнергии. Для анализа потребления проведен расчет годового коэффициента энергии (программа RETSCREEN) определен худший месяц, чтобы взять его в качестве эталона при расчете автономной фотоэлектрической системы. С учетом производительности фотоэлектрических элементов, мощности и количества солнечных панелей проведен расчет необходимой электроэнергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. М.Н. Дубяго, Н.К. Полуянович. Совершенствование методов диагностики и прогнозирования электроизоляционных материалов систем энергоснабжения. Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. – 192 с.

2. Полуянович Н.К. Энергетическая электроника. Пособие по решению задач и методические указания / Таганрогский радиотехнический университет, Кафедра теоретических основ электротехники. Таганрог, 2001

3. Костюков В.А., Медведев М.Ю., Маевский А.М., Полуянович Н.К., Савченко В.В. Исследование перспективной ветроэнергетической установки с типом компоновки "Ротор в растребе". Вестник Донского государственного технического университета. 2017. Т. 17. № 1 (88). С. 85-91.

УДК 621.548:621.31:004.94

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ АВТОНОМНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С МАЛОМОЩНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ

Гисцов В.Г., Батагов К.А., Волощенко Ю.П.

Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, г. Таганрог

Работа посвящена разработке и исследованию модели горизонтально-осевой ветроэнергетической установки малой мощности в программной среде визуального программирования Simulink с использованием стандартных блоков электротехнической библиотеки. В работе обоснована актуальность совершенствования методов исследования и разработки ветроэнергетических систем, приведена разработанная схема модели ветроэнергетической установки, описаны ее основные элементы, исходные и получаемые в результате моделирования характеристики, продемонстрированы результаты исследования рабочего режима устройства.

Ветроэнергетическая установка, модель ветрогенератора, визуальное программирование, ветровая турбина, синхронный генератор, выпрямительный мост, управляемый инвертор, осциллограммы токов и напряжений.

Уже более десяти лет в нашей стране и за рубежом наблюдается постепенный переход от сложившейся за 20-е столетие энергетической инфраструктуры, использующей ископаемое топливо, к новым видам источников энергии, использующим энергию ветра и солнца. Необходимость сочетать растущее потребление электроэнергии и требования по минимизации негативного воздействия на окружающую среду привела к увеличению доли электроэнергии, вырабатываемой с помощью возобновляемых источников, таких как ветрогенераторы. Особое перспективное значение ветроэнергетики заключается в практически неисчерпаемых запасах энергии, так как она является следствием воздействия солнечных лучей на земную поверхность. Усовершенствование технологий производства, внедрение новых материалов, развитие методов исследования и разработки ветроэнергетических систем позволили существенно повысить эффективность источников электроэнергии, использующих энергию ветра. Применение возобновляемых источников совместно с инновационным энергоэффективным оборудованием может дать значимый экономический эффект. Также ветроэнергетические установки (ВЭУ) характеризуются существенно меньшими вредными воздействиями в сравнении с другими источниками электроэнергии [1]. Крупные системы ветряных электрогенераторов подключаются к общей энергосети, но особый интерес представляют ВЭУ малой мощности, поскольку их можно использовать для

питания различных мобильных установок и для снабжения электричеством удаленных районов.

Электроустановки, использующие энергию ветра для генерации электроэнергии, осуществляют преобразование кинетической энергии движущихся воздушных масс в атмосфере в механическую энергию вращения вала генератора. Создание математического описания идеализированной электрогенераторной ветроустановки позволяет производить исследование мощности и КПД турбины с целью определения оптимальных параметров конструкций ветрогенератора и наиболее выгодных и эффективных режимов работы. При этом, как правило, используется ряд идеализаций: допускается, что при вращении ветроколеса воздух не сжимается и что потери мощности в редукторе и инверторе отсутствуют.

В качестве основы для построения модели была использована ВЭУ с номинальной выходной мощностью 1 кВт и выходным напряжением 24 В. Геометрические параметры ветроколеса: диаметр 1,8 м, скорость вращения 200 - 800 об/мин, количество лопастей 3. Высота мачты ветроколеса составляет 8 м, общий вес установки – 27 кг. Начальная скорость ветра принята равной 3,5 м/с, а номинальная 12,5 м/с. Тип электрического генератора ВЭУ - трехфазный с постоянными магнитами [2]. Устройство, принцип работы и математическая модель ВЭУ рассмотрены в [3-4]. Методики моделирования энергетических процессов в электрических и электронных цепях методами теории электрических цепей приведены в [5-7]. Для составления схемы модели использовались блоки элементов библиотеки Simulink и SimPowerSystems [8]. Параметры моделей блоков, рассчитанные на основании математических уравнений, описывающих режимы работы компонентов ВЭУ и полученные экспериментально на оборудовании с характеристиками аналогичными рассматриваемым компонентам ВЭУ, приведены в [9-11].

Основным элементом схемы модели ВЭУ на рис. 1 является блок ветровой турбины (WindTurbine), который моделирует процесс преобразования силы ветра (Windspeed) в механический момент на валу генератора T_m . Помимо скорости ветра входными параметрами блока являются скорость вращения вала генератора и угол атаки лопастей ветроколеса. В качестве параметров блока были заданы: номинальная механическая мощность ветровой турбины (nominal mechanical output power), базовая мощность электрического генератора, учитывающая потери в ветровой турбине (base power of the electrical generator), базовая или номинальная скорость потока воздуха (base wind speed), максимальная вырабатываемая мощность при номинальной скорости потока воздуха относительно номинальной механической мощности турбины (maximum power at base wind speed) и базовая частота вращения относительно базовой скорости вращения ротора генератора (base rotational speed).

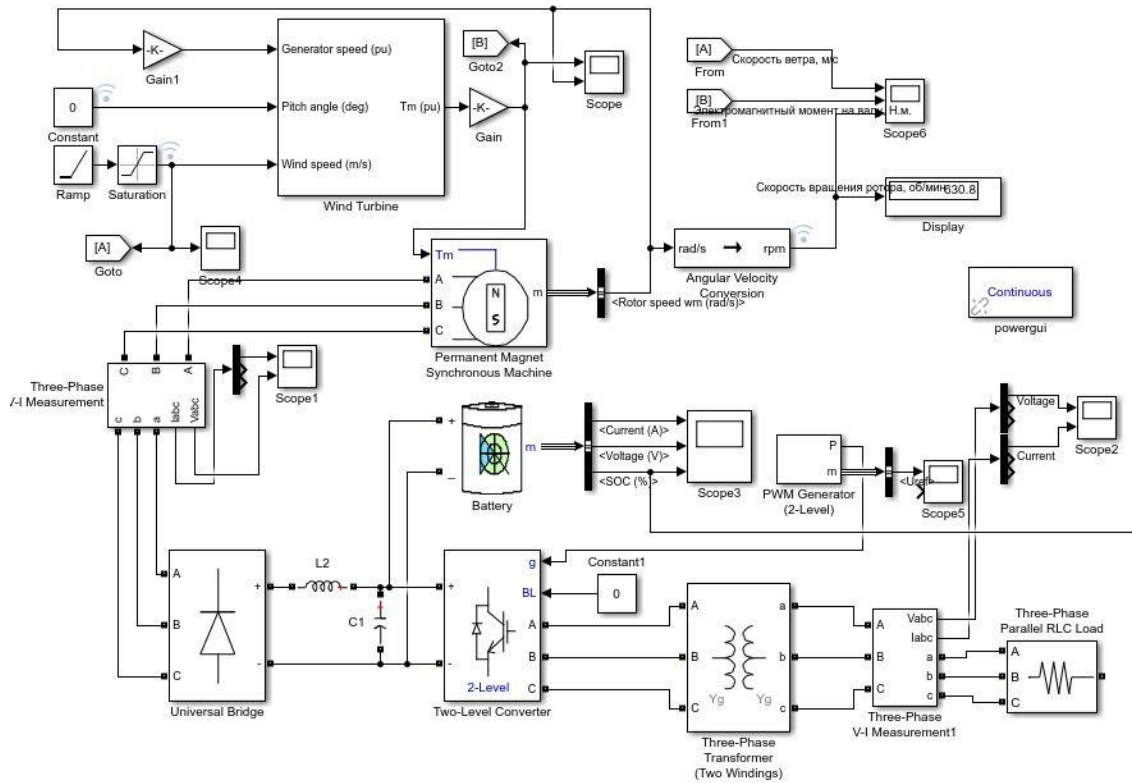


Рис. 1. Общий вид схемы модели ВЭУ.

Механическая мощность P_m на выходе ветровой турбины рассчитывается с помощью выражения:

$$P_m = c_p(\lambda, \beta) \frac{\rho A}{2} v_{wind}^3,$$

где $c_p(\lambda, \beta)$ - КПД турбины, представляющий собой отношение мощности турбины к мощности ветра; A - площадь, ометаемая лопастями; v_{wind} - скорость потока воздуха; ρ - плотность воздуха. Коэффициент $c_p(\lambda, \beta)$ нелинейно зависит от быстроходности турбины λ и угла атаки β .

Быстроходность турбины определяется как отношение скорости лопастей v_b к скорости ветра v_{wind} :

$$\lambda = \frac{v_u}{v_{wind}} = \frac{\omega R}{v_{wind}}$$

где R - радиус ветроколеса, м; ω - угловая скорость вала ветроколеса.

Для нахождения коэффициента использования мощности $c_p(\lambda, \beta)$ используются приближенные зависимости, полученные в результате экспериментальных исследований:

$$c_p(\lambda, \beta) = c_1 (c_2 / \lambda_i - c_3 \beta - c_4)^{c_5 / \lambda_i} - c_6 \lambda$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + c_7 \beta} - \frac{c_8}{\beta^3 + 1},$$

где коэффициенты, зависящие от аэродинамических параметров турбины, равны $c_1 = 0.5176$, $c_2 = 116$, $c_3 = 0.4$, $c_4 = 5$, $c_5 = 21$ и $c_6 = 0.0068$, $c_7 = 0.08$ и $c_8 = 0.035$.

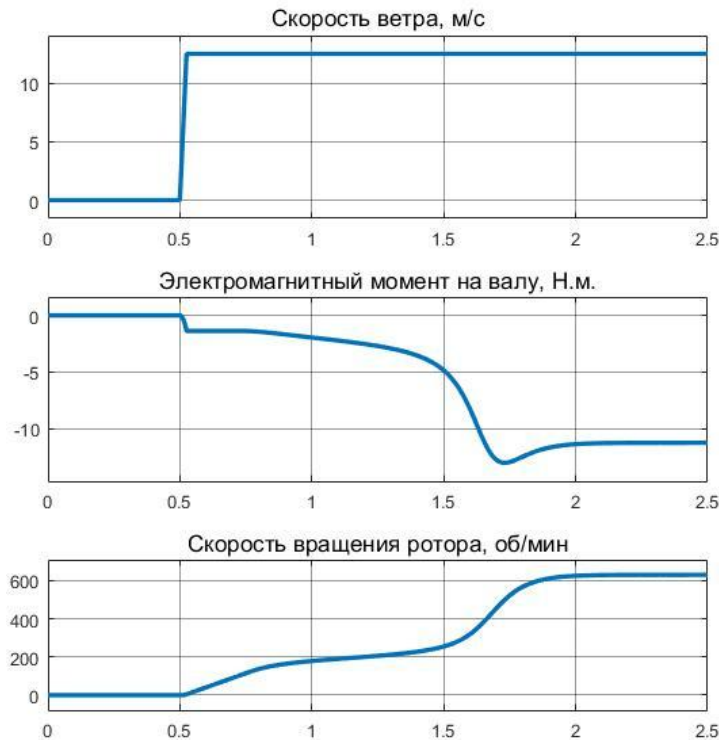


Рис. 2. Осциллограммы скорости ветра, механического момента на валу ветровой турбины и скорости вращения ротора генератора.

Блок ветровой турбины посредством бесконечно жесткой трансмиссии соединен с блоком электрической машины в виде синхронного генератора с постоянными магнитами (permanent magnet synchronous machine). Для работы модели необходимо задать ряд параметров блока: сопротивление фазы статора, индуктивность ротора, потокосцепление от постоянных магнитов, число пар полюсов генератора, момент инерции генератора, номинальный момент. Математическое описание блока синхронного генератора на постоянных магнитах имеет вид системы уравнений в координатах d и q :

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} i_d &= \frac{1}{L_d} u_d - \frac{R_s}{L_d} i_d + \frac{L_q}{L_d} p_s \omega_r i_q, \\ \frac{d}{dt} i_q &= \frac{1}{L_q} u_q - \frac{R_s}{L_q} i_q + \frac{L_d}{L_q} p_s \omega_r i_d - \frac{\Phi_\lambda p_s \omega_r}{L_q}, \\ T_e &= 1,5 p_s [\Phi_\lambda i_q + (L_d - L_q) i_d i_q], \\ \frac{d}{dt} \omega_r &= \frac{1}{T_j} (T_e - \mu \omega_r - T_m), \\ \frac{d}{dt} \theta_k &= \omega_r, \end{aligned}$$

где T_e - электромагнитный момент; T_m - момент сопротивления; $L_d, L_q, u_d, i_d, u_q, i_q$ - индуктивности, напряжения и токи статора синхронного генератора в системе координат d и q ; T_j - момент инерции, учитывающий массу ротора и нагрузки; R_s - сопротивление обмотки статора синхронной машины; θ_k - электрический угол; μ - коэффициент трения, Φ_λ - амплитуда магнитного потока постоянных магнитов ротора, сцепленного с обмотками статора; ω_r - угловая скорость вращения ротора; p_s - количество пар полюсов статора.

Блок Three-Phase V-I Measurement регистрирует амплитуды напряжения и тока на выходе синхронного генератора. Частота вращения ротора снимается с вывода для регистрации параметров блока синхронной машины. Измеренные значения частоты вращения вала генератора в оборотах в минуту выводятся на экран с помощью блока Display, осциллограммы выходных напряжений и токов визуализируются на графиках блока Scope1. Поскольку ток генератора может меняться по амплитуде, фазе и частоте, его можно использовать для питания далеко не всех нагрузок напрямую. Поэтому после генератора включен трехфазный неуправляемый выпрямительный мост Universal Bridge. Выпрямленный ток поступает на батарею (Battery) с номинальным напряжением: 12 В, емкость: 75 А час и начальным уровнем заряда: 60%. Параллельно батарее включен инвертор (Two-Level Converter), который позволяет получать переменное трехфазное напряжение и через трансформатор (Three Phase Transformer) подавать его в нагрузку представленную блоком Three-Phase Parallel RLC Load. Блок PWM Generator представляет собой систему управления инвертором и осуществляет генерацию серий управляющих импульсов для блока Two-Level Converter в соответствии с заданной частотой.

На получившейся виртуальной экспериментальной установке проведем эксперимент, моделирующий работу источника питания на основе ветроустановки и аккумуляторной батареи. В первый период времени скорость ветра равна нулю (рис.2), обороты ветроколеса так же равны нулю. При этом в нагрузку потребляется ток, напряжение равно номинальному. Осциллограммы на рис. 3 демонстрируют зарядный ток, напряжение на зажимах батареи и степень заряда аккумулятора. Изначально батарея заряжена на 60 процентов. Как видно из графиков, в течение первого периода времени ток батареи имеет положительное значение и батарея разряжается. Момент времени $t=0,5$ появляется ветер, скорость которого быстро возрастает до 12,5 м/с (рис. 2).

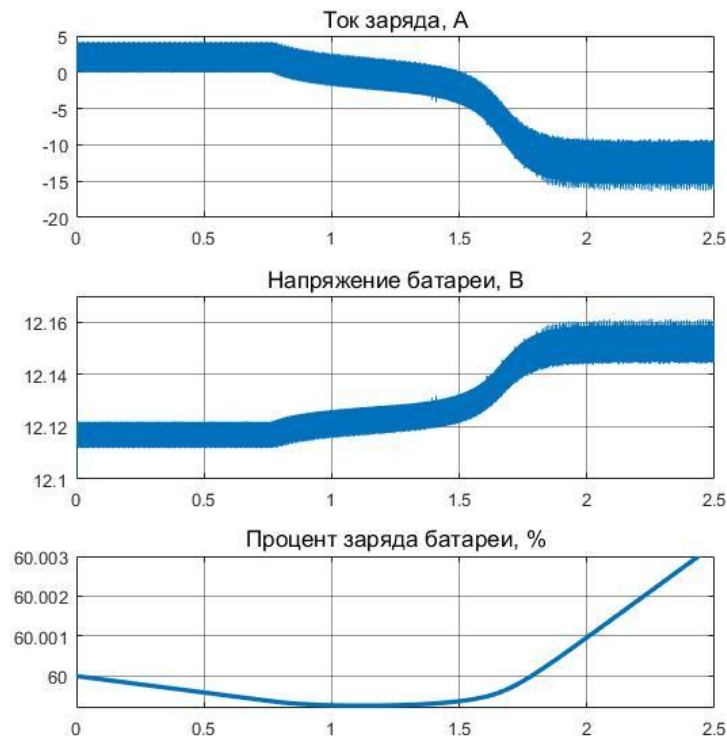


Рис. 3. Осциллограммы тока, напряжения и процент заряда аккумуляторной батареи.

При этом ветроколесо начинает раскручиваться, механический момент на валу ротора становится отличным от нуля. Зарядный ток батареи меняет направление, немного возрастает напряжение на зажимах и постепенно батарея постепенно, по мере увеличения скорости ветроколеса, переходит в режим заряда. Напряжение и так в нагрузке при этом остаются неизменными.

Полученные осциллограммы в целом соответствуют графикам изменения состояния модели ветроэнергетических установок с аналогичными параметрами, исследованными в [9-11], что подтверждает корректность построения модели. Рассмотренную виртуальную экспериментальную установку можно использовать для моделирования и исследования динамических режимов ветроэнергетической установки при различных ветровых воздействиях, режимах работы, параметрах элементов системы и нагрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гиляхов А.А., Волощенко Ю.П.* Ветроэнергетические установки и последние разработки в этой области // Сборник трудов XIV Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Информационные технологии, системный анализ и управление» ИТСАУ-2016, 16-19 ноября 2016 г., Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2016, Т.2. С. 16-18. <https://elibrary.ru/item.asp?id=28119364>

2. База данных ветряных турбин// Wind Turbine Models URL: <https://ru.wind-turbine-models.com/turbines> (дата обращения 01.05.2020)

3. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. -М.:ГНУ ВИЭСХ, 2006. - 208 с.

4. J. W. Manwell, J. G. McGowan and A. L. Rogers, Wind Energy Explained, Theory, Design and Application. 2nd edition, –Oxford:Wiley-Blackwell, 2009.

5. Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П. Моделирование нелинейных электрических процессов в элементах электронной волновой цепи: учебное пособие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018. – 116 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=36762792>

6. П.Ю. Волощенко, Ю.П. Волощенко. Моделирование электронных компонентов интегральных схем методами теории электрических цепей: учебное пособие. –Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017.–112с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32068358>.

7. Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П. Основы теории одномерной нелинейной электрической и электронной волновой цепи: учебное пособие. – Таганрог. Издательство Южного федерального университета, 2015. – 100 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=25268847>

8. Dingyu Xue, YangQuan Chen. System Simulation Techniques with MATLAB and Simulink. – Chichester:John Wiley & Sons Ltd, 2014. – 467 с.

9. Acharya Parash, Papadakis Antonis, Shaikh Muhammad Naveed. Modelling and Design of a 3 kW Permanent Magnet Synchronous Generator suitable for Variable Speed Small Wind Turbines// MATEC Web of Conferences 55, 04001 (2016), ACPEE 2016. DOI: 10.1051/mateconf/20165504001.

10. Abdulhakim Karakaya, Ercument Karakas. Implementation of neural network based maximum power tracking control for wind turbine generator// Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences (2014) 22: 1410 - 1422 DOI: 10.3906/elk-1201-70.

11. Abdulhakim Karakaya, Ercument Karakas. Performance Analysis of PM Synchronous Motors Using Fuzzy Logic and Self Tuning Fuzzy PI Speed Controls // Arabian journal for science and engineering. -Springer Nature Switzerland. -2008.

РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Рассоха Д.П., Гисцов В.Г.

Южный федеральный университет, Институт радиотехнических систем и управления. г. Таганрог

К основной электрической сети относится Единая национальная электрическая сеть (ЕНЭС), которая формирует Единую энергосистему страны, объединяя на параллельную работу основные электростанции и узлы нагрузки, и обеспечивая параллельную работу ЕЭС с энергосистемами других стран, включая экспорт и импорт электрической энергии.

К ЕНЭС, в соответствии с критериями, утверждёнными Постановлением Правительства РФ от 21 декабря 2001 года №881, относятся:

линии электропередачи, проектный класс напряжения которых составляет 220 кВ:

- обеспечивающие выдачу в сеть энергетической мощности электрических станций субъектов ФОРЭМ - поставщиков электрической энергии на указанный рынок;
- обеспечивающие соединение и параллельную работу энергетических систем различных субъектов РФ;
- обеспечивающие выдачу энергетической мощности в узлы электрической нагрузки с присоединённой трансформаторной мощностью не менее 125 МВА;
- непосредственно обеспечивающих соединение перечисленных линий электропередач.

Многоконтурная сеть (рис.1) является, как правило, результатом неуправляемого развития сети в условиях ограниченного количества и неравномерного размещения ЦП. Характеризуется следующими особенностями:

- сложными схемами подключения ПС;
- сложностями обеспечения оптимального режима;
- повышенными уровнями токов КЗ.

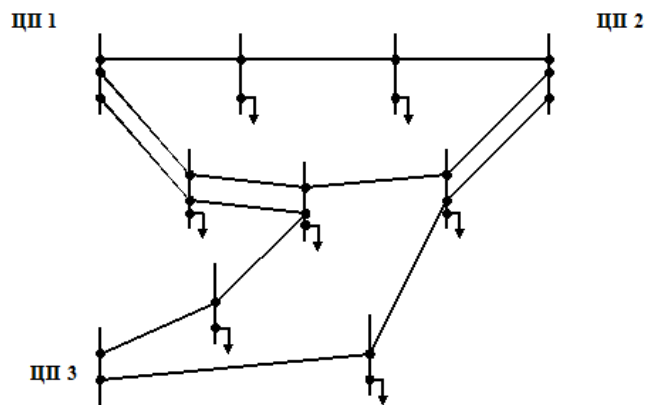


Рис. 1 Многоконтурная сеть

Расчет и моделирование схем электроснабжения. Обобщённое представление схем имеет целью наглядную иллюстрацию постановки задачи. Решение же задачи требует учёта фактического соединения элементов схемы. Для аналитического представления, отражающего характер соединения элементов, применяются матрицы соединений (инциденций).

Матрица инциденций (узловая матрица инциденций) устанавливает связь между независимыми узлами и ветвями схемы и обозначается буквой M .

Число строк такой матрицы равно числу независимых узлов, а число столбцов – числу ветвей.

За базисный примем узел s . Обозначив на графе номера ветвей схемы и указав положительные направления токов, заполним матрицу следующим образом. Если k -я ($k=1-b$) ветвь соединена с узлом, например a , и ток её направлен к этому узлу, то на пересечении столбца k и строки a ставится -3 . Если же ток направлен от узла a , то ставится 3 . Если ветвь k не соединена с узлом a , то на пересечения столбца k и строки a пишется нуль. Совершенно аналогично заполняются остальные строки таблицы.

Узловая матрица инцидентий M даёт возможность записать в матричной форме *первый закон Кирхгофа*:

$$M \times \underline{I} = \underline{I}_s \quad (1)$$

Матрица M позволяет определить матрицу \underline{U}_b напряжений ветвей по известной матрице \underline{U}_d напряжений узлов:

$$\underline{U}_b = M^t \times \underline{U}_d \quad (2)$$

Последние две матрицы можно выразив как:

$$\underline{U}_b = \underline{Z}_b \times \underline{I} \text{ и } \underline{I}_s = N \times E, \quad (3)$$

Заметим, что матрица сопротивлений ветвей всегда является квадратной, однако диагональной она будет лишь при отсутствии в схеме индуктивных связей.

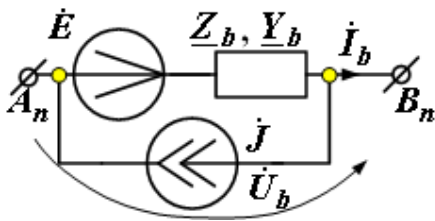


Рис. 2

Если в исходной схеме имеются источники тока, то обобщённая схема будет иметь вид, показанный на рис. 2, а матричная форма записи закона Ома примет вид

$$\underline{U}_b + \underline{U}_s = \underline{Z}_b \times (\underline{I}_b + \underline{I}_s) \quad (4)$$

или

$$\underline{I}_b + \underline{I}_s = \underline{Y}_b \times (\underline{U}_b + \underline{U}_s) \quad (5)$$

Умножая правую и левую части уравнения (4.7) слева на M и учитывая, что $M \times \underline{I}_b = 0$, получим

$$M \times \underline{Y}_b \times \underline{U}_b = M \times (\underline{I}_s - \underline{Y}_b \times \underline{U}_s) \quad (6)$$

Заменяя в (4.17) матрицу напряжений ветвей через матрицу узловых напряжений, получим:

$$M \times \underline{Y}_b \times M^t \times \underline{U}_d = M \times (\underline{I}_s - \underline{Y}_b \times \underline{U}_s) \quad \text{или} \quad \underline{Y}_y \times \underline{U}_d = M \times (\underline{I}_s - \underline{Y}_b \times \underline{U}_s), \quad (7)$$

где \underline{Y}_y – матрица узловых проводимостей, причём

$$\underline{Y}_y = M \times \underline{Y}_b \times M^t \quad (8)$$

При расчёте цепи методом узловых напряжений поступают следующим образом.

1. Выбирают базисный узел и направления токов ветвей.
4. Составляют первую матрицу инцидентий M .
3. Составляют матрицу \underline{Y}_b проводимостей ветвей.
4. Определяют по выражению (8) матрицу \underline{Y}_y узловых проводимостей.
5. Составляют матрицы \underline{I}_s и \underline{I}_s ;

6. Записывают уравнение (7). Решение уравнения имеет следующий вид:

$$\underline{U}_\Delta = \underline{Y}_y^{-1} \times \underline{M} \times \underline{S} - \underline{Y}_b \times \underline{U}_\Delta$$

7. Вычисление комплексных действующих значений токов ветвей:

$$\underline{I}_B = \underline{Y}_b (\underline{M}^T \underline{U}_\Delta + \underline{E}) - \underline{S}$$

8. Составляем уравнения баланса мощностей:

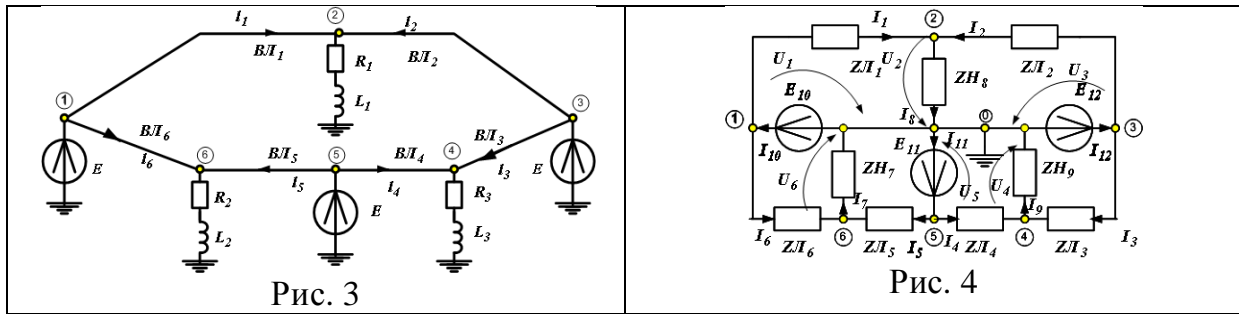
∅ полная комплексная мощность источников электрической энергии

$$S_{ист} = \underline{E}^T \times \underline{I}_B + (\underline{M}^T \underline{U}_\Delta)^T \frac{\underline{S}}{\underline{U}_\Delta}$$

∅ полная комплексная мощность приемников электрической энергии:

$$S_{пр} = \underline{Y}_b^{-1} (\underline{I}_B - \frac{\underline{S}}{\underline{U}_\Delta})^T (\underline{I}_B + \frac{\underline{S}}{\underline{U}_\Delta})$$

Расчет режимов сложных схем электроснабжения матричным методом.
 Рассчитать напряжения в узлах, токи в ветвях и падение напряжения в ветвях схемы электрической сети с частотой 50 Гц, изображенной на рис. 3.



Исходные данные для расчета. Высоковольтные линии (ВЛ) выполнены сталеалюминевыми проводами марки АС, параметры которых приведены в таблице

| Марка | r_0 , Ом/км | x_0 , Ом/км |
|--------|---------------|---------------|
| АС-70 | 0,428 | 0,432 |
| АС-95 | 0,306 | 0,434 |
| АС-120 | 0,249 | 0,414 |
| АС-240 | 0,121 | 0,435 |

Заданы напряжение источников, марки проводов, длина ВЛ. Значение мощностей (S_7, S_8 и S_9). Необходимо:

1. Определить падение напряжения и токи в ВЛ и в нагрузке, используя программу MathCad;
2. Выполнить моделирование заданной сети в программе MatLab;

| Параметры высоковольтных линий | | | | | | | Нагрузка | | |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| $E, \text{кВ}$ | $l_1, \text{км}$ | $l_2, \text{км}$ | $l_3, \text{км}$ | $l_4, \text{км}$ | $l_5, \text{км}$ | $l_6, \text{км}$ | $S_7, \text{кВА}$ | $S_8, \text{кВА}$ | $S_9, \text{кВА}$ |
| 230 | AC-120, 300 | AC-240, 220 | AC-95, 165 | AC-95, 200 | AC-95, 165 | AC-70, 260 | $82.41 + 88.22j$ | $85.589 + 80.616j$ | $119.5 + 81.93j$ |

Решение. Составляем комплексную схему замещения (рис.4) и решение в MathCAD выглядит, как представлено на рис.5.

$ORIGIN := 1 \quad j := \sqrt{-1}$

$NB := 12$ Число ветвей $l_{kk} := 1..NB \quad i := 1..NB$ Численное значение элементов цепи

$E := 230$ $ME_{l,i} := \text{if}(l = i, 1, 0)$ Формирование единичной матрицы ME

Удельное сопротивление проводов ВЛ $AC70 := 0.328 + j \cdot 0.42$

$AC95 := 0.306 + j \cdot 0.434$ $AC120 := 0.249 + j \cdot 0.435$ $AC240 := 0.121 + j \cdot 0.438$

Длина ВЛ Сопротивление ВЛ Матрицы источников

$L_{kk} := 1000$

$$L := \begin{pmatrix} 200 \\ 250 \\ 150 \\ 200 \\ 150 \\ 250 \end{pmatrix} \quad ZL := \begin{pmatrix} AC70 \cdot L_1 \\ AC120 \cdot L_2 \\ AC95 \cdot L_3 \\ AC120 \cdot L_4 \\ AC95 \cdot L_5 \\ AC70 \cdot L_6 \end{pmatrix} \quad Zb := \begin{pmatrix} ZL_1 \\ ZL_2 \\ ZL_3 \\ ZL_4 \\ ZL_5 \\ ZL_6 \\ 10^{12} \\ 10^{12} \\ 10^{12} \\ 0.00001 \\ 0.00001 \\ 0.00001 \end{pmatrix}$$

$EDC := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ E \\ E \\ E \end{pmatrix} \quad SI := -1 \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 66.18 + 132.361j \\ 47.539 + 63.385j \\ 42.071 + 52.589j \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

Ввод узловой матрицы инценденций M

$$M := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Вычисление матрицы проводимостей ветвей YB

$$YB_{l,i} := \frac{ME_{l,i}}{Zb_l}$$

Вычисление матрицы узловых проводимостей Yy $Yy := M \cdot YB \cdot M^T \quad k := 1..6$

Вычисление комплексных узловых напряжений $U_k := 230$

Given

$$U = Yy^{-1} \cdot \left(\frac{M \cdot SI}{U} - M \cdot YB \cdot EDC \right)$$

$UYZ := \text{Find}(U)$

Вычисление действующих значений узловых напряжений

$$UYZ = \begin{pmatrix} 230 \\ 164.541 - 2.135j \times 10^3 \\ 230 - 2.021j \times 10^{-7} \\ 203.674 - 1.724j \times 10^3 \\ 230 + 1.008j \times 10^{-7} \\ 344.161 + 2.704j \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$$|UYZ_k| = \begin{pmatrix} 230 \\ 2.14 \times 10^3 \\ 230 \\ 1.74 \times 10^3 \\ 230 \\ 2.73 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad \arg(UYZ_k) \cdot \frac{180}{\pi} = \begin{pmatrix} -7.02 \times 10^{-11} \\ -85.59 \\ -5.04 \times 10^{-8} \\ -83.26 \\ 2.51 \times 10^{-8} \\ 82.75 \end{pmatrix}$$

Вычисление комплексных напряжений ветвей заданной схемы

$$U_b := M^T \cdot UYZ$$

$$U_b = \begin{pmatrix} 65.46 + 2.14i \times 10^3 \\ 65.46 + 2.14i \times 10^3 \\ 26.33 + 1.72i \times 10^3 \\ 26.33 + 1.72i \times 10^3 \\ -114.16 - 2.7i \times 10^3 \\ -114.16 - 2.7i \times 10^3 \\ 344.16 + 2.7i \times 10^3 \\ 164.54 - 2.14i \times 10^3 \\ 203.67 - 1.72i \times 10^3 \\ -230 \\ -230 - 1.01i \times 10^{-7} \\ -230 + 2.02i \times 10^{-7} \end{pmatrix} \quad |U_{b_l}| = \begin{pmatrix} 2.136 \times 10^3 \\ 2.136 \times 10^3 \\ 1.724 \times 10^3 \\ 1.724 \times 10^3 \\ 2.707 \times 10^3 \\ 2.707 \times 10^3 \\ 2.726 \times 10^3 \\ 2.142 \times 10^3 \\ 1.736 \times 10^3 \\ 230 \\ 230 \\ 230 \end{pmatrix}$$

Вычисление комплексных токов ветвей заданной схемы

$$IB := YB \cdot (M^T \cdot UYZ + EDC) - \frac{SI}{U_b}$$

Вычисление действующих значений токов ветвей заданной схемы

$$IB = \begin{pmatrix} 0.016 + 0.012i \\ 0.015 + 8.012i \times 10^{-3} \\ 0.018 + 0.012i \\ 0.015 + 8.315i \times 10^{-3} \\ -0.029 - 0.018i \\ -0.017 - 0.012i \\ 0.051 - 0.018i \\ -0.028 + 0.024i \\ -0.027 + 0.028i \\ -3.583 \times 10^{-4} + 2.817i \times 10^{-5} \\ -0.014 - 0.01i \\ 0.033 + 0.02i \end{pmatrix} \quad |IB_l| = \begin{pmatrix} 0.02 \\ 0.017 \\ 0.022 \\ 0.017 \\ 0.034 \\ 0.02 \\ 0.054 \\ 0.037 \\ 0.039 \\ 3.594 \times 10^{-4} \\ 0.017 \\ 0.039 \end{pmatrix} \quad \arg(IB_l) \cdot \frac{180}{\pi} = \begin{pmatrix} 36.232 \\ 28.031 \\ 34.312 \\ 28.912 \\ -147.231 \\ -144.429 \\ -19.312 \\ 138.723 \\ 134.602 \\ 175.504 \\ -143.297 \\ 31.545 \end{pmatrix}$$

Баланс мощностей

1) полная комплексная мощность источников заданной схемы

$$S_{ict} := EDC^T \cdot \bar{IB} + (M^T \cdot UYZ)^T \cdot \frac{SI}{U_b} \quad S_{ict} = 167.527 + 240.094j$$

2) полная комплексная мощность приемников заданной схемы

$$Spr := \left[YB^{-1} \cdot \left(IB + \frac{SI}{U_b} \right) \right]^T \cdot \left[\left(IB + \frac{SI}{U_b} \right) \right] \quad Spr = 167.527 + 240.094j$$

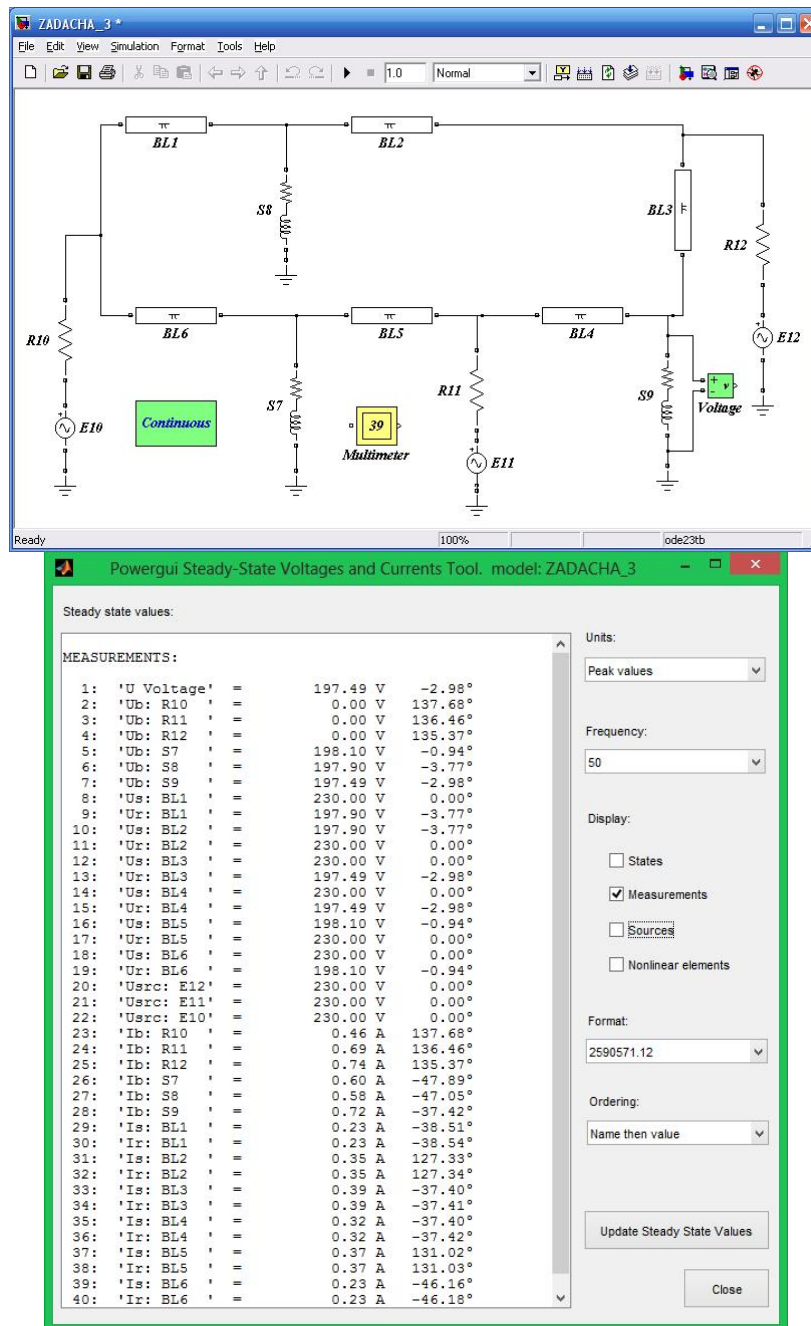


Рис.5

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Методические рекомендации по проектированию развития энергосистем. «Энергосетьпроект».-М.2003.-41с.

2 *Лыкин А.В.* Электрические системы и сети: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 248 с.

3 *Тибейко И.А., Рассоха Д.П.* Выбор электрооборудования и релейной защиты внутриводского электроснабжения промышленных предприятий. Учебное пособие. Издательство «АНАЛИТИКА РОДИС», Московская обл., г. Ногинск, 2016г., -181с.

4 *Рассоха Д.П.* Анализ электронной цепи с транзистором. Учебное пособие для выполнения курсовой работы по дисциплине «Теоретические основы электротехники», с применением пакетов прикладных программ MathCad и Multisim. Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, Молдова. 2017. -100с.

5 *Рассоха Д.П.* Сборник контрольных работ по курсу «Теоретические основы электротехники». Часть 1. Учебное пособие с примерами выполнения контрольных работ. Издательство, «Перо». г. Москва, 2017. – 100с.

УДК 621.548:621.31:004.94

ЗАМЕНА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, КАК СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА.

Шавернев А.О. Береснев А.Л.

Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, г. Таганрог

Аннотация: в статье будут рассмотрены ключевые вопросы, связанные с улучшением экологичности отработанных газов. С помощью замены двигателя внутреннего сгорания и системы управления. Подобный способ снижения выброса вредных выхлопов в атмосферу является не до оценённым в российской федерации. Так как стоит на грани законности. Но является не менее эффективным способом для старого автомобиля. Так как, современные ДВС имеют более высокие экологические классы. Они более экономичны, а главное имеют меньшие выбросы в атмосферу. Так как имеют класс экологичности Евро 5 и выше.

Введение: Рассматриваемая тема является актуальной, так как во многих странах ведется постоянная борьба за экологию. И частично старые автомобили получают запрет на эксплуатацию и на передвижение. Рассматривая данную проблему стоит обратить внимание на то, что современный двигатель имеет не только меньшие выбросы в атмосферу, но и большие мощностные характеристики. В данной статье постараемся рассмотреть способ модернизации старого автомобиля путем замены двигателя внутреннего сгорания.

С современными тенденциями борьбы за экологию, тема замены двигателя на более современный, как следствие экологичный двигатель становится все более актуальной. Рассматриваемая проблема с каждым годом фактически уменьшает количество старых автомобилей на дорогах общего пользования. Так как современные автомобили имеют крайне высокую стоимость, большое количество социально не защищенных граждан не могут себе их позволить. Тем самым эти люди остаются без транспортного средства, которое является не объемлемой частью их быта.

Было решено провести эксперимент целью которого являлась замена старого двигателя внутреннего сгорания на более новый. За основу эксперимента был выбран автомобиль BMW с силовой установкой N42. В 2001 году данный двигатель являлся весьма современным и экологичным отвечая всем стандартам экологических норм того времени. Его экологический класс

Евро 2 по общеевропейскому экологическому стандарту. Данный двигатель имел: два узкополосных лямбда зонда, один нейтрализатор. Но по современным меркам данный двигатель не отвечает современным экологическому классу такому как Евро 5. Было решено произвести его замену на более современный двигатель N52. Этот силовой агрегат имеет, тот экологический класс, который необходим нам. Двигатель имеет: 4 нейтрализатора четыре лямбда зонда и модернизированный ЭБУ с системой изменения фаз газораспределения и модернизированной системой впуска называемой «Valvetronic».

Для чистоты эксперимента были произведены замеры экологичности выхлопа на старом двигателе. Данные замеров будут приведены ниже в таблице. После чего был произведен демонтаж агрегатов. После демонтажа агрегатов мы перешли к установке двигателя. [1] Для его установки вносить изменения в силовую конструкцию кузова не пришлось. Двигатель встал на заводские крепления на штатный подрамник. Процесс монтажа ДВС представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 процесс установки двигателя N54

После установки двигателя перейдем к подключению электрической части ДВС для этого нам потребуется ознакомиться со структурной схемой. Данный ДВС имеет характерную систему зажигания для бензиновых ДВС.

Двигателей. Она состоит из Блока управления ЭБУ, и не безызвестной системы VANOS. На рисунке 2 представлена структурная схема системы Motronic 3.1. Ее основные элементы, такие как, датчики и исполнительные механизмы: 1. Датчик положения коленчатого вала, 2. датчик массового расхода воздуха, 3. Датчик положения распределительного вала, 4. датчик положения

дрессельной заслонки, 5. датчик температуры всасываемого воздуха, 6. Лямбда зонд. 7. датчик положения дроссельной заслонки. [2]

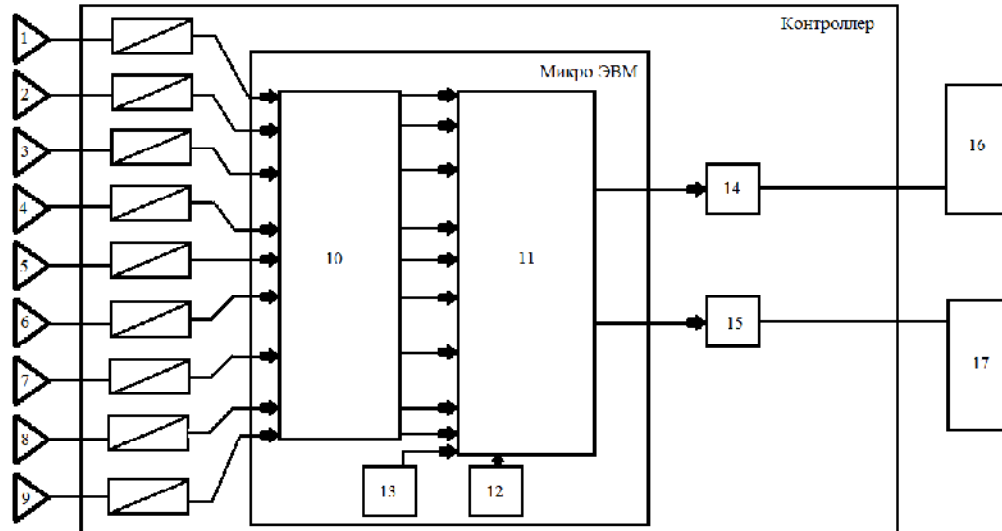


Рисунок 2 Структурная схема системы Motronic 3.1

Вышеперечисленные датчики передают в ЭБУ (электронный блок управления) ДМЕ сигналы о работе двигателя, тем самым, позволяя ему быстрее реагировать на переходные процессы, а главное корректнее реагировать на прием нагрузки. В свою очередь исполнительные механизмы такие как Индивидуальные катушки зажигания, форсунки, топливный насос, дроссельная заслонка, фазорегулятор, получая более точные команды от ЭБУ ДМЕ. Тем самым корректнее и быстрее реагируют на полученную команду. [2]

ЭБУ Siemens имеет ряд преимуществ, одним из которых является скорость обработки и выдачи сигналов, возможность корректировать работу двигателя внутреннего сгорания опираясь на моментальные показатели датчиков.

Данный ЭБУ имеет пять разъемов каждый из которых разделен на пины. Это решение обеспечивает повышенную влагозащитную функцию и защиту от короткого замыкания. Ниже приведена нумерация и описание разъемов и их назначение. [3] Расположение разъемов ЭБУ представлено на рисунке 3: Разъем X60001 Питание; Разъем X60002 Периферийные сигналы; Разъем X60003 Сигналы двигателя; Разъем X60004 Сигналы автомобиля; Разъем X60005 Сигналы зажигания.

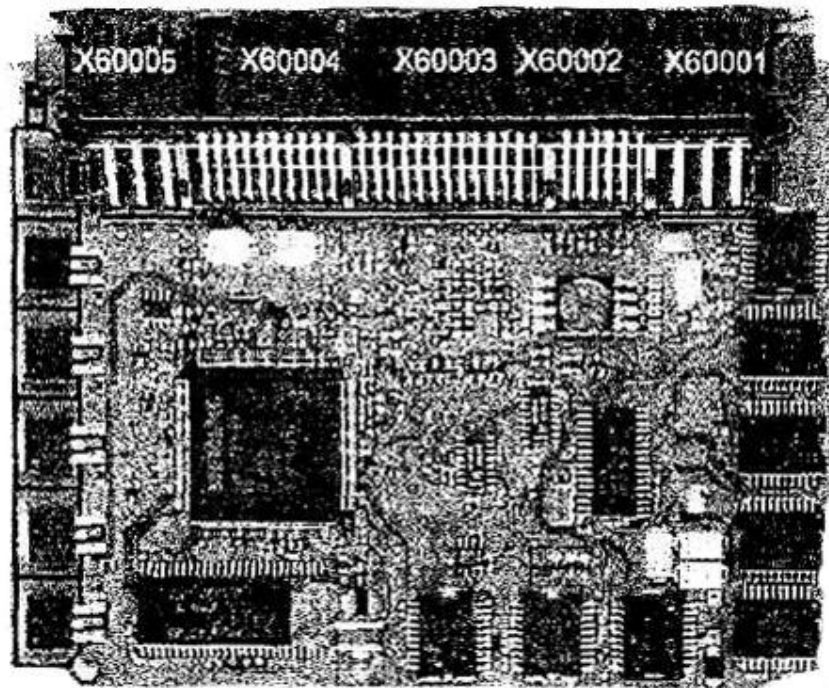


Рисунок 3 Расположение разъемов подключения ЭБУ

Для грамотного подключения электропроводки нам потребуется знать расположение проводов в разъемах относительно друг друга, их цвета и полярность проводов. Ниже будут описаны цвета и место подключения проводов «бело/красно/желтый» - шина К-Bus. (подключается к приборной панели, нужен для корректной диагностики блока иммобилайзера EWS) «фиолетово/желтый» - на «+» АКБ (плюс с замка зажигания обеспечивает подачу питания на блок EWS) «красно/черный» - на «+» через предохранитель 5А, постоянный плюс. «коричнево/черный» - на «-» заземление цепи «черно/серый» и «черно/желтый» - на тороидальную катушку ключа.

Данный элемент производит считывание сигнала с иммобилайзера. «черный» и «черно/синий» цепь разрыва стартера. При правильном срабатывании данного блока должно произойти замыкание контактов, при повороте ключа зажигания. «черно/фиолетовый» - Сигнальный провод на ЭБУ (DME) подача сигнала на старт. [4], «сине/черный (тонкий)» - на «+» (данный провод используется на автомобилях с автоматической коробкой передач, разблокирует коробку).

Проведя монтаж электрических блоков опираясь на данную структурную схему перейдем непосредственно к подаче питания на ЭБУ и первому запуску. Стоит отметить, что запуск этого ДВС является конечным результатом. Так как он имеет сложную архаику управления, необходим сброс адаптаций и коррекционных значений. Для этого воспользуемся программным обеспечением дилера INPA и произведем сброс адаптаций и коррекций. Процесс сброса адаптаций показан на рисунке 4.



Рисунок 4 Процесс сброса адаптаций.

После всего вышеперечисленного мотор работает корректно и имеет правильные числовые коррекции. Можно переходить к замеру состава ОГ с помощью газоанализатора. Инфроклар.

Результаты этого эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1

| | CO ₂ | CO | CH | O ₂ | λ |
|-----|-----------------|-----|------|----------------|-----|
| N42 | 17,3 | 0,7 | 1980 | 0,32 | 1.0 |
| N54 | 14,2 | 0,5 | 450 | 0,15 | 1.0 |

Проанализировав данные приведенные в таблице, мы можем сделать вывод, о уменьшении токсичных веществ в атмосферу[5,6]. Как следствие проведенный эксперимент, можно считать полностью успешным, так как показатели отработанных газов полностью отвечают современным экологическим требованиям. Основываясь на выше описанном стоит сказать, что смена ДВС является так же полностью успешным способом улучшения экологической обстановки [7]

Вывод: получив желаемый результат по улучшению состава отработанных газов, мы так же получили прирост к мощности, уменьшения расхода топлива, устойчивую работу ДВС при любых погодных условиях. Все выше перечисленное приводит к снижению расхода топлива и тем самым к пассивной экономии денежных средств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. *Морозов В.А., Морозова О.Н.* Совершенствование эффективности и экологичности двигателей внутреннего сгорания // ИВД. 2016. №1 (40). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-effektivnosti-i-ekologichnosti-dvigately-vnutrennego-sgoraniya> (дата обращения: 14.01.2020).

2. *Сысоева Светлана* Топливная экономия, эффективность, экологичность — атрибуты новых автомобилей, двигателей и систем // Компоненты и Технологии. 2009. №95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/toplivnaya-ekonomiya-effektivnost-ekologichnost-atributy-novyh-avtomobiley-dvigately-i-sistem-2> (дата обращения: 14.01.2020).

3. *Сысоева Светлана.* "Топливная экономия, эффективность, экологичность — атрибуты новых автомобилей, двигателей и систем" Компоненты и Технологии, no. 95, 2009, pp. 29-36.

4. *Рябко К.А., Рябко Е.В.* Воздействие двигателей внутреннего сгорания на окружающую среду // Сборник научных трудов ДонИЖТ. 2016. №41. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-dvigately-vnutrennego-sgoraniya-na-okruzhayuschuyu-sredu> (дата обращения: 14.01.2020).

5. *Рябко К.А., and Рябко Е.В.* Воздействие двигателей внутреннего сгорания на окружающую сред // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта, no. 41, 2016, pp. 55-60.

6. *Береснев А.Л., Береснев М.А.* Перспективы использования новых видов бинарных топлив для двигателей внутреннего сгорания // Международное научное издание Современные фундаментальные и прикладные исследования. 2016. № 3 (22). С. 14-25.

7. *Береснев А.Л, Береснев М.А* Увеличение эффективности подвижных объектов с использованием детонации в ходовом двигателе внутреннего сгорания.. «перспективные системы и задачи управления» материалы хiii всероссийской научно-практической конференции (Владивосток, 2018)– С.131-138

УДК 621.3

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИИ

Рассоха Д.П., Калачев О.В.

Южный федеральный университет, Институт радиотехнических систем и управления. г. Таганрог

При современном уровне развития промышленной электроэнергетики для решения самых различных задач в этой области приходится проводить большое количество вычислений, объем и сложность которых непрерывно нарастают. Все это обуславливает широкое применение вычислительных средств и в первую очередь цифровых вычислительных машин.

Следует отметить, что с применением Mathcad основным методом решения многих задач, в том числе и задач электроэнергетики, стали численный метод. Это объясняется, прежде всего, тем что ряд проблем исследования не поддается точному аналитическому решению. В таких случаях приходится применять приближенные методы. Так, например, выбор ряда рациональных величин (напряжения, сечения, мощности и т.д.) связан с численным интерполированием и аппроксимированием функций.

Численный метод, как правило, обеспечивает получение результата с определенной точностью. Общая погрешность решения задачи складывается из неустранимой погрешности (неточность исходной информации), погрешности метода (решение неточной, а аппроксимирующей задачи), вычислительной погрешности (неточность самих вычислений, округления и т.д.).

Решение задач в Mathcad связано с обработкой огромного количества информации. Наличие ошибки хотя бы в одном данном, содержащем в этой информации, приводит к получению неправильных результатов. Источниками ошибок могут быть как программа решения задачи, так и Mathcad. Ошибки программы выявляются в процессе ее отладки.

Для исключения влияния случайных ошибок (сбоев), допускаемых в Mathcad, применяются различные программные методы.

В технико-экономических расчетах часто требуется отыскать точки экстремума функций, заданных таблично. К таким задачам относятся, например:

1) *выбор экономически целесообразного сечения шин, проводов, жил кабелей.*

2) *выбор экономически целесообразного напряжения для системы электроснабжения;*

В перечисленных задачах путем расчета получается таблица зависимости годовых затрат от напряжения или сечения жил кабеля и т. п.

Следует для дальнейшего учесть, что в таких задачах функция $Z=f(x)$ ежегодных затрат всегда положительна, а график функции хорошо описывается с помощью регрессии. Задачи регрессии заключается в получении параметров аналитической функции которая приближала «облако» исходных точек с наименьшей среднеквадратичной погрешностью.

Пусть в общем случае функция $y=f(x)$ задана таблицей, причем под y понимают приведенные годовые затраты, а в качестве x могут быть напряжение, мощность и т. д.

Для отыскания точки экстремума этой эмпирической функции $y=f(x)$ представим ее многочленом $P_n(x)$ степени n используя наименьших квадратов.

Исходя из специфики технико-экономических задач электроснабжения, будем считать регрессию достаточно хорошей, если среднеквадратичная ошибка

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f(i) - P_n(i))^2}{n-1}}$$

не превышает 10% среднего арифметического табличных значений эмпирической функции. Если S превышает заданную допустимую величину, то следует сделать пересчет (выполнив регрессию функцию многочленом более высокой степени).

Отыскав методом наименьших квадратов многочлен $P_n(x)$, найдем производную $P'_n(x)$ и приравняем ее нулю. Решив уравнение $P'_n(x)=0$, найдем искомую точку экстремума.

Примеры решения задач с применения ППП Mathcad

Пример.1. В результате расчета получена зависимость между величиной сечения кабеля S , и величиной ежегодных приведенных затрат Z .

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $S, \text{мм}^2$ | 10 | 16 | 25 | 35 | 50 | 70 | 95 | 120 | 150 | 185 |
| $Z, \text{ тыс. руб./год}$ | 360 | 340 | 320 | 290 | 280 | 270 | 300 | 340 | 400 | 470 |

По расположению точек на плоскости (рис. 1) видим, что, вероятно, достаточно заданную функцию аппроксимировать многочленом второй степени: $Z=a+bS+cS^2$.

Вычисление коэффициентов полинома выполнено в Mathcad (рис.1) с помощью метода наименьших квадратов.

Получаем аппроксимирующий многочлен:

$$Z = 364,178 - 2,183 S + 0,015 S^2.$$

Найдем среднеквадратичную ошибку, допустимую при вычислении годовых затрат с помощью полученного многочлена (рис. 2).

$$X := \begin{pmatrix} 10 \\ 16 \\ 25 \\ 35 \\ 50 \\ 70 \\ 95 \\ 120 \\ 150 \\ 185 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 360 \\ 340 \\ 320 \\ 290 \\ 280 \\ 270 \\ 300 \\ 340 \\ 400 \\ 470 \end{pmatrix}$$

Векторы x и y задают узловые точки (x, y)

Вычисление степени полинома

$$N := \text{last}(X) = 9$$

$$i := 0..N$$

аппроксимировать многочленом второй степени: $z = a + b \cdot S + c \cdot S^2$.

Формирование матрицы A и B :

$$m := 2 \quad p := 0..m \quad q := 0..m$$

$$A_{p,q} := \sum_i [(X_i)^p \cdot (X_i)^q] \quad B_p := \sum_i [(X_i)^p \cdot (Y_i)]$$

$$A = \begin{pmatrix} 10 & 756 & 8.976 \times 10^4 \\ 756 & 8.976 \times 10^4 & 1.282 \times 10^7 \\ 8.976 \times 10^4 & 1.282 \times 10^7 & 1.999 \times 10^9 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 3.37 \times 10^3 \\ 2.763 \times 10^5 \\ 3.539 \times 10^7 \end{pmatrix}$$

Вычисление коэффициентов a полинома из решения системы линейных уравнений:

$$a := A^{-1} \cdot B \quad a = \begin{pmatrix} 364.178 \\ -2.183 \\ 0.015 \end{pmatrix}$$

Определение полинома $z(s)$

$$z(s) := \sum_{k=0}^m (a_k \cdot s^k) \quad z(s) \text{ float, 4} \rightarrow -2.183 \cdot s + 0.01536 \cdot s^2 + 364.2$$

График полинома $z(s)$ и нанесенные на него узловые точки

$$t := X_0..X_N$$

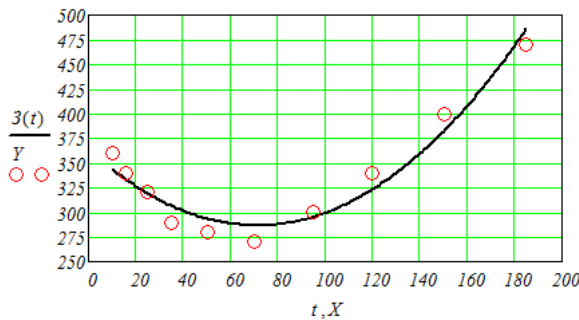


Рис. 1

| | |
|--|---|
| <p>Вычислим стандартное отклонение</p> $SI := \sqrt{\frac{1}{m-1} \cdot \sum_i (z(X_i) - Y_i)^2} = 43.639$ | <p>Вычислим среднеквадратичное ошибку</p> $b := \frac{\sqrt{\sum_{i=0}^{m-1} (Y_i - z(X_i))^2}}{\sqrt{m-1}} = 17.499$ |
|--|---|

Рис. 2

Полученное приближение достаточно хорошее, так как составляет 5% среднеарифметического табличных значений функции.

Для нахождения точки экстремума дифференцируем полученный многочлен и производную приравняем нулю (рис. 3).

Вычислим точку экстремума

Given

$$\frac{d}{dr} z(r) = 0$$

Minimize(z, r) float, 4 $\rightarrow 71.07$ $r := 71.07$ $z(r) = 286.609$

Рис. 3

Таким образом, значение s в точке экстремума:

$$S_{\text{Э}} = 71.066 \text{ мм}^2.$$

Как говорилось выше, в задачах технико-экономических расчетов в области электроснабжения кривые зависимости годовых затрат $Z=f(s)$ имеют довольно слабо выраженный минимум, т. е. на некотором отрезке S_k, S_p , содержащем $S_{\text{мин}}$, функция достаточно мало отклоняется от прямой (рис.4).

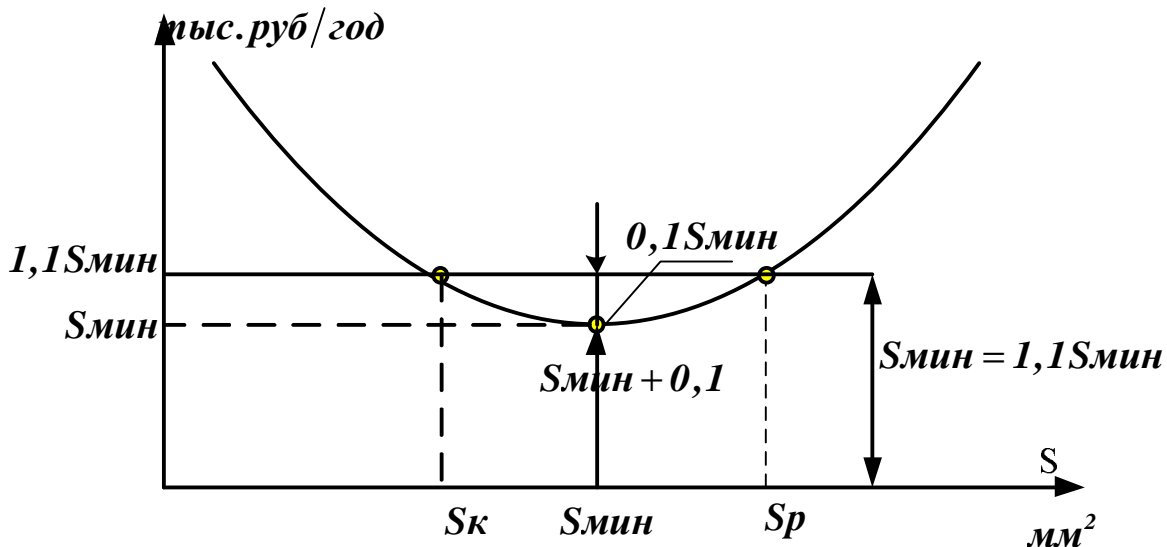


Рис. 4

По экономическим соображениям в пределах допустимой погрешности 10% для значений годовых затрат обычно выгодно взять (из соображений экономии цветного металла) $S_{\text{Э}}$ как наименьшее допустимое значение аргумента, т. е. $S_k = S_{\text{Э}}$ (экономически целесообразное). Для этого поступаем следующим образом. По найденному значению $S_{\text{Э}} = \text{мм}^2$, находим:

$$Z_{\text{МИН}} = 364,178 - 2,183 \cdot 71.066 + 0,01571 \cdot 71.066^2 = 286.609 \text{ тыс. руб.}$$

Найдем допустимую абсолютную погрешность для значения функции:

$$DZ_{\text{МИН}} = 0,1 \cdot 286.609 = 28.6609 \text{ тыс. руб.}$$

Далее составим уравнение $Z_{\text{МИН}} + DZ_{\text{МИН}} = 364,178 - 2,183s + 0,015s^2$, или $364,178 - 2,183s + 0,015s^2 = 315,27$

Корни S этого уравнения являются абсциссами точек пересечения кривой годовых затрат и прямой $Z=293,27$ тыс. руб. Таким образом, в этом случае будет найдена точка $S_K = S_{Э.Ц} = \min(S_1, S_2)$, где S_1 и S_2 — корни полученного квадратного уравнения $0,015S^2 - 2,183S + 48,908 = 0$.

Решаем квадратное уравнение в Mathcad (рис. 5).

Вычислим точку экстремума с учетом 10% погрешности для значений годовых затрат

$$x_2 := 1.1 \cdot Z(r) = 315.27$$

$$C := a \quad C_0 := C_0 - x_2 = 48.908$$

Вычисление корней квадратного уравнения
 $0,015S^2 - 2,183S + 48,908 = 0$.

Точка экстремума

$$\text{polyroots}(C) = \begin{pmatrix} 27.868 \\ 114.263 \end{pmatrix} \quad S_1 := 27.868 \quad S_2 := 114.263$$

Рис. 5

Таким образом $S_1 = 27,868$ и $S_2 = 114,265$.

Окончательно примем: $S_{Э.Ц} = 27,868 \text{ мм}^2$, или стандартное $S_{Э.Ц} = 35 \text{ мм}^2$.

В рассмотренном примере погрешность регрессии составляет 5%. Поэтому принимая 10%.-ную погрешность для значений годовых приведенных затрат при выборе экономически целесообразного сечения ($S_{Э.Ц} = S_K < S_{МИН}$), мы, однако, не превышаем погрешность, допустимую для технико-экономических расчетов систем электроснабжения промышленных предприятий.

Это объясняется тем, что при выборе сечений проводов и жил кабелей по существующей методике, учитывающей различные технические условия, мы получаем завышенное значение сечения.

Таким образом, в данном примере оба фактора, действуя встречно, в определенной степени компенсируют получающееся изменение сечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические рекомендации по проектированию развития энергосистем. «Энергосетьпроект».-М.2003.-41с.
2. *Лыкин А.В.* Электрические системы и сети: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 248 с.
3. *Тибейко И.А., Рассоха Д.П.* Выбор электрооборудования и релейной защиты внутризаводского электроснабжения промышленных предприятий. Учебное пособие. Издательство «АНАЛИТИКА РОДИС», Московская обл., г. Ногинск, 2016г., -181с.
4. *Рассоха Д.П.* Анализ электронной цепи с транзистором. Учебное пособие для выполнения курсовой работы по дисциплине «Теоретические основы электротехники», с применением пакетов прикладных программ MathCad и Multisim. Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, Молдова. 2017. -100с.

УДК 621.315.611

МОНИТОРИНГ ВЭЛ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

Королихин Н.Н., Полуянович Н.К.

Южный федеральный университет, Институт радиотехнических систем и управления. г. Таганрог

Введение. В волоконно-оптических датчиках сигналом является свет в оптическом волокне, вместо электричества в медном проводе у традиционных электрических датчиков. Распределенные волоконно-оптические датчики представляют собой перспективный вариант систем мониторинга состояния объектов критической инфраструктуры (линии электропередач, мостов, тоннелей, трубопроводов и т.д.). Контроль температуры фазного провода актуален на ВЛ, где зачастую необходимо увеличивать передаваемую мощность и токовую нагрузку для потребителей. При заданных климатических условиях возможно эффективное использование всех ресурсов ВЛ, не допуская при этом возникновения аварийных ситуаций и соблюдая требуемые габариты проводов до пересечений (ВЛ, ж/д, автомагистрали). Системы контроля температуры и токовых нагрузок силовых кабелей широко распространены и применяются повсеместно [1]. Для этого в броню силового кабеля вместо одной из проволок помещается стальной оптический модуль с волокном, по которому производится мониторинг.

Постановка задачи: рассмотреть существующие методы диагностики линий электропередач с использованием оптоволоконна. Разработка распределенной системы мониторинга ВЭЛ позволяющая производить контроль температуры ВЭЛ и определяющая наличие повреждений линии, с целью повышения надежности и энергоэффективности их взаимодействия с объединенной энергосистемой. Разработанная система должна иметь компактный дизайн, основной вычислительной единицей должен служить одноплатный ПК.

Мониторинг ВЭЛ на основе оптического волокна. В настоящее время контроль температуры протяженных кабельных линий осуществляется путем измерения температуры оптического волокна (ОВ), проложенного вдоль или внутри этих объектов. При этом температура ОВ служит индикатором для определения других физических характеристик или состояния объектов: утечек из трубопроводов, замыкания в силовых кабелях и т.д. В зависимости от требуемого диапазона измерения температур используются либо стандартные телекоммуникационные, либо специализированные ОВ. Есть ситуации, при которых требуется контроль температуры самого ОВ, например плавка гололеда – удаление обледенения оптического кабеля путем нагрева его электрическим током. В волоконно-оптических линиях связи на воздушных линиях электропередачи (ВОЛС-ВЛ) часто используется оптический кабель в грозозащитном тресе (ОКГТ). В ряде климатических районов возможно образование гололеда на таком кабеле. Одним из способов снятия льда является

пропускание по ОКГТ электрического тока, что приводит к его нагреву и сбрасыванию льда. В ходе этого процесса ОВ также нагревается, и необходимо не допускать увеличения его температуры выше указанных значений. ВОЛС-ВЛ имеют достаточно большую протяженность. Налипание льда на кабеле неравномерно по его длине из-за различия в условиях окружающей среды: температуры, влажности, скорости и направления ветра. Различаются также условия расположения ОВ относительно оболочки кабеля, от которой тепло передается к ОВ. Поэтому эффективный контроль состояния ОВ возможен только при непосредственном измерении его температуры и ее распределения вдоль ОКГТ. Какие-либо точечные датчики, установленные на внешней поверхности кабеля, не могут служить источником достоверных данных о температуре всего ОВ.

Измерение температуры ОВ обычно основывается на анализе характеристик бриллюэновского или рамановского рассеяния. Каждый из методов имеет свои достоинства; в каждом случае для реализации метода необходимо преодолеть определенные технические сложности. При распространении оптического излучения по ОВ рассеянный сигнал состоит из различных компонентов: • компонентов с той же длиной волны, что и падающее излучение – рэлеевское рассеяние; • компонентов с другими длинами волн – рамановское и бриллюэновское рассеяние, спектры которых, в свою очередь, содержат не одну, а две линии; спектральная линия, с большей длиной волны, чем рэлеевская, называется стоксовой, а линия с меньшей длиной волны – антистоксовой. Параметром, по которому определяют температуру ОВ при регистрации бриллюэновского рассеяния, является изменение частоты его компонент. Однако на эту частоту влияет также и механическое натяжение ОВ, причем чувствительность к нему значительно выше, чем к изменению температуры. При образовании гололеда на оптическое волокно воздействуют оба фактора и разделить их влияние крайне затруднительно, если вообще вероятно выполнить это разделение в условиях реальных ВОЛС-ВЛ. Возможность измерения температуры ОВ по характеристикам рамановского рассеяния основана на соотношении между интенсивностями антистоксовой и стоксовой компонент (1):

$$\frac{I_{AC}}{I_C} = \left[\frac{I_C}{I_{AC}} \right]^4 \exp \left[-\frac{hcv}{kT} \right], \quad (1)$$

где I_{AC} и I_C – интенсивность антистоксовой и стоксовой компонент; λ_{AC} и λ_C – длина волны антистоксовой и стоксовой компонент; ν – разность волновых чисел падающего излучения и стоксовой (антистоксовой) компоненты; T – абсолютная температура ОВ; h – постоянная Планка; k – постоянная Больцмана; c – скорость света в вакууме.

Выражение (1) показывает, что при увеличении температуры ОВ отношение интенсивностей компонент рамановского рассеяния увеличивается; происходит это прежде всего из-за роста антистоксовой компоненты. Для стандартных одномодовых ОВ и диапазона длин волн, используемого в

волоконно-оптической связи, изменение отношения I_{AC}/I_C составляет примерно 0,8%/К.

Одним из самых распространенных методов диагностики состояния ОВ является метод импульсной рефлектометрии: в ОВ вводится зондирующий оптический импульс, регистрируется непрерывный сигнал обратного рассеяния и анализируется зависимость его интенсивности от времени. Как было указано выше, в спектре этого сигнала всегда есть рэлеевская компонента (ее параметры не зависят от температуры ОВ) и компоненты рамановского рассеяния. Для определения температуры ОВ необходимо выделить их из общего сигнала. Таким образом, для решения задачи контроля температуры ОВ ВОЛС-ВЛ был выбран метод рамановской импульсной рефлектометрии. Вследствие больших длин ВОЛС-ВЛ для проведения измерений целесообразно использовать длины волн в диапазоне 1550–1625 нм, на которых затухание ОВ минимально. Но тогда длина волны стоксовой компоненты становится больше 1650 нм, потери в ОВ значительно возрастают, чувствительность приемной аппаратуры падает, и регистрация компоненты возможна только на коротких расстояниях. Вследствие этого для измерения температуры ОВ может использоваться только антистоксова компонента.

Структурная схема распределенной системы мониторинга. В основном существующие системы мониторинга кабельных линий представляют собой громоздкие устройства, встраиваемые в 19” серверные стойки. В данном проекте рассматривается возможность создания компактного устройства, выполненного на основе одноплатного ПК.

В результате анализа возможных вариантов построения рамановского рефлектометра был разработан прибор, структурная схема которого представлена на рис. 1.

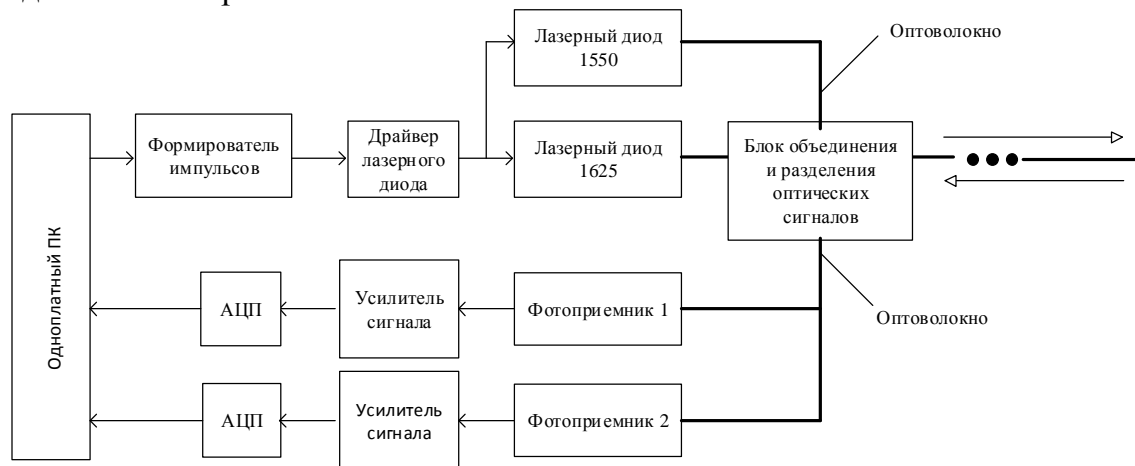


Рис. 1 Структурная схема рефлектометра

Представленная система позволяет производить контроль температуры ВЭЛ и определяет наличие повреждений линии. Одноплатный ПК задает алгоритм работы формирователю импульсов, который в свою очередь управляет работой драйвера лазерного диода. Далее с лазерного диода

полученный импульс переходит из электрической формы в оптическую и передается в оптоволокно. Отраженный сигнал по оптоволокну доходит до блоков фотоприемников, где происходит обратное преобразование оптического сигнала в электрический. Этот сигнал, как правило, имеет малую амплитуду, для дальнейшей работы с передаваемым сигналом усиливается в соответствующем блоке. Так как сигнал будет аналоговым, для работы с ним, его нужно преобразовать в цифровой вид при помощи АЦП. После чего сигнал возвращается к одноплатному ПК, в котором происходит предоставление полученной информации пользователю системы.

В качестве источника зондирующего импульса используется лазерный диод (ЛД) с длиной волны 1625 нм. Его излучение вводится в измеряемое ОВ через блок объединения и разделения оптических сигналов, содержащий пассивные оптические компоненты – мультиплексоры и циркуляторы. Импульс с длиной волны 1625 нм при распространении по ОВ порождает сигнал обратного рэлеевского рассеяния с такой же длиной волны и антистоксову компоненту рамановского рассеяния, центральная длина волны которой находится около 1520 нм. Эти сигналы возвращаются к началу ОВ, отделяются друг от друга в блоке объединения и разделения оптических сигналов и поступают в двухканальное приемное устройство. Каждый канал состоит из фотодиода (ФД), усилителя (У) и АЦП.

Фотоприемник. Лавинный фотодиод — NR8300FP-CC — с типовым коэффициентом умножения $M=40$. Выбор именно лавинного фотодиода обуславливается тем, что отраженный сигнал, прошедший большое расстояние настолько слаб, что обычный рпн-фотодиод просто не будет генерировать ток и нечего будет оцифровывать. А лавинный фотодиод «умеет» дополнительно усиливать принятый сигнал, на Рис. 2 показана зависимость коэффициента умножения лавинного диода от обратного напряжения и от температуры:

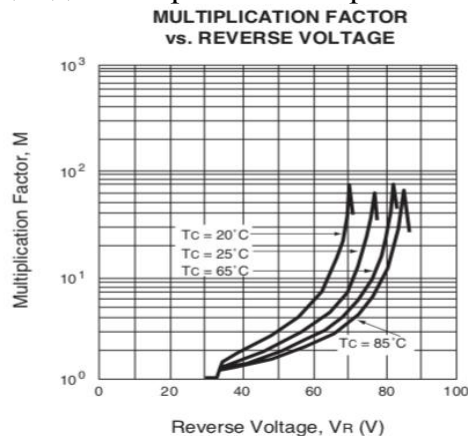


Рис. 2 график зависимости коэффициента умножения.

Формирователь импульсов, показанный на рис.1, управляет работой лазерными диодами, как и в обычном оптическом рефлектометре, позволяет проводить измерения при достаточно широком наборе длительностей импульса – от 8 нс до 10 мкс. Одноплатный ПК осуществляет управление и обработку сигналов.

Одноплатный ПК. В качестве центрального вычислительного устройства был выбран одноплатный ПК RaspberryPi 3 ModelB+. Данная модель является довольно распространённой, имеет множество дополнительных плат расширения, что в дальнейшем может позволить усовершенствовать систему. Внешний вид устройства представлен на рис. 3.

Характеристики: 4-ядерный процессор на 1,2 гигагерца, построенный, естественно, на архитектуре ARM, а именно – CortexA-53; видеоядро VideoCoreIV; 1 гигабайт ОЗУ, тактовая частота которой равняется 900 мегагерцам; Модуль WiFi; Bluetooth 4.1.

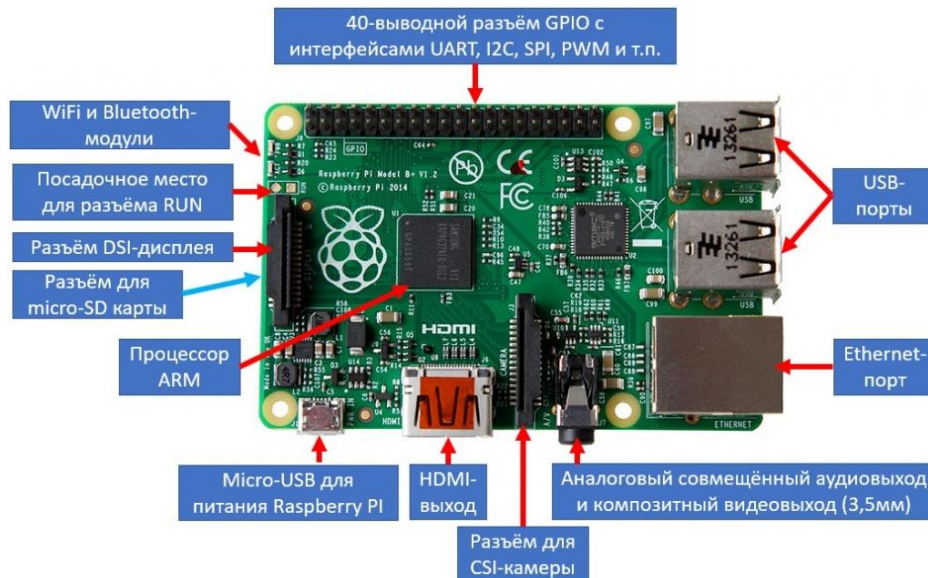


Рис. 3 обзор составных элементов RaspberryPi

Высокоточный АЦП/ЦАП конвертер. Для обработки получаемых от фотоприемника сигналов необходимо использовать АЦП т. к. на большинстве доступных одноплатных ПК данного функционала нет, в проекте используется плата расширения для RaspberryPi 3 ModelB+. Плата High-PrecisionAD/DABoard добавит высокоточные АЦП и ЦАП в RaspberryPi. Особенности:

- Поддерживает Raspberry Pi: 1 Model A+/ B+, 2 Model B, 3 Model B/ B+;
- Прецизионный 8-канальный 24-битный АЦП ADS1256 с частотой дискретизации 30ksps;
- Прецизионный 2-канальный 16-битный ЦАП DAC8532;
- Входной интерфейс через штыревой разъем, для подключения аналогового сигнала;
- Интерфейс ввода / вывода через винтовые клеммы для подключения аналогового / цифрового сигнала.

В основе платы прецизионный 8-канальный 24-битный АЦП ADS1256 с частотой дискретизации 30ksps и прецизионный 2-канальный 16-битный ЦАП DAC8532. На плате установлены разъемы интерфейса аналоговых сигналов, выводы которых совместимы с интерфейсами сенсорных оценочных плат

Waveshare. Таким образом, к плате можно легко подключить различные модули аналоговых датчиков. Входы/выходы для подключения к источникам аналоговых/цифровых сигналов реализованы на основе винтовых клеммников.

На Рис. 4 представлен внешний вид платы High-Precision AD/DA Board.

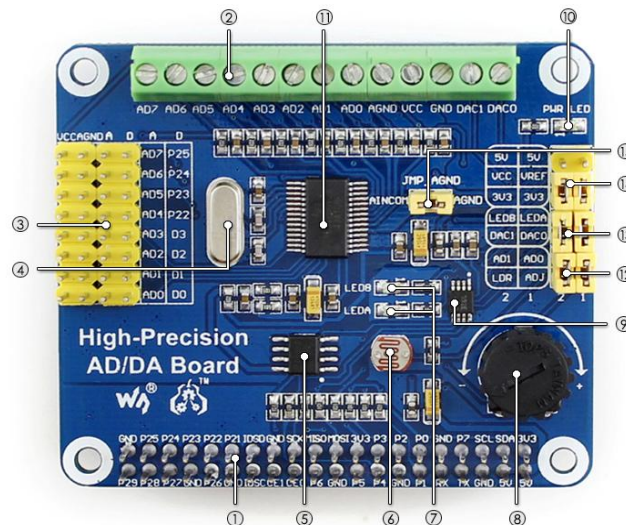


Рис. 4 Плата High-Precision AD/DA Board.

Функциональные блоки:

- Интерфейс RaspberryPiGPIO: для подключения к Pi; 2-Вход/выход AD/DA (High-PrecisionAD/DABoard): винтовые клеммы; 3-Входной сигнал: Разъемы для подключения внешних датчиков; 4-7,68 м Кристалл; 5-LM285-2.5: обеспечивает опорное напряжение для микросхемы АЦП; 6-Фоторезистор; 7-Светодиодный выходной индикатор; 8-Потенциометр 10К; 9-DAC8532: 16bit высокоточное ЦАП, 2х каналный; 10-Индикатор питания; 11-ADS1256: 24-битный высокоточный АЦП, 8и каналный (4-канальный дифференциальный вход); 12-Испытательная перемычка АЦП; 13-Тестовая перемычка ЦАП; 14-Перемычка выбора мощности; 15-Конфигурация опорной земли АЦП.

В качестве основного изучаемого волокна использовался кабель ММ 50/125. Кабель является многомодовым. Диаметр сердцевины $D_{co}=50$ мкм, диаметр отражающей оболочки $D_{cl}=125$ мкм. Материал оптического волокна-кварцевое стекло, сердцевина-кварцевое стекло, легированное германием. Не содержит металлических элементов и гелиевых наполнителей кабель не корродирующий - в соответствии с IEC60754-2 (FRNC) и DIN VDE0472, часть 813.

Заключение. Рассмотрены основные виды распределенных систем мониторинга кабельных линий и описан принцип их работы. Для производства мониторинга температуры ОВ был выбран метод рамановской импульсной рефлектометрии. Для проведения измерений целесообразно использовать длины волн в диапазоне 1550–1625 нм, на которых затухание ОВ минимально. В качестве источника зондирующего импульса используется лазерные диоды с длинами волн 1550 нм и 1625 нм. Разработана общая

структурная схема и описано оборудование для реализации системы мониторинга кабельных линий. Главным вычислительным и управляющим устройством является одноплатный ПК, с помощью которого происходит управление частоты формирования импульсов, а также анализ получаемых результатов и предоставление их пользователю.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Совершенствование методов диагностики и прогнозирования электроизоляционных материалов систем энергоснабжения. Монография / М. Н. Дубяго, Н. К. Полуянович; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. – 192 с.
2. Диагностика ЛЭП по оптическому волокну в грозозащитном тресе или фазном проводе. <https://vols.expert/useful-information/diagnostika-lep-po-opticheskomu-voloknu-v-grozozashhitnom-trose-ili-faznom-provode/>
3. Дубяго М.Н., Полуянович Н.К. Метод оценки и прогнозирования остаточного ресурса изоляции кабельных линий. ж. Известия ЮФУ. Технические науки. №3 2019. С.132-143.
4. Н.К. Полуянович, М.Н. Дубяго. Прогнозирование ресурса кабельных линий с использованием метода искусственных нейронных сетей. ж. Известия ЮФУ. Технические науки. №3 2019. С.51-62.
5. Дубяго М.Н. Разработка модели старения и определение остаточного ресурса изоляции силовых кабелей / Дубяго М.Н.// Известия ЮФУ. Технические науки. –2014. –№ 4 (153)– С.107-114.
8. Изготовление оптического рефлектометра.[Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/358648/>

УДК 620.92

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТБОИ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНТЕЗИРОВАННОГО ТОПЛИВА

Немцов Д.А., Полуянович Н.К.

Южный федеральный университет, Таганрог

Введение. Искусственные полимеры разлагаются столетиями, медленно отравляя биосферу. Производственный и бытовой мусор до сих пор выбрасывается сотнями тонн на землю или в океан, что в ближайшие 10 лет приведет к необратимым последствиям. Захоронения мусора в землю или сжигание в котлах не решают проблему, напротив, ускоряет высвобождение ядов в окружающую среду. Единственное правильное решение – не использовать пластик в качестве упаковок и емкостей для продуктов питания. Сегодня состояние экологии близко к критическому, и если не начать бороться с мусором правильными способами, то наша страна погрязнет в отходах. Есть и

экономический момент в переработке: выработка «зелёной» энергии позволяет существенно экономить в долгосрочной перспективе, получая материалы или электроэнергию буквально «из ничего».

Актуальность проблемы. По данным Росприроднадзора, к началу 2018 года в России было накоплено 38 млрд 73 млн т промышленных и бытовых отходов. При этом ежегодный прирост составляет порядка 70 млн. тонн твердых бытовых отходов (ТБО). Как свидетельствует исследование, проведенное агентством Тетро, на первом месте оказалась Канада, на втором - Болгария, а замыкают тройку лидеров США. Так, на каждого гражданина Канады приходится 36 тонн мусора в год (всего в стране в 2017 году было насчитано 1,3 миллиарда тонн отходов). Большую часть из них составляют промышленные отходы переработки нефти, обработки металла и от химической индустрии.

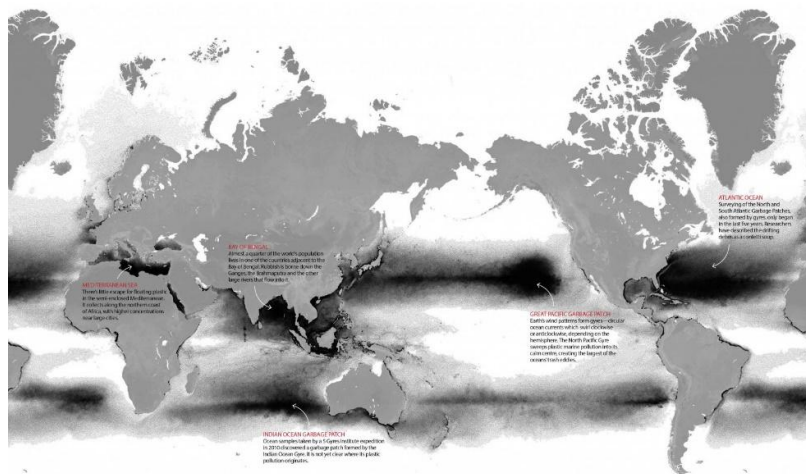


Рис.1 -Зоны загрязнения мировых вод пластиком

Не стоит также забывать о проблеме загрязнения мирового океана. По мнению группы океанологов, из США, каждый год в мировой океан попадает 8 млн тонн пластикового мусора. Это наносит огромный вред океанической флоре и фауне, угрожая существованию многих видов. Пальма первенства досталась Китаю: на его долю приходится 30% всего объема, или 2,4 млн тонн отходов. В число главных загрязнителей ученые также отнесли Индонезию, Шри-Ланку, Нигерию, Малайзию и ряд других стран азиатского и африканского континентов. Это обусловлено бурным развитием стран, а также тем фактом, что их власти уделяют экологии недостаточно внимания. На рисунке 1 показаны основные зоны загрязнения мировых вод пластиковыми отходами.

Постановка задачи. Сжигание углеводородного топлива для получения электроэнергии при действующих технологиях сжигания приводит к ежегодному выбросу в окружающую среду огромного количества двуокиси углерода. Последнее может привести к росту парникового эффекта и другим

непредсказуемым природным катаклизмам. Специфическим топливным ресурсом являются твердые коммунальные отходы (ТКО), постоянно образуемые в результате жизнедеятельности человека и по сути, являющиеся бесплатным сырьем для получения синтез-газа, основной статьей расходов при работе с данным видом топлива будет транспортировка.

Если же в расчет брать мусор из Мирового океана, то сие предприятие становится довольно убыточным, так как мусор этот нужно будет сначала выловить из воды, что на данный момент является задачей почти невыполнимой, по причине отсутствия опыта и финансирования, так как в этом не заинтересованы правительства стран. Основной целью работы является обзор существующих методов переработки отходов с выбором оптимального варианта, а также классификация электростанций и выбор оптимального ее типа.

Методы утилизации и переработки ТБО. У бытового мусора есть классификация. Для каждого вида отходов утилизация имеет свои особенности. В Европе развитие системы утилизации ТБО связано с повсеместным строительством мусоросжигающих заводов. В ЕС работает около 500 таких предприятий. Строительство МСЗ планируется и в России. Существует несколько методов термической переработки мусора:

- Сжигание. Преимущественная технология – объем ТБО сокращается на 95 процентов, установки работают более 15 лет.
- Газификация. За счет частичного окисления из бытовых отходов выделяется синтез-газ – ценное сырье для промышленности.
- Пиролиз. ТБО разлагаются при нагревании без доступа кислорода. Используется редко, хотя и явно выигрывает у сжигания с точки зрения экологии.
- Гидрогенизация. Умеренный нагрев, водород и катализатор помогают выделять из полихлорированных бифенилов трансформаторное масло. В России технология распространения не получила.
- Плазменная переработка. Бытовой мусор нагревается плазматроном. Плюс – безопасные для человека и природы остаточные вещества. Минусы – трудности с выводом шлаков, дороговизна и сложность конструкции.

Анализ преимуществ и недостатков рассмотренных методов утилизации и переработки ТБО дает возможность сделать вывод, что оптимальным вариантом реализации требований, предъявляемых к мусороперерабатывающему комплексу, обозреваемому в рамках настоящего проекта, является вариант получения топлива в виде сизага из ТБО способом пиролиза или же плазменной переработки.

Плазменная газификация. Метод плазменной переработки был создан в результате совместной работы ученых России, Украины и Израиля. Местом рождения признан Курчатовский институт атомных технологий, а изобрел его академик Велихов. Но открытие первого мусороперерабатывающего завода нового поколения произошло к сожалению, не в России.

В 2010 году недалеко от израильского города Кармиэль, состоялось открытие 100% экологически безопасного завода по переработке ТБО, его принцип работы полностью основан на плазменной технологии.

Такой способ утилизации приносит двойную пользу: избавляет страну от мусора и производит необходимую для нужд населения энергию. При плазменной переработке выделяется газ, но его не выбрасывают в атмосферу, а используют как источник энергии. Он способен заменить природный газ, уголь или мазут.

Плазменный газификатор – это камера, из которой вытесняется кислород, нагреваемая до крайне высоких температур, достигаемых при помощи плазмы. Так как среда внутри такой камеры лишена кислорода, обрабатываемый в газификаторе исходный материал не воспламеняется. Вместо этого, тепло разлагает исходный материал на такие элементы, как водород и простые соединения, например, оксид углерода и воду. Образующийся в результате газ называется «синтетический газ» или «сингаз» [5].

Большинство типов исходных материалов, включая твердые бытовые отходы, содержат как органические, так и неорганические компоненты. Органические компоненты преобразуются в синтетический газ. Неорганические компоненты, такие как стекло, металл и бетон, плавятся внутри реактора и вытекают из его нижней части в качестве нетоксичного остеклованного жидкого шлака, который можно безопасно использовать как композитный материал.

Тепло от систем плазменных горелок и относительно длительное время пребывания в газификаторе обеспечивают полное разложение исходного материала и позволяют выполнять обработку исходных материалов с большим количеством влаги, а также исходный материал, содержащий большие объемы инертных элементов, таких как стекло и металл.

Образующийся в газификаторе синтетический газ, содержащий пыль (твердые частицы) и другие нежелательные элементы, такие как ртуть, проходит процесс очистки, что позволяет сделать его пригодным для преобразования в другие формы энергии, включая электроэнергию, теплоэнергию и жидкие топлива. Процесс очистки синтетического газа адаптируется в соответствии с требованиями каждого отдельного проекта. Но в большинстве случаев, особенно когда в качестве исходного материала используются твердые бытовые отходы, очистка синтетического газа включает в себя удаление твердых частиц, серы и ртути/тяжелых металлов. Плазменная газификация отличается от неплазменной газификации одним ключевым условием – температурой. Неплазменные газификаторы, как правило, работают при температуре 800 и 900 °С. Температура внутри плазменного газификатора достигает более 3000 °С. Синтетический газ выходит из газификатора при температуре 950 °С. Шлак вытекает из газификатора при температуре 1650 °С. Более высокая температура внутри плазменного газификатора приводит к полному разложению смол, что недостижимо при использовании неплазменных технологий. Удалить смолы из конечного продукта газификатора практически невозможно, поэтому использование синтетического газа, производимого

неплазменными газификаторами, очень ограничено. Его можно немедленно сжечь, однако он не пригоден для использования в газовых турбинах, поршневых двигателях и не подходит для преобразования в жидкие топлива. Преимущества технологии плазменной газификации по сравнению с методом сжигания мусора для переработки ТБОВ приведены в таблице 1.

Таблица 1 Сравнение плазменной газификации с методом сжигания мусора.

| | Плазменная газификация | Сжигание мусора |
|---|--|---|
| Универсальность в отношении исходного материала | ТБО Промышленные отходы; Отходы оптово-розничной торговли и промышленные отходы; Опасные отходы; Отработанные покрышки; Топливо из биомассы | ТБО и другие обычные потоки отходов |
| Образуемое топливо | Синтетический газ (оксид углерода и водород) | не применимо |
| Возможности использования конечных продуктов | Альтернатива природному газу и горючим маслам Электроэнергия через паровой цикл Электроэнергия через комбинированный цикл или поршневые двигатели Технический пар Жидкие топлива (этанол, биотопливо) Водород Соединения удобрений | Электроэнергия через паровой цикл Технический пар |
| Общая эффективность завода | Процесс с комбинированным циклом: 1 тонна твердых бытовых отходов позволяет выработать 1000 кВт электроэнергии при использовании конфигурации комбинированным циклом | Процесс с паровым циклом: 1 тонна твердых бытовых отходов позволяет выработать 500–650 кВт электроэнергии |
| Выбросы | Процесс с комбинированным циклом: Оксид азота (NOx): <36 частей на миллион по объему в день Диоксид серы (SO ₂): <1,05 частей на миллион по объему в день Ртуть (Hg): <1,4 мкг/сухой стандартный см ³ | Оксид азота (NOx): 110–205 частей на миллион по объему в день Диоксид серы (SO ₂): 26–29 частей на миллион по объему в день. Ртуть (Hg): 28–80 мкг/сухой стандартный см ³ |
| Побочный продукт | Инертный, неопасный и не содержащий выщелоченных веществ стекловидный шлак пригоден для использования в качестве композитного строительного материала или минеральной ваты. Большая часть твердых частиц, удаленных в ходе очистки синтетического газа, пригодна для переработки. | Опасная летучая зола и остатки мокрого улавливания золы плюс золошлаковые отходы после сжигания мусора |

Реализации полученного синтез-газа. Для начала определимся с типом подходящей нам электростанции, выбирать будем конечно из тепловых электростанций, проведем их классификацию. В нашем случае наиболее подходящим вариантом станет парогазовая электростанция, она же газотурбинная комбинированного цикла, поскольку таким образом будет обеспечен наивысший КПД [8,17,18] из возможных, приблизительно равный 60%, при условии использования сингаза [6,7].

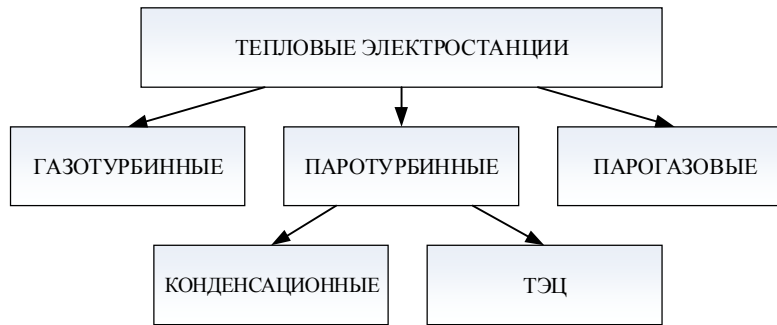


Рис. 2 – Классификация тепловых электростанций

Алгоритм работы рассматриваемой системы переработки ТБО с конечным получением электроэнергии будет иметь следующий вид (рисунок 3)[8].

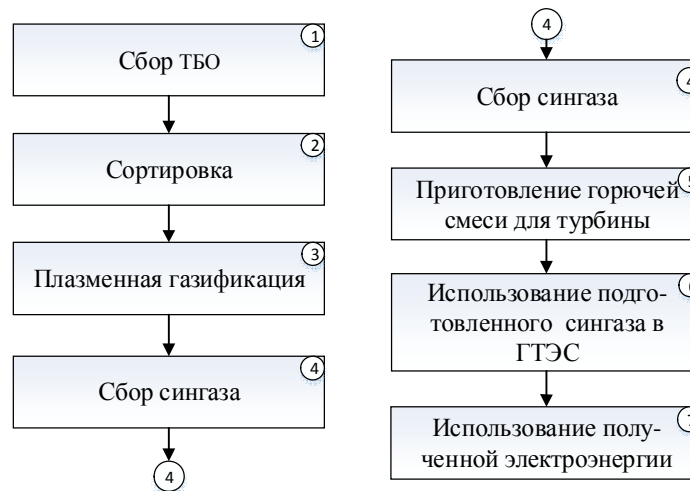


Рис. 3 – Алгоритм работы рассматриваемой системы

Особое внимание следует обратить на пятый пункт алгоритма, в следствии того, что для выработки сингаза используется нестабильное сырье в виде ТБО, то и получаемый газ будет иметь нестабильный химический состав[13,16]. Для того чтобы горение газа в турбине было стабильным, необходимо полученный «сырой» сингаз сначала очистить от лишних примесей, а затем добавить в его состав определенное количество природного газа в процентном соотношении, тем самым будет получена горючая смесь, которая даст стабильное горение.

Заключение. Произведен обзор существующих методов получения сингаза из ТБО, проведен анализ проблемы экологии затрагиваемой проектом. Итогом работы стал выбор перспективного метода переработки ТБО, а также подбор способа реализации полученного синтез-газа и других веществ, полученных в результате плазменной газификации.

Если борьба с мусором на суше ведется хоть с каким-то успехом, то проблема загрязнения мирового океана пока мало кого волнует и если разговоров о «большом мусорном острове» в Тихом океане ведется много, то какие-либо действия по его ликвидации были предприняты лишь группой

энтузиастов, основавших компанию «The Ocean Cleanup». Мощностей и средств, которыми располагает эта неправительственная организация, недостаточно для успешной борьбы с загрязнением океанских вод, а правительства различных стран не спешат выделять средства на очистку международных вод. Мы данной работой хотим обратить внимание на эту мусорную катастрофу мирового масштаба. А начать стоит хотя бы с пропаганды принципа: «Чисто не там, где убирают, а там, где не мусорят!»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алексашина В.В.* «Экология города мусоросжигательные заводы» 2014.
2. *Tiago Pinto* «Рынки электроэнергии с растущими уровнями возобновляемой генерации: структура, функционирование, агентное моделирование и новые проекты» Springer 2018г. 640стр.
3. *Пьер Пинсон, Хенрик Медсен.* «Интеграция возобновляемых источников энергии на рынках электроэнергии» Springer 2015г. 429 стр.
4. *Erich Nau,* Wind Turbines – 2013 Fundamentals, Technologies, Application, Economics// Third, translated edition, Springer, 2013, 879 p., ISBN: 978-3-642-27151-9
5. *Столбов Н.В.* «Способ и установка Плазмотермической переработки углеродсодержащих промышленных и сельскохозяйственных отходов для получения плазмогаза» 2011
6. *Кудинов А.А.* «Парогазовая установка электростанции» 2009
7. *Федоров А.А.* «Справочник по электрооборудованию и электроснабжению организаций предприятий и учреждений». Т1, Т2, Москва, «Энергоатомиздат», 1986 г.
8. *Полуянович Н.К.* Энергетическая электроника. Пособие по решению задач и методические указания / Таганрогский радиотехнический университет, Кафедра теоретических основ электротехники. Таганрог, 2001.
9. *Полуянович Н.К.* Разработка алгоритма релейной защиты распределительной сети на основе математической модели. Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. № 1 (90). С. 240-245.
10. *Полуянович Н.К., Дубяго М.Н.* Электрический привод. Для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» по профилю «Электрооборудование предприятий, организаций и учреждений, электрического транспорта, автомобилей и тракторов» / Южный Федеральный Университет, Инженерно-технологическая академия, Институт радиотехнических систем и управления, Кафедра электротехники и мехатроники. Таганрог, 2015.
11. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К., Бурьков Д.В.* Разработка метода прогнозирования процесса старения изоляцииина основе термофлуктуационной теории частичных разрядов. Инженерный вестник Дона. 2017. № 3 (46). С. 26
12. *Полуянович Н.К., Дубяго М.Н.* Термофлуктуационный метод диагностики состояния изоляционных материалов силовой кабельной линии и

прогнозирование их остаточного ресурса. Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2018. Т. 61. № 5. С. 66-71

13. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Методы исследования сенсоров газа в задачах экологического мониторинга. В сборнике: Геосистемы: факторы развития, рациональное природопользование, методы управления. Сборник научных статей по материалам II международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию со дня основания филиала РГГМУ в г. Туапсе. Краснодар, 2011. С. 265-267.

14. *Полуянович Н.К.* Электрический привод. Учебное пособие / Таганрогский технологический институт ЮФУ, Кафедра электротехники и мехатроники, Полуянович Николай Константинович. Таганрог, 2011

15. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Метод неразрушающего контроля деструкции и прогнозирования старения изоляционных материалов. В сборнике: Технологии разработки информационных систем Материалы VIII Международной научно-технической конференции. 2017. С. 133-140

16. *Колотушкин Д.О., Полуянович Н.К., Береснев А.Л.* Микроконтроллерное устройство для получения водорода. Патент на полезную модель RUS 112905 22.06.2011

17. *Доценко В.С., Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Моделирование работы цифрового регистратора контроля тепловых параметров. В сборнике: Технологии разработки информационных систем ТРИС-2016 материалы конференции: в 2-х томах. 2016. С. 175-179

18. *Лозбень А.С., Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Повышение КПД системы электропитания индукционной плавильной печи. В сборнике: Моделирование. Фундаментальные исследования, теория, методы и средства Материалы 18-ой Национальной молодежной научно-практической конференции. 2018. С. 102-107.

19. *Немцов Д.А., Полуянович Н.К.* Самовосстановление конструкционных свойств термопластов в поле высокой частоты. В сборнике: Перспективные направления развития отделочно-упрочняющей технологии и виброволновых технологий сборник трудов международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию заслуженного деятеля науки и техники РФ, д.т.н., почетного профессора ДГТУ А.П. Бабичева. 2018. С. 214-217.

20. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К.* Однофакторный экстрополяционный метод прогнозирования термофлуктуационных процессов изоляции СКЛ. Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. № 7 (201). С. 86-98.

УДК 621.355

ГРАФЕНОВЫЙ АККУМУЛЯТОР

Бережная А.В., Васютченко А.И., Дмитриева И.А.

Политехнический институт (филиал ДГТУ) г. Таганрог

Статья посвящена разработке такой перспективной технологии, как графеновый аккумулятор. Статья содержит информацию о устройстве графенового АКБ, принципе работы, его преимуществах и некоторых технологических проблемах.

Графен, АКБ, батарея, питание.

Для начала нужно понять, какая основа, то есть база используется в случае с графеновыми АКБ. Графеновые батареи, как и литиевые, являются тяговыми, а не стартерными, как в автомобилях с двигателями внутреннего сгорания. Графен - довольно интересный и инновационный материал. Благодаря этому производительность блоков питания электромобилей потенциально увеличится с нескольких сотен до тысячи километров, пройденных без подзарядки. Графен может быть использован для создания аккумуляторных батарей, экранов компьютеров, полупроводниковых устройств и многого другого.[1]

Устройство АКБ на основе графена. Теперь стоит рассмотреть особенности устройства графеновых аккумуляторов для электромобилей, так как именно в этой области могут применяться такие источники питания.

Рассматриваемый тип батарей можно сравнить с литий-полимерными батареями, поскольку они очень похожи по конструкции. Уже существует несколько технологий для создания графен-полимерных источников питания:

Одна из технологий заключается в чередовании пластин графена и кремния, которые используются в качестве катода. В этом случае в качестве анода используется кобальтат лития.

Другая технология предполагает, что вместо кобальта используется более доступный оксид магния, а катод остается прежним. С точки зрения стоимости объединение магния и графена для создания батареи намного дешевле, чем аналогичный вариант, в котором используется литий. Магниево-графеновые аккумуляторы представляют большой интерес для автопроизводителей. Наконец, установив такие батареи в электромобиль, можно увеличить расстояние, которое автомобиль проехал, до 1000 километров без остановки для подзарядки. Однако полная зарядка занимает около 10 минут. Для работы с графеновыми батареями требуются специальные зарядные устройства, которыми необходимо оборудовать СТО.[4]

Многие эксперты считают, что за счет увеличения автономного пробега можно будет уделять больше внимания электромобилям и, наконец, плавный переход от двигателей внутреннего сгорания к электрическим. Литий используется для изготовления графеновых батарей. Однако это не самый распространенный и распространенный природный материал. Его резервов объективно недостаточно для удовлетворения спроса автопроизводителей. Поэтому инженеры активно работают над созданием устройств, способных

заменить литий магнием. Трудно предсказать, какие свойства графеновые батареи могут обеспечить на практике при оснащении электромобилей. Однако специалисты не сомневаются, что будущее за графеном.[1]

Принцип работы. Далее немного о том, как работает и на чём основывается графеновый аккумулятор. В действительности принцип работы рассматриваемого графенового источника питания практически не отличается от классического свинцово-кислотного аккумулятора. Разница лишь в электрохимических процессах, протекающих внутри корпуса. Здесь их можно сравнить с литий-полимерными АКБ. [2]

Во время зарядки и разрядки ионы лития постоянно перемещаются между анодом и катодом через электролит, а электроны должны достигать анода или катода через внешнюю цепь, создавая в нем электрический ток.

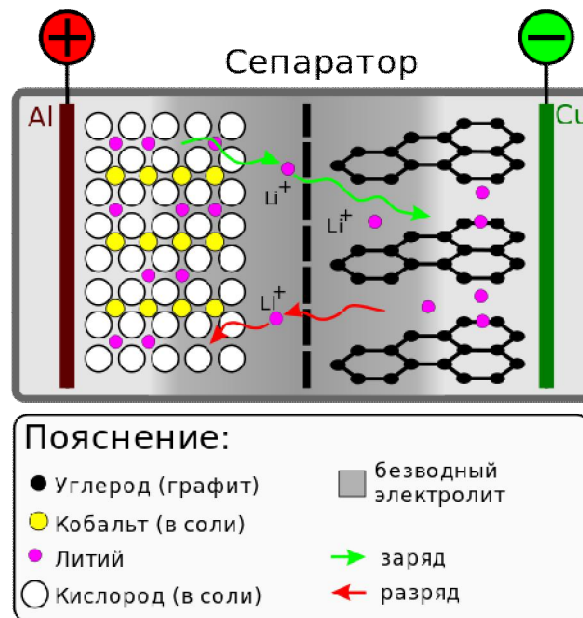


Рис. 1 – Сепаратор

Во время разряда на аноде происходит окислительная химическая реакция, которая приводит к появлению свободных электронов. Они стремятся добраться до катода, где их концентрация невелика, но на пути свободных электронов появляется разделитель, поэтому для них остается единственный путь - цепь нагрузки, в которой замыкается аккумулятор. Направленное движение электронов возбуждает устройство, прикрепленное к батарее. Положительно заряженные ионы лития также проходят к катоду, но через сепаратор, который свободно пропускает положительно заряженные частицы. После того, как все электроны переместятся на катод, начинается фаза разряда батареи. Подавая на электроды напряжение определенного значения, вы можете запустить процесс перемещения ионов в обратном порядке - электроны снова собираются на аноде и остаются там до тех пор, пока не будет подключена следующая нагрузка.[2]

Чтобы лучше понять принцип работы разрабатываемого графенового аккумулятора, стоит выделить 2 основные технологии.

Американские технологии. Здесь чередующиеся друг с другом пластинки кобальтата лития, кремния и графена используются в качестве источников реакции, обеспечивающей образование заряда.

Российская технология. Это аналог в виде магний-графеновой АКБ. Здесь вместо литиевой соли применяют оксид магния. Преимущество российской разработки в том, что оксид магния доступнее лития и при этом является менее токсичным компонентом.

Графен характеризуется высокой электрической проницаемостью и имеет тенденцию накапливать электрические заряды. Эти особенности позволяют за счет графена добиться увеличения скорости движения ионов, и тем самым увеличить потенциальную мощность источника питания. Изначально, когда технология только начинала развиваться, в листы графена добавляли литий. Но при контакте с водой произошла бурная реакция и произошли окислительные процессы, что сделало невозможным реализацию схемы. Когда литий вступает в контакт с водой за пределами герметичного корпуса, это вызывает сильный взрыв. Ставить такие аккумуляторы на автомобиль очень опасно, ведь в случае повреждения аккумулятор может выступить причиной возгорания. Также литий-графеновые батареи, как показали испытания, требуют непрерывной зарядки. А для электромобилей это точно не подходит. Все это привело к тому, что разработчики перешли на модификации магний-графен.[1]

Сильные и слабые стороны. Сильных сторон достаточно много. Среди них: доступные и широко распространенные исходные материалы; графен производится в больших объемах; способ получения материала довольно прост и прост в реализации; небольшой вес, при котором 1 м² материала весит около 1 грамма; экологичность и безопасность для окружающей среды; высокая прочность; водонепроницаемость; возможность быстро восстановить поврежденные участки; показатели проводимости выше любого современного полупроводника; высокие показатели удельной емкости; возможность проехать более 1000 км без подзарядки; прочное вещество; независимость от циклов заряда-разряда; высокая скорость зарядки.[3]

Проблема заключается в плотности. Это не позволяет создавать достаточно компактные рабочие образцы. Поэтому серийных версий небольших батарей на основе графена пока не существует. Но это, скорее, касается перспектив использования в мобильных устройствах. Большие размеры не проблема для машин. Поэтому стоит говорить о хороших перспективах на будущее. Учитывая, что плюсы значительно перевешивают недостатки, следует ожидать дальнейшего развития таких аккумуляторов и быстрого внедрения графеновых аккумуляторов в электромобили.

Перспективы развития. Пока ещё рано говорить о глобальном и полномасштабном внедрении графеновых аккумуляторов и батарей. Но если этого удастся достичь, тогда перед графеном откроются великолепные перспективы. Эти источники питания могут применяться для: электрокаров; электрозаправочных станций; ветряных станций; солнечных батарей и пр.

Это также и улучшение экологической ситуации, которую создают машины с двигателями внутреннего сгорания. Графен является одним из тех

материалов, который в буквальном смысле может перевернуть современные представления о мире и электрокарах в частности. Это крайне перспективное направление. Потому совсем скоро стоит ожидать поступления графеновых АКБ в продажу. Первые модели для мобильных девайсов уже есть на рынке. При этом стоят они 100–120 долларов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алексенко А.Г.* Графен [Электронный ресурс]/ Алексенко А.Г.— Электрон. текстовые данные.— Москва: Лаборатория знаний, 2017.— 177 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/88488.html>.— ЭБС «IPRbooks»
2. *Сафиуллин, Р. Н.* Электротехника и электрооборудование транспортных средств : учебное пособие / Р. Н. Сафиуллин, В. В. Резниченко, М. А. Керимов ; под редакцией Р. Н. Сафиуллина. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 400 с. — ISBN 978-5-8114-3280-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/111894>
3. *Ярославцев А.Б, Кулова Т.Л., Скундин А.М.* Электродные наноматериалы для литий-ионных аккумуляторов. Успехи химии, 84:826852.
4. *Warner J.T.* The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design. Chemistry, Components, Types and Terminology. ElsevierScience, 2015, p. 262.

УДК 629

ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Иванова Н. А., Удовиченко С.Е. Пьянков П. А.
 Политехнический институт (филиал ДГТУ) г. Таганрог

В данной статье говорится о развитии электромобилей и некоторых моделях. Электричество, электромобиль, эволюция.

Первый серийный и относительно доступный в финансовом плане электромобиль Тесла был представлен более 2 лет назад. Популярность электрокаров растёт во многих странах, однако до массовой эксплуатации ещё далеко, хотя объём продаж медленно, но верно увеличивается. Рано или поздно машины с электрическими двигателями вытеснят с рынка модели с двигателями внутреннего сгорания.

Люди уже давно задумываются об использовании электричества в качестве силы, способной придать движение транспортным средствам. Первый электромобиль в мире и вовсе появился до создания ДВС, и произошло это в 1841 году. Спустя 58 лет в Санкт-Петербурге был представлен 17-местный омнибус, оснащенный 4-сильным электромотором, запас хода которого составлял 64 км. Следующая веха в истории электромобилей относится к началу 30-х годов XX века. В 1931 году гениальный изобретатель Никола Тесла, купив радиоэлектронные детали в обычном магазине, собрал устройство, которое при установке его вместо бензинового мотора смогло сдвинуть автомобиль с места. Мощность агрегата составила 80 л. с.

В течение следующих почти 55 лет технология практически не изменилась. В 1996 году с конвейера сходит первый серийный электрокар, разработка которого была осуществлена компанией GeneralMotors. Однако случилось это не из-за желания автопроизводителя или требований рынка: просто в Калифорнии, где продавались автомобили GM, вышел закон, ужесточающий требования к машинам: новые авто, по мнению авторов законопроекта, вообще не должны были загрязнять окружающую среду. Но довольно скоро он был отменён, поскольку в техническом отношении выполнить его на тот момент не представлялось возможным. GeneralMotors выпускала электроавто в течение 7 лет, но солидными продажами похвастать не могла: за этот период времени было реализовано чуть более 1150 экземпляров модели, которые и по сей день хранятся в частных коллекциях (нераспроданные транспортные средства были пущены под пресс).

На сегодняшний день ведущим популяризатором идеи электромобилей является Илон Маск, купивший компанию TeslaMotors и всерьёз занявшийся её развитием. Серийный электромобиль TeslaRoadster, выпущенный в 2008 году, продавался в течение 4 лет, но из-за слишком высокой стоимости, равной 109000\$, доступен он был только очень богатым людям. В 2012 году выходит уже более доступная машина ModelS, пережившая впоследствии две модернизации и благопривно встреченная как экспертами, так и рядовыми автолюбителями.

2015 год был ознаменован выходом ModelX: кроссовер отличался большим запасом хода (от 354 до 539 километров в зависимости от модификации и других параметров), превосходной динамикой (до сотни модель способна разогнаться за 3,2 секунды), а также множеством необычных функций, ранее не используемых другими производителями (например, подсветкой салона в такт звучащей музыке и др.).

Принцип работы современных электромобилей

Электрокару, в отличие от авто с традиционным двигателем внутреннего сгорания, не нужен сложный мотор с немалым количеством недостатков (различные проблемы при эксплуатации, сложный ремонт, шум при работе и пр.). Электрический двигатель является полностью бесшумным и нетребовательным к топливу, поскольку электричество во всем мире одинаково.

Еще один плюс электромобилей заключается в отсутствии коробки передач, что значительно упрощает и управление, и обслуживание. Формально коробка имеется, но на колёса поступает сразу вся мощность, поэтому люди в салоне не ощущают рывков, неизбежных при переключении передач.

Необходимое условие для работы подобного автомобиля – электроэнергия, запас которой хранится в аккумуляторе. Большинство компаний располагают его под днищем, что позволяет, во-первых, сделать салон более просторным, а во-вторых, улучшить управляемость.

В последнее время мировые производители пришли к выводу о необходимости применения системы рекуперации, которая вырабатывает энергию и затем запасает её в случаях, когда машина движется по инерции,

вследствие чего увеличивается запас хода (эта же технология замедляет движение транспортного средства после того, как водитель убирает ногу с педали газа).

Продажи электромобилей в мире. То, что за электрокарами будущее, становится очевидным всем ведущим производителям, спешащим включиться в процесс разработки и изготовления, пока отрыв от конкурентов не стал слишком большим: на сегодняшний день на рынке есть как бюджетные модели (KIASoulEV), так и марки, относящиеся к премиальному сегменту (AudiE-Tron).

Компания Tesla, несмотря на то, что она фактически выпустила первый электромобиль, пользующийся спросом, испытывает финансовые сложности, и этот факт подстегнул других автопроизводителей. В результате этого за последний год количество полноценных моделей, а не концептов, увеличилось в несколько раз. Среди новых игроков рынка есть как именитые компании с раскрученным именем наподобие BMW, так и многочисленные мало кому известные китайские разработчики.

В развитии электрокаров в настоящее время прослеживаются следующие тенденции:

- Внедрение управления с помощью одной педали. Первопроходцем в этой области стала NissanMotorCo., Ltd. с моделью Leaf. Идея прижилась, и все большее число компаний внедряют технологию, при которой торможение станет осуществляться за счёт рекуперационной системы.
- Повышение интеллекта электромобилей (появляются беспилотные электрокары, не нуждающиеся в действиях человека).
- Разработка каждой компанией собственной уникальной платформы, благодаря которой покупатель получает возможность стать обладателем по-настоящему чего-то нового и уникального.

Развитие инфраструктуры. Рост производства электромобилей не имеет никакого смысла без расширения сети станций для зарядки: зачем приобретать электрокар, если на нём нельзя будет далеко уехать?

Сейчас крупнейшей заправочной сетью является Supercharger, принадлежащей Tesla. Ею можно пользоваться бесплатно при условии наличия специального абонемента и покупки электромобиля Tesla. Но даже при невозможности соблюдения данных условий ездить на электричестве выгоднее, чем на бензине или дизельном топливе.

Если на рынок первыми вышли американские электромобили, то в настоящее время отобрать лидерство имеет все предпосылки Европа, где количество зарядных станций стремительно растёт, а правительство нескольких стран и вовсе заявляет о возможном скором полном отказе от применения двигателей внутреннего сгорания.

В ряде европейских стран владельцы машин с электромоторами получают всевозможные льготы в виде бесплатной парковки и снижения или полной отмены транспортного налога. В США также действует программа поддержки покупателей электрокаров, но работает она до того момента, пока производитель не выпустит 20 тысяч экземпляров таких транспортных средств.

Многие владельцы покупают зарядную станцию для электромобиля и устанавливают её прямо у себя в гараже: устройство PowerWall, крепящееся на стену, делает процесс зарядки авто идентичным зарядке аккумулятора на смартфоне. Особо большие фанаты автомобилей с электрическими двигателями монтируют на крыше собственного дома солнечные батареи, накапливающие затем энергию в PowerWall.

Сеть российских зарядочных станций пока не так обширна, как хотелось бы, но прогресс заметен (помимо аппаратов Supercharger, растёт число станций, принадлежащих государственным компаниям, правда, пока только в крупных городах).

Гибридные автомобили. Кроме полностью электрических авто, спросом пользуются гибриды, то есть модели, у которых одновременно имеется и электромотор, и ДВС.

Гибриды бывают двух видов:

- без разъема для осуществления зарядки. К ним относится ToyotaPrius первой генерации и некоторые другие первые гибридные машины. Зарядка аккумулятора в них происходит исключительно за счёт работы рекуперативной системы;
- с разъемом для зарядки батареи. Таких гибридов сейчас на рынке абсолютное большинство. Они способны подключаться к внешним источникам энергии, что значительно упрощает процесс восполнения заряда.

Несмотря на наличие электродвигателя, на одном электричестве гибриды в состоянии проехать не более 50 км. Если же в дело включается ДВС, запас хода возрастает до нескольких сотен километров.

Большинство экспертов сходятся во мнении, что люди с каждым годом будут покупать всё больше электрокаров. Уже сейчас автомобильная промышленность прошла своего рода точку невозврата, и отказаться от развития электрокаров стало невозможно.

Вычислительные мощности продолжают расти, а искусственный интеллект будет становиться всё более совершенным, что, без сомнения, скажется и на росте числа авто с электромоторами в мире.

Количество электромобилей в России тоже увеличивается, хотя не так быстро, как в Европе или Китае: причиной тому – невысокий уровень доходов населения страны.

С большой долей вероятности можно сказать, что мир без машин с ДВС неизбежен: когда человеческая цивилизация полностью откажется от этой технологии, является лишь вопросом времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аполлонский, С. М.* Теоретические основы электротехники. С.М. - М.: Лань, 2012. - 592 с.
2. *Алиев, И.* Электрические машины: Учебное пособие для студ. Вузов / И. Алиев. - М.: РадиоСофт, 2011. - 448 с.

3. Сугробов А.М. Проектирование электромашинных генераторов для систем электрооборудования автономных объектов / А.М. Сугробов. М.: Издательство МЭИ, 2005.

4. <https://ev-avto.ru/electricheskie/elektromobil-istoriya-razvitie-budushchee>

5. <http://www.autotruck-press.ru/articles/3770>.

УДК 629

ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОГРУЗОВИКОВ

Иванова Н. А., Сотрута А. А., Чередниченко В. В.
Политехнический институт(филиал) ДГТУ г. Таганрог, Россия

В данной статье говорится о развитии электрических грузовиков на трассах мира, более подробно рассмотрена опытная эксплуатация отечественного электрогрузовика Moskva, созданного компанией DriveElectro.

Электричество, опыт, автомобиль. Эксплуатация.

Наша тема является достаточно актуальной так как электрогрузовики постепенно становятся новым трендом. Вместительный и экологически безопасный транспорт привлекает внимание многих логистических компаний и городских служб. Перспективы бестопливных фургонов для перевозчиков и обслуживания городской инфраструктуры привлекают многие компании как за рубежом, так и в нашей стране.

В последнее время в СМИ происходит много шума об электрификации коммерческого автотранспорта и росте парка электромобилей. Со стороны может показаться, что вот еще немного — и ДВС пойдут ставить памятник. Но, несмотря на всю поднятую шумиху, недавний отчет американской консалтинговой компании AltmanVilandrie показал, что согласно опросу, проведенному среди 2500 автовладельцев, 60% из них «не подозревали» о существовании электромобилей.

История электромобилей берет свое начало еще до появления машин с двигателями внутреннего сгорания. Однако назвать первый прототип, который появился еще в 1841 году, автомобилем довольно сложно. Это была простая платформа с электродвигателем, больше похожая на современный скейт с моторчиком.

Были и другие попытки, но в силу ограниченных технологий того времени использовать электрические силовые установки было невозможно. Поэтому энтузиасты тех времен обратили свой взор на паровые двигатели, а позже двигатели внутреннего сгорания (ДВС).

Если же говорить об электрогрузовиках, то точной даты появления первых моделей нет. Однако точно известно, что опытная эксплуатация в США началась в 1910-х годах. На протяжении нескольких десятилетий встретить электрогрузовики можно было очень редко, ведь они не пользовались

популярностью вплоть до 70-х годов XX века, когда разгорелся нефтяной кризис.

В Европе грузовые электрокары начали появляться с 1960-х годов. Одним из первых их производителей был немецкий концерн Mercedes. Несколько позже за разработки электрических грузовиков взялись BMW, Mitsubishi, IVECO, DAF и многие другие компании

На сегодняшний день существуют весьма перспективные модели, которые не уступают по техническим характеристикам своим аналогам с двигателями внутреннего сгорания. Единственный сдерживающий фактор, которые ограничивает область применения электрогрузовиков, – запас хода и время полной зарядки.

Если говорить о дальнобойных машинах, то на жидком топливе фуры могут проезжать больше 1000 км в день. На электрических вариантах это невозможно, так как у них ограниченный запас хода, а батарея заряжается довольно долго.

Требования к электрогрузовикам практически такие же, как и к обычным моделям с ДВС, к ним добавляется еще запас хода и некоторые другие нюансы.

Требований может быть довольно много, и все зависит от специфики и условий, в которых будет использоваться грузовой электромобиль. Однако можно выделить основные технические параметры, которые важны в любых ситуациях:

- Запас хода.
- Грузоподъемность.
- Разгон и максимальная скорость.
- Время зарядки аккумуляторной батареи (АКБ).
- Срок службы электромотора.
- Срок службы АКБ.

Запас хода – это один из важнейших параметров, ведь именно от него зависит трудовая способность автомобиля. Чем дольше он сможет работать без подзарядки, тем больше грузов получится перевезти.

Автомобильный мир постепенно переходит на электрические силовые установки, которые становятся всё более популярны. Учитывая этот факт, многие концерны уже сегодня активно занимаются разработками грузовиков на электрической тяге. Некоторые бренды довольно давно выпускает электрогрузовики:

1. Mercedes.
2. BMW.
3. IVECO и так далее.

Помимо этого, многие компании занимаются разработками новых моделей, которые в разы превосходят своих предшественников. К таким концернам относятся:

- Tesla.
- Renault.
- Daimler Trucks.
- Nikola.

- Thor trucks.

В России началась опытная эксплуатация отечественного электромобиля Moskva, созданного компанией DriveElectro. Это электрический крупнотоннажный грузовик, и он начал свою работу в логистической сети ритейлера «Магнит», сообщили CNews представители торговой сети.

Автомобиль был полностью спроектирован с учетом требований «Магнита». Как сообщили CNews представители ритейлера, список включал в себя запас хода, а также стандартные технические требования к конфигурации грузовика для доставки товаров в магазины, например, размеры изотермического фургона, наличие гидроборта грузоподъемностью 1500 кг и холодильной установки.

Электрический грузовик адаптирован к особенностям российского климата. В «Магните» сообщили CNews, что за основу электромобиля была взята современная модификация грузового автомобиля «КамАЗ» 5325.

DriveElectro – это частное российское опытно-конструкторское бюро (ОКБ), основанное в 2004 г. со штаб-квартирой в Москве. Также известно, как НИИКЭУ – НИИ комбинированных электроустановок. Генеральный директор – Сергей Иванов. Согласно ЕГРЮЛ, Иванову принадлежат 100% НИИКЭУ (уставный капитал – 10 тыс. руб.). С «КамАЗ» компания сотрудничает на протяжении нескольких лет – к примеру, в 2017 г. они передали в опытную эксплуатацию в Москву совместно разработанный электробус КАМАЗ-6282 с литий-титанатными аккумуляторами.

Как сообщили CNews в представители «Магнита», электрогрузовик Moskva имеет снаряженную массу около 10 тонн, что сравнимо с возможностями дизельного грузовика такого же класса. Его грузоподъемность равна 9 тонн, и он может развивать скорость до 110 км/ч, что позволяет ему передвигаться по городу и загородным трассам со скоростью, допустимой для грузового транспорта.

Параметры силового агрегата разработчики не раскрывают. CNews ожидает от представителей «Магнита» информации о стране производства двигателей и аккумуляторных батарей. На данный момент известно лишь, что Moskva может проехать до 200 километров на одном заряде.

В «Магните» отмечают, что 200-километрового запаса хода для такого автомобиля достаточно, поскольку 40% всех торговых точек сети расположены в радиусе 80 километров от распределительных центров. Таким образом, автомобилю хватит заряда, чтобы совершить поездку до конечного магазина и вернуться в распределительный центр, чтобы подключиться к зарядной станции.

Заряжается Moskva от 380-вольтовой электросети. Известно, что его зарядка возможна в двух режимах: быстром (20 минут) и ночном, который займет восемь часов. При этом разработчики не уточнили, какой объем заряда АКБ автомобиля наберут в быстром режиме. На запрос CNews о возможности пополнения энергии аккумуляторов от сети 220 В представители «Магнита» на момент публикации материала ответить не смогли.

DriveElectro передала «Магниту» один пилотный образец электрогрузовика. «Магнит» будет эксплуатировать его в тестовом режиме в течение 6-12 месяцев – автомобиль будет доставлять товары распределительного центра сети в Дмитрове в столичные магазины «Магнита».

В случае успешного завершения тестовой эксплуатации компания примет решение о крупной поставке электрогрузовиков в такой же комплектации. На первом этапе потенциально это может быть до 200 автомобилей.

Стоимость одного такого грузовика представители «Магнита» не раскрывают. Они сообщили CNews, что срок его эксплуатации разработчиками из DriveElectro заявлен более длительный в сравнении с обычными грузовиками такого же класса – десять лет вместо семи. В компании добавили, что стоимость владения электрогрузовиком за десять лет ориентировочно будет ниже на 20-25% в сравнении с обычным. При этом, по оценкам экологов «Магнита», снижение выбросов углекислого газа в атмосферу от одного электрогрузовика может составить почти 87 тонн в год.

На сентябрь 2020 г. производство грузовиков в мировом масштабе развито не было. Одни из крупнейших компаний, разрабатывающих подобные автомобили – это американские Tesla и Nikola, обе названы в честь сербского ученого-изобретателя Николы Тесла (NikolaTesla).

В ассортименте Tesla есть грузовой электромобиль Semi, а Nikola создала четыре грузовика – One, Two, Tre и Refuse. Тем не менее, ни Tesla, ни Nikola пока не начали производство своих машин, и у последней даже нет собственных заводов для этого. Как сообщил CNews, компании сейчас заняты судебными тяжбами – они пытаются выяснить, кто у кого украл дизайн грузовиков.

Подводя итог вышесказанному, можно сказать, что электрогрузовики являются хорошей альтернативой сегодняшнему большегрузному транспорту и станут выгодной, а также более экологичной заменой всего используемого сегодня автопарка, для всех видов наземных перевозок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аполлонский, С. М.* Теоретические основы электротехники. С.М. - М.: Лань, 2012. - 592 с.
 2. *Алиев, И.* Электрические машины: Учебное пособие для студ. Вузов / И. Алиев. - М.: РадиоСофт, 2011. - 448 с.
 3. *Сугробов А.М.* Проектирование электромашинных генераторов для систем электрооборудования автономных объектов / А.М. Сугробов. М.: Издательство МЭИ, 2005.
- Интернет ресурсы
4. <https://1electrocar.ru/proizvoditeli/elektrogruzoviki.html>.
 5. <http://www.autotruck-press.ru/articles/3770>.

УДК 339.133

ПЕРСПЕКТИВЫ РЫНКА ЭЛЕКТРОАВТОМОБИЛЕЙ

Бунеев О.А., Никонов Н.С., Иванова Н.А.

Политехнический институт (филиал ДГТУ) г. Таганрог

В статье актуализируется распространение электромобилей на транспортном рынке, причем как на отечественном, так и на мировом. Анализируется динамика проданных автомобилей в России на различных видах топлива: газ, дизель, бензин. Сопоставляются объемы продаж автомобилей и электромобилей в привязке к динамике цен на энергоносители.

Согласно энергетической стратегии России на период до 2030 г., целью энергетической политики страны является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов для устойчивого роста экономики и повышения качества жизни населения страны. В то же время Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. в качестве одного из условий социально-экономического развития страны определяет преодоление ограничений в экономике со стороны энергетической и транспортной сетей. Основным ориентиром в энергетической стратегии России делается на использование возобновляемых источников энергии, ресурсы которых неисчерпаемы. Отчасти возрастающие экологические проблемы, ограниченность и рост цен на нефтяные и газовые ресурсы, ориентиры государственной политики, а также влияние рыночной экономики в части государственной поддержки инновационных производственных предприятий обусловили очередную волну интереса к электромобилям.

В настоящее время выпуск электромобиля очередным автопромышленным холдингом анонсируется как нечто кардинально новое, даже инновационное. Однако исторические факты подтверждают, что всё новое – это хорошо забытое старое. Электромобиль появился задолго до автомобиля, а именно в 1828 г., тогда как двигатель внутреннего сгорания был изобретен лишь в 1860 г. Но такие факторы, как отсутствие новых источников энергии, обладающих высокой энергоемкостью при относительно небольшой стоимости, дефицит мощностей электростанций, необходимых для подзарядки электромобилей, организация массового производства бензиновых автомобилей, препятствовали активному применению электромобилей в народном хозяйстве.

Мировой рынок легковых электромобилей, который прошел этап становления в 2005–2010 гг., в последнее время переживает экспоненциальный рост (рис. 1). Согласно данным Мирового энергетического агентства, число электромобилей, находившихся в эксплуатации, в конце 2015 г. достигло 1,26 млн. В настоящее время наибольшая их доля в общем количестве используемых машин наблюдается в Норвегии, Голландии, США, Великобритании, Японии и Китае.

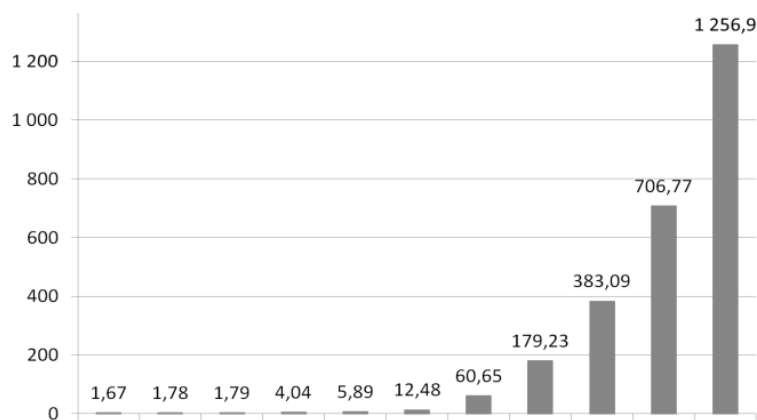


Рис. 1. Количество используемых электромобилей в мире, тыс.шт.

В ближайшие годы практически все крупные автопроизводители планируют активно осваивать этот быстрорастущий рынок. Кроме того, на определенную долю на нем претендуют и компании, традиционно не связанные с выпуском автомобилей, например Apple. К основным драйверам роста мирового рынка электромобилей специалисты относят меры государственной поддержки спроса на экологически чистые виды транспорта, принятые во многих странах Европы, а также в США и Китае, и технологические достижения в производстве батарей, позволяющих снизить стоимость самого дорогого на сегодня элемента электромобиля – аккумулятора и сделать таким образом эти машины более доступными для рядового потребителя.

Динамика структуры реализованных автомобилей (рис. 2) демонстрирует снижение числа автомобилей, работающих на бензине, и рост автомобилей, работающих на газе. И это не случайно, так как Россия занимает первое место в мире по запасам природного газа (23 процента мировых запасов) и по объемам его ежегодной добычи. Согласно энергетической стратегии России, прогнозные ресурсы газа оцениваются в 164,2 трлн м³, в том числе на континентальном шельфе Российской Федерации – 63,8 трлн м³. Это значит, что при успешной реализации мероприятий по повышению коэффициента извлечения газа прирост запасов существенно возрастет и составит в объеме не менее 16 трлн м³. Увеличение добычи газа предполагает повышение его использования, в том числе и в качестве автомобильного топлива. В июне 2016 г. Министерством транспорта Российской Федерации была разработана программа по внедрению газомоторной техники на автомобильном транспорте. После реализации комплекса мероприятий в период с 2017 по 2020 г. планируется увеличение суммарного объема потребления газомоторного топлива на автомобильном транспорте до 1,4 млрд м³ и количества автотранспортных средств, использующих газомоторное топливо, до 387 тыс. ед.

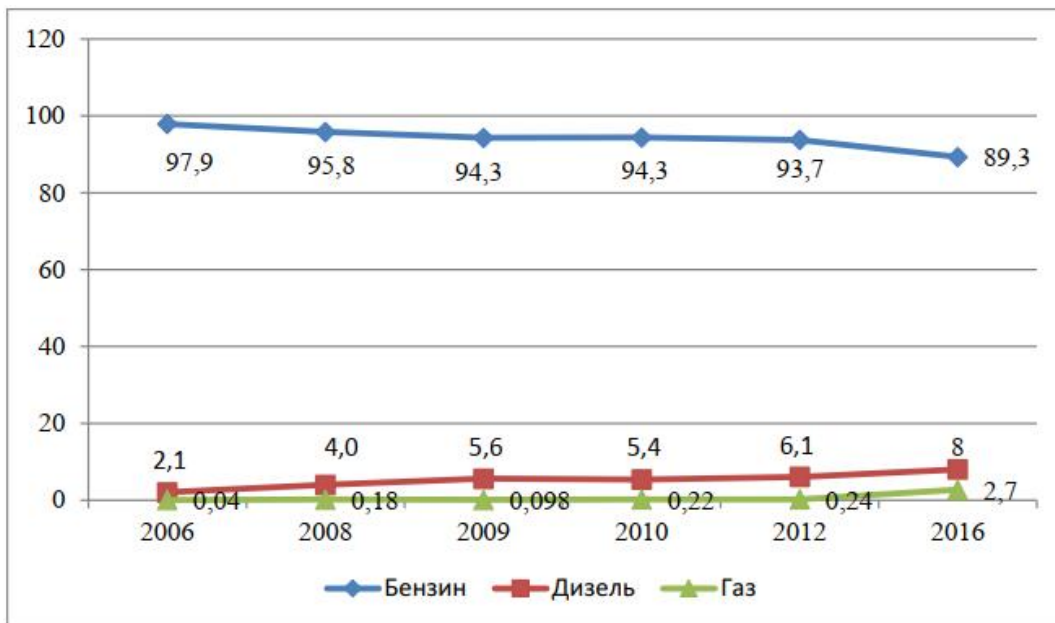


Рис. 2. Динамика проданных автомобилей в России (в %)

Российский рынок легковых электромобилей в настоящее время не поддерживается никакими мерами государственного регулирования и развивается стихийно. Однако, несмотря на отсутствие государственной поддержки и слабое развитие инфраструктуры заправочных станций, уровень распространения легковых электромобилей и электроавтобусов в целом по стране за последние три года вырос, чего нельзя сказать об автотранспорте на природном газе – основной конкурирующей технологии, развитие которой поддерживается несколькими государственными программами в соответствии с поручениями Президента РФ от 14.05.2013 и распоряжением Правительства РФ от 13.05.2013 № 767-р.

В региональном разрезе развитие обеих технологий экологически чистого транспорта идет неритмично, что частично объясняется пространственной неравномерностью развития автозаправочной инфраструктуры. Регионами-лидерами в распространении легкового автотранспорта на природном газе в конце 2016 г. были Якутия (34%), Адыгея (28,4%), Курганская (25,7%), Свердловская (22%), Тверская (12,3%) и Ивановская (10,5%) области. Хотя наибольшее количество электромобилей зарегистрировано сегодня в Москве (281 шт.), лидером по уровню распространения является Еврейская автономная область, Приморский и Забайкальский края, а также Томская, Челябинская, Свердловская, Оренбургская и Новгородская области, Адыгея, Хакасия, Чувашия и Татарстан, которые имеют примерно равные показатели, составляющие около 0,1%. Грузовой автотранспорт на природном газе интенсивнее всего используется в Иркутской (более 50%) и Курганской (33,8%) областях, Якутии, Красноярском и Ставропольском краях, Карачаево-Черкесии, Хакасии, Адыгее, Удмуртии, Челябинской, Ярославской и Ивановской областях. Уровень распространения грузового электрического автотранспорта в целом по стране ничтожен, наиболее заметен (выше 0,1%) он только в

Северной Осетии и Московском регионе. Похожая картина наблюдается и по автобусам на природном газе и электричестве. К маякам в использовании автобусов на природном газе относятся Курганская (52,7%), Иркутская (52%) и Самарская (38,7%) области, Якутия (34,6%), Красноярский край (33,7%), Адыгея (28,8%), Кабардино-Балкария (23%), Свердловская область (21,9%), Ставропольский край (19%), Тверская (18,1%), (17%) Челябинская области, Алтай (15,6%), Смоленская (15,2%) и Ярославская (14,9%) области. Распространение электроавтобусов выше 0,1% наблюдается только в Северной Осетии (0,7%), Московской области (0,2%) и Москве (0,1%).

Рассмотрим ситуацию с предложением электромобилей на российском рынке. Анализ предложений крупнейших автомобильных дилеров показал, что в августе 2019 г. было представлено почти 40 моделей электрокаров стоимостью от 850 тыс. до 14,4 млн руб. Наиболее продаваемыми являются следующие модели электромобилей: NissanLeaf, Mitsubishi-MiEV, TeslaModelS и российская LadaEllada. Наилучшими техническими характеристиками из перечисленных моделей обладает TeslaModelS. Машина оснащена аккумулятором емкостью 60 кВт·ч, позволяющим проехать до 335 км без подзарядки. Это делает возможным использование электромобиля и для внутригородских, и для междугородних поездок. Обладая высокой мощностью и развивая скорость до 200 км/ч, данный автомобиль способен составить конкуренцию традиционным авто и потому относится к высшей ценовой категории. NissanLeaf, LadaEllada и Mitsubishi-MiEV составляют среднюю ценовую категорию, что отражено и в технических характеристиках этих электромобилей. NissanLeaf оснащен аккумулятором, емкость которого в 2,5 раза меньше, чем у TeslaModelS, что существенно сказывается на максимальном пробеге от одной зарядки, который составляет 160 км. У LadaEllada аккумулятор в 2,6 раз меньше, чем у Tesla, и на одном заряде можно проехать 140 км. Батарею самой низкой емкости имеет Mitsubishi-MiEV (16 кВт·ч) – она позволяет проехать на одном заряде 150 км. Расстояние, которое проезжают названные автомобили без подзарядки, позволяет рассматривать их исключительно в качестве городского или пригородного транспорта, не подходящего для дальних поездок.

Дальнейшее направление совершенствования отечественного рынка электромобилей пока не очевидно. С одной стороны, нарастающие с каждым годом экологические проблемы загрязнения воздуха в городах диктуют необходимость принятия мер государственной поддержки и стимулирования развития экологически чистых видов транспорта, а также вливание значительных инвестиций в развитие инфраструктуры подзарядки электромобилей и повышение надежности и качества энергоснабжения. Развитие российского рынка электромобилей при поддержке государства вполне отвечало бы глобальным технологическим трендам и общим тенденциям социально-экономического развития индустриально развитых стран мира. О том, что введение некоторых льгот для владельцев электромобилей весьма вероятно, косвенным образом свидетельствует внесение Правительством РФ 17 июля 2017 г. в Правила дорожного движения

экологических поправок, регламентирующих такие термины, как «электромобиль», «гибридный автомобиль» и «зона с ограничением экологического класса механических транспортных средств».

С другой стороны, трата (возможно, и косвенная) бюджетных средств на поддержку импорта иностранной продукции является далеко не самым эффективным механизмом борьбы с экологическими проблемами.

Как компромиссное решение можно рассматривать меры поддержки проектов по развитию электромобилей только российского производства или совместного производства с высокими показателями индекса локализации. Подобные подходы к формированию организационно-экономических механизмов поддержки спроса на различного рода инновационные технологии (преимущественно в энергетической сфере) практикуют в настоящее время многие страны в рамках реализации так называемой политики развертывания (deployment policy), или политики создания рынка (market creation). Сторонники такой политики обосновывают ее как инвестиции в обучение (learning investments), которые окупятся в долгосрочной перспективе, поскольку они стимулируют инновационную активность в промышленности, снижают удельные затраты на создание инновационной продукции за счет достижения эффекта масштаба производства и повышают производительность экологически чистых технологий для будущих поколений. Однако политика развертывания имеет и свои недостатки, в том числе и в отношении к решению проблемы экологизации транспорта. Во-первых, достижение положительных экологических эффектов при переходе к электротранспорту возможен только в регионах с «чистой» электрогенерацией, где в топливном балансе энергокомпаний преобладают газовая и атомная генерация или генерация на основе возобновляемых источников энергии. Во-вторых, более актуальным для России фактором неопределенности выгод при переходе на электромобильный транспорт является его неконкурентоспособность по критерию экологичность/экономичность в краткосрочной перспективе по сравнению с транспортом на газомоторном топливе. Как известно, при использовании природного газа вместо нефтяного топлива выброс токсичных веществ в окружающую среду снижается по оксиду углерода приблизительно в 2-3 раза, по окислам азота – в 2 раза, по углеводородам – в 3 раза, по задымленности – в 9 раз, а образование сажи, свойственное дизельным двигателям, отсутствует.

Использование газомоторного топлива (ГМТ) увеличивает срок эксплуатации транспортных средств и удешевляет их техническое обслуживание, так как в отличие от бензинового и дизельного топлива, оно имеет лучшие антидетонационные характеристики.

Переход на ГМТ не требует внесения кардинальных изменений в технологическую платформу автомобиля, и можно быстро и относительно дешево модифицировать серийно выпускаемые автомобили, добившись существенного улучшения экологической ситуации гораздо менее затратными способами. Однако главным недостатком политики развертывания, как показывают недавние исследования, является снижение инвестиций в НИОКР,

направленные как на совершенствование используемых инноваций, так и на развитие альтернативных технологий. Поэтому, по нашему мнению, искусственное стимулирование роста российского рынка электромобилей с помощью различных государственных мер поддержки в настоящее время было бы преждевременной и малоэффективной мерой. Гораздо более значимый результат с точки зрения развития инновационной деятельности и достижения устойчивых положительных экологических эффектов могла бы принести поддержка научных исследований и разработок, в том числе с использованием кооперационных стратегий и моделей открытых инноваций, направленных на кардинальное улучшение технико-экономических параметров применяемых в электромобильном транспорте технологий (например, аккумулирования энергии), а также на разработку перспективных альтернативных технологий экологически чистого транспорта, в том числе на основе топливных элементов, газомоторного топлива, биотоплива.

Таким образом, электромобили являются перспективным направлением развития транспорта из-за экологичности и применения возобновляемых источников энергии. С развитием инфраструктуры и совершенствованием технологий изготовления электрических батарей электрокары станут намного дешевле и доступнее конечному потребителю.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Рыбкина Е. А.* Рынок электромобилей: вчера, сегодня, завтра // Энергосбережение – теория и практика: тр. Восьмой Междунар. школы-семинара молодых ученых и специалистов (Москва, 10–13 октября 2016 г.). – М.: Изд. дом МЭИ, 2016. – С. 415–418.

2. *Нестулаева Д. Р.* Будущее электромобилей: технический и экономический аспекты // Энергосбережение – теория и практика: тр. Восьмой Междунар. школы-семинара молодых ученых и специалистов (Москва, 10–13 октября 2016 г.). – М.: Изд. дом МЭИ, 2016. – С. 407–410.

3. Проект Постановления Правительства Российской Федерации «Об утверждении государственной программы Российской Федерации “Внедрение газомоторной техники с разделением на отдельные подпрограммы по автомобильному, железнодорожному, морскому, речному, авиационному транспорту и технике специального назначения”» (подготовлен Минтрансом России 18.05.2016) // Информационно-аналитическая база «Гарант».

4. Динамика проданных автомобилей в России. – URL: <http://serega.icnet.ru/CarSale.html>

УДК 62-93

ВИБРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Логунов А.В., Береснев А.Л.

*Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального
университета, г. Таганрог*

Статья посвящена изучению виброакустических сигналов, излучаемых узлами подвески автомобиля. С помощью экспериментальной части удалось разработать специальный способ диагностики подвески автомобиля, позволяющий определить степень износа и скрытые дефекты узлов. Главным преимуществом представленного способа является то, что процесс диагностики становится автоматизированным и позволяет исключить человеческий фактор.

Автомобиль; диагностика; подвеска; стук; виброакустический анализ; вейвлет – преобразование.

В современном автомобиле присутствует большое количество устройств и агрегатов, не редко про неисправности, которых мы узнаем в момент, когда они начинают издавать не характерные для нормальной работы звуки. Локализовать неисправность для не опытного пользователя/диагноста практически не представляется возможным, более того не каждая СТО способна с первого раза точно определить поломку. Одним немаловажным узлом автомобиля, способным генерировать звуки – является двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Синхронизируя звуковой сигнал, излучаемый узлами, с рабочими процессами, можно делать выводы о неисправностях в двигателе внутреннего сгорания [1,2].

Подвеска транспортного средства является важной конструктивной частью наиболее подверженной износу. От состояния ходовой зависит устойчивость транспорта на дороге, его маневренность и контроль, что соответственно обеспечивает безопасность движения. Неисправная подвеска негативно влияет не только на комфортное управление автомобилем, но и на безопасность. Эксплуатация транспортного средства с неисправной ходовой является опасной и для водителя, и для окружающих. Поэтому ходовая часть должна находиться в исправном состоянии [3,4].

Диагностика подвески включает несколько способов оценки работоспособности. Они отличаются сложностью проведения и точностью результатов. Первый - визуальный. Он самый простой, не требующий значительных финансовых затрат и специального оборудования. Диагностика подвески этим методом не гарантирует точности. Второй способ тоже частично "визуальный", однако он включает еще и субъективную оценку степени износа деталей специалистом, который пробует транспортное средство в действии. Этим методом можно выявить основные проблемы, однако полной картины технического состояния машины вы не увидите. Диагностика подвески третьим способом дает самые точные результаты, она сочетает визуальную оценку с применением технических средств.

Стуки в подвеске возникают по различным причинам. Обычно стуки в подвеске проявляются в результате неисправности амортизаторов, в этом случае необходимо произвести замену амортизаторов, также при повреждении резинометаллических шарниров, деформации опор стоек амортизаторов, изношенности опор и рычагов передней и задней подвески[5].

Диагностировать поломки и степень износа узлов можно с помощью виброакустического анализа звуков, излучаемых подвеской автомобиля. Для реализации данного способа необходимо закрепить специальные вибродатчики на элементах подвески. Далее снимая колебания с датчиков, вводя их с помощью устройства сопряжения или звуковых карт в память ПЭВМ обрабатываем полученные данные по заданным алгоритмам, после сравнения с эталонными значениями, можно делать заключение об исправности узлов.

Для частотного спектра записанного звукового сигнала применяется вейвлет-преобразование.

Вейвлетное преобразование сигналов является обобщением спектрального анализа, типичный представитель которого – классическое преобразование Фурье. Термин "вейвлет" (wavelet) в переводе с английского означает "маленькая (короткая) волна". Вейвлеты - математические функции, которые разделяют данные на различные частотные составляющие, а затем изучают каждый компонент с разрешением, соответствующим его масштабу. Вейвлет-преобразования рассматривают анализируемые временные функции в терминах колебаний, локализованных по времени и частоте.

Вейвлетный анализ представляет собой особый тип линейного преобразования сигналов и физических данных.

Все вейвлет-преобразования рассматривают функцию (взятую будучи функцией от времени) в терминах колебаний, локализованных по времени и частоте. Вейвлет-преобразования обычно делят на дискретное вейвлет-преобразование (ДВП) и непрерывное вейвлет-преобразование (НВП).

Вейвлет преобразования нашло применение в таких областях как:

- Обработка экспериментальных данных;
- Обработка изображений;
- Обработка и анализ спектров;
- Сжатие данных;
- Нейросети и другие механизмы анализа данных;
- Системы передачи данных и цифровой обработки сигналов [6].

Для нас больший интерес представляет обработка и анализ спектров. Так как мы рассматриваем сигнал как функцию от частоты и амплитуды по времени.

Для нас больший интерес представляет обработка и анализ спектров. Так как мы рассматриваем сигнал как функцию от частоты и амплитуды по времени.

Научная новизна состоит в том, что процесс диагностики становится автоматизированным, все сигналы, снятые датчиками, обрабатывается в ЭВМ или специальном сканере, на дисплей выводятся информация о состоянии тех или иных узлов, в отличие от существующих методов, где диагностика

осуществляется визуально или на слух, таким образом, становится возможным избежать ошибок.

Описание принципов диагностирования. Эксперимент проводился над подвесками автомобилей ВАЗ 2106, 2104, 2107[7-10]. На детали подвески, закреплялись акустические датчики, провода от которых проводились в салон автомобиля и подключались к ПК. Транспортное средства приводится в движение, во время которого вся информация записывается на жесткий диск.

С помощью ПО AdobeAudition выделялась одна серия из повторяющихся всплесков, выделенная серия сохранялась. Далее начиналась обработка полученных сигналов. Обработка осуществлялась с помощью ПО AutoSignal. После обработки вся полученная информация сводилась в таблицы.

На рис. 1 представлены графики сигналов, излучаемых рулевыми трапециями. По частоте и интенсивности всплесков на графиках возможно определить степень износа механизма.

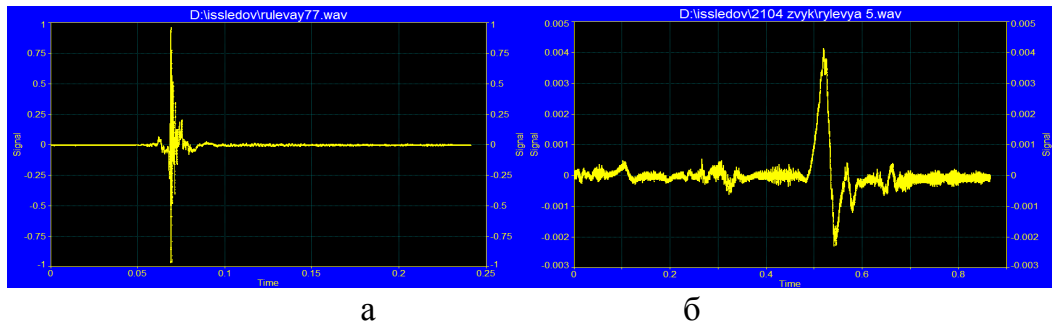


Рис. 1. Анализ сигнала, излучаемого рулевой трапецией

Применим вейвлет – преобразование. На рис. 2 выполнено вейвлет – преобразование сигналов, излучаемых рулевыми трапециями. Выделим всплески с максимальной амплитудой и узнаем частоту и интенсивность.

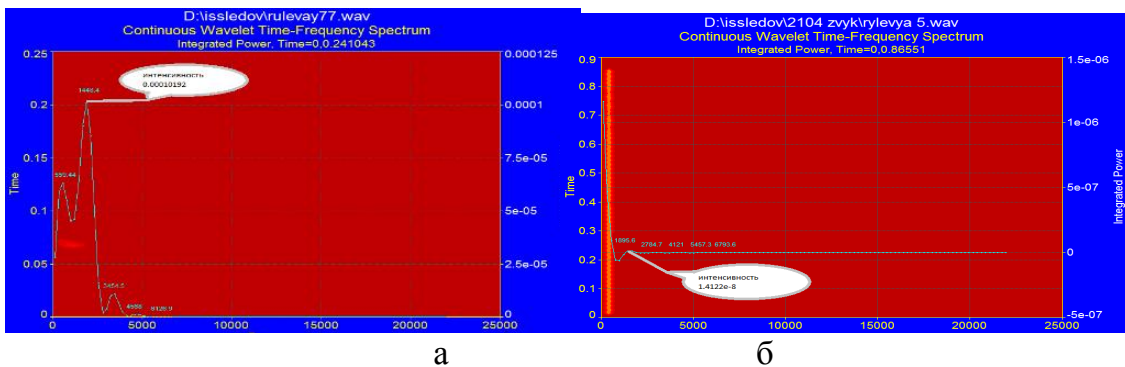


Рис. 2. Вейвлет-преобразование

В результате обработки можно наблюдать череду всплесков. Причиной этих всплесков являются удары шарового пальца о корпус шарнира. Гармоника с максимальной амплитудой на графике 2а имеет частоту 1448Гц и интенсивность 0.0001, на графике 2б гармоника с максимальной амплитудой

имеет частоту 1895Гц и интенсивность 0.0005. Сведем полученные данные в таблицу.

Таблица 1

| Рулевая | Интенсивность | Частота, Гц |
|---------|---------------|-------------|
| а | 0.0001 | 1448 |
| б | 0.0005 | 1895 |

Исходя из этого видно, что гармоника на графике 2б имеет большую интенсивность и частоту, следовательно, можно утверждать, что механизм изношен сильнее.

Источником излучения в амортизаторе является пара поршень-корпус. При утечке масла, амортизатор начинает “пробивать”. Анализ работы амортизатора с разным уровнем масла. На рис. 3 представлен сигнал, излучаемый амортизатором с заводским уровнем масла.



Рис. 3. Амортизатор с заводским уровнем масла

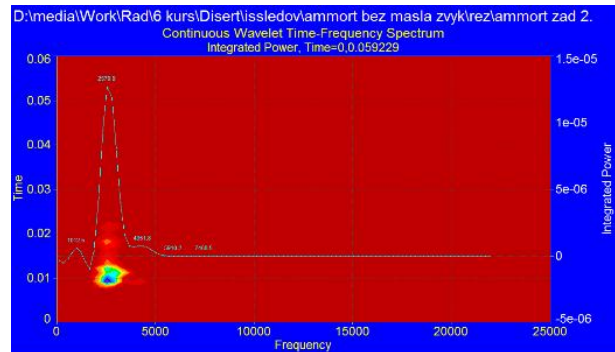


Рис. 4. Вейвлет-преобразование полученного сигнала

Как видно из графика 4, при изучении сигнала, излучаемого амортизатором, наблюдается всплеск, имеющий частоту 2570 Гц и интенсивность 0,009.

Далее спускаем часть масла из амортизатора. Результат на рис.5 и 6.



Рис. 5. Сигнал работы амортизатора с частично слитым маслом

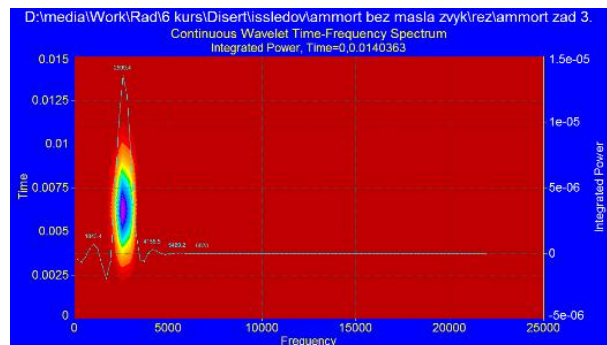


Рис. 6. Вейвлет-преобразование

Из графика 6 видно, что всплеск с максимальной амплитудой имеет частоту 2599,4 Гц, интенсивность 0,008.

Повторим опыт, только в этот раз полностью сольем масло с амортизатора, результат опыта представлен на рис.7 и 8.



Рис. 7. Сигнал, работа амортизатора без масла



Рис. 8. Вейвлет-преобразование

Проанализировав график вейвлет-преобразования в 3м опыте, удалось выяснить, что всплеск с максимальной амплитудой имеет частоту 1450 Гц, интенсивность 0,004. Сведем данные 3х опытов в таблицу и сравним полученный результат.

Таблица 2

| Опыт | Частота, Гц | Интенсивность |
|---------------------------------|-------------|---------------|
| 1 Заводской уровень (300гр.) | 2570 | 0,009 |
| 2 Частичный слив масла (150гр.) | 2599,4 | 0,008 |
| 3 Полностью без масла | 1450 | 0,004 |

Как видно из таблицы 2 интенсивность звука уменьшается, пропорционально уровню масла, это можно обосновать тем, что скорость распространения звука в воздухе меньше скорости распространения звука в масле. (Скорость звука в воздухе — 310 м/с, а скорость звука в масле — 1300 м/с.) Так же о малом уровне масла в амортизаторе свидетельствует низкая частота звуковой волны, результат 2го опыта это подтверждает.

Таким образом, удалось доказать, что благодаря разработанному методу, возможно диагностировать какая степень износа у амортизаторов транспортного средства.

Заключение. Резюмируя изложенное, можно сделать следующие выводы, что предложенный в работе метод позволяет обнаружить неисправность рулевых тяг на транспортных средствах, так же выявлена зависимость количества масла в амортизаторе от интенсивности звука, излучаемого им, благодаря этому становится возможным определять степень износа.

Разработанный метод позволяет обнаружить:

- неисправность в шаровых опорах;
- неисправность рулевых тяг и рулевого редуктора;
- износ амортизаторов;

– износ сайлентблоков.

Представленный метод диагностики является актуальным на сегодняшний день, т.к. практически полностью сводит к минимуму риск ложного определения неисправности и дает возможность избежать серьезных последствий, которые могут возникнуть по причине этих неисправностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Логунов А.В., Конн В.Ю., Береснев А.Л.* Диагностика автомобильного двигателя внутреннего сгорания по виброакустическим сигналам // Научные исследования и разработки последнего десятилетия взаимодействие прошлого и современного: сб. статей. – Ростов-на-Дону, 2019. – С. 77-80.

2. *Береснев А.Л., Береснев М.А.* Виброакустический метод диагностики двигателя внутреннего сгорания. Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 6. С. 27-32.;

3. *Ротенберг Р.В.* Подвеска автомобиля. Колебания и плавность хода. 3-е издание.;

4. Автомобили и технологии. Электронный ресурс <http://www.autotechnic.su/>;

5. *Волгин В.В.* Диагностика неисправностей легковых автомобилей. Год 2005;

6. *Яковлев А.Н.* Введение в вейвлет-преобразования.;

7. Справочник автомобилиста. Электронный ресурс <http://www.avtoindent.ru/>.

8. Электронная книга по описанию и ремонту классических автомобилей. Электронный ресурс <http://www.vaz2101inf.ru/>.

9. Ремонт, обслуживание эксплуатация автомобилей полные технические характеристики. Диагностика, электросхемы. Электронный ресурс <http://www.autopropect.ru>.

10. Хороший стук наружу вылезет. Электронный ресурс <http://automotoparty.ru>.

УДК 62-581.7

УПРАВЛЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ПРИВОДОМ ЗАДНИХ КОЛЁС

Денисенко Н.С., Береснев А.Л.

Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, г. Таганрог

В работе представлен алгоритм работы электропривода в режиме частичных нагрузок на автомобиль. Целью исследования является осуществление правильной работы системы курсовой устойчивости, посредством использования электродвигателей, тем самым увеличив его безопасность, снизить нагрузку на классическую тормозную систему, тем самым увеличив их срок службы и, по возможности, сохранить энергию, затрачиваемую на нагрев тормозных дисков.

Ключевые слова: система курсовой устойчивости, рекуперативное торможение, регенеративный режим торможения электропривода, ABS.

In this paper we introduced algorithm controlling electric drivers in case of medium loads on automobile. The aim is to provide correct mode of functionalization for Electronic Stability Program by using electric engines, increasing safety of car with that, and decreasing load on classic hydraulic braking system. By the way, it is possible to save some energy which have spent on heat in brake discs.

Keywords: electronic stability program (ESP), recuperative braking, regenerative braking of electric engine, ABS.

Системы курсовой устойчивости автомобиля позволяют избежать множество опасных ситуаций, возникающих на дороге, будь то проблема со входом в поворот авто, или попытка водителя избежать столкновения, с неожиданно возникшим на его пути препятствием. Именно это делает ее одной из самых востребованных систем безопасности, устанавливаемых на современные транспортные средства. Такие технологии впервые начали использоваться на автомобилях в 90-х годах прошлого века и успешно модернизируются и по сей день.[1] Однако, стоит заметить, что несмотря уже на свою 30-летнюю историю и многочисленные различные названия, основной принцип работы не изменился. Доработке и улучшениям подверглись лишь способы снятия и расчета необходимых данных, для своевременного вмешательства в процесс движения автомобиля, в то время как механизм воздействия остался неизменным.[2]

Для задания автомобилю нужной траектории используется принцип торможения определённых колес посредством системы ABS. основополагающим принципом работы ABS является регулирование силы торможения посредством специального гидравлического блока.[3] Однако минусом данной системы является сильный износ тормозных дисков, что может обернуться трагическими последствиями в критические моменты, а также возможность утечки жидкости из гидроузла. Так же стоит заметить, что энергия силы трения, выделяемая в виде тепла на тормозных дисках в момент торможения, тратится в пустую, что говорит о излишней трате топлива, а следовательно, о слабых экономических и экологических показателях.

Для решения данной проблемы предлагается использовать электропривод в качестве основного тормозящего элемента. Таким образом достигается снижение износа классической тормозной системы, а значит – повышается ее эффективность в те моменты, когда она будет необходима. Также если в определенные моменты ввести электроприводы в режим рекуперации энергии, то есть регенеративный, то можно добиться возврата части энергии обратно в питающую систему.[4]

Для правильной работы привода требуется задать правильный алгоритм управления, который будет производиться электронным блоком управления автомобиля. Таким образом возможна более легкая интеграция системы в существующую систему управления автомобилем.

Прежде чем приступить к разбору и объяснению алгоритма следует принять один важный факт касательно порядка расчета траекторий. Дело в том, что прежде, чем вносить изменения в движение автомобиля, необходимо знать,

а необходимы ли они в целом в данный момент времени. Для этого система посредством датчиков производит замер и расчет 2-ух параметров – условного параметра А, и условного параметра В. Первый является ничем иным, как траекторией, которую желает придать автомобилю водитель путем поворота рулевого колеса В настоящее время как правило обходятся одним датчиком поворота рулевого колеса, однако для надежности возможно применение еще одного датчика измерения поворота угла колес, что позволяет избежать возникновения ситуации, когда система не работает из-за отказа данного датчика. Его просто заменит парный ему датчик.[5] Параметр В характеризует собой ту траекторию, которую имеет автомобиль на данный момент, без участия водителя. Данный параметр измеряется посредством двух датчиков – гироскопа и акселерометра. Примечательно, что на некоторых версиях системы ставился только последний, так как он был и остается значительно дешевле, чем гироскоп в MEMS-исполнении, ведь автомобиль приемлет расчёт траектории посредством одного из датчиков, однако точность в таком случае падает.[6] Таким образом, сравнивая 2 условных параметра, система при несоответствии друг другу оных вносит соответствующие изменения, тем самым пытаясь приравнять В к А. Стоит заметить, что помимо торможения колес на практике система еще регулирует подачу топлива в цилиндры двигателя внутреннего сгорания при классическом варианте ее исполнения. Помимо прочего возможно влияние на автоматическую коробку передач, дабы торможение происходило еще и за счет двигателя.[5] В нашем алгоритме не указаны эти действия так как речь идет только о действиях, применяемых касательно электроприводов.

Также стоит заметить, что алгоритм работы системы курсовой устойчивости, основанной на применении электропривода, как тормозящего механизма, описан только для режима частичных нагрузок на автомобиль. Этот режим работы авто является основным и позволяет наглядно продемонстрировать поведение автомобиля в большую часть времени его эксплуатирования. При других же режимах работы транспортного средства необходим полный пересмотр работы алгоритма. Так, например, алгоритм работы системы во время скользкой дороги будет отличаться от описанного ниже.

Когда условные параметры рассчитаны, и система считает необходимым внести изменения в данную ситуацию, происходит расчёт нагрузки на валу электропривода. Данные передаются в электронный блок управления (ЭБУ), где происходит расчёт необходимых параметров вращения вала электродвигателя, дабы торможение было эффективным. Расчёт происходит благодаря заложенным в базу данных блока управления графикам и параметров, рассчитанных конструкторами заранее, либо же и использованием нежесткой логики [1] Это объясняется тем, что математически описать поведение автомобиля в критических ситуациях довольно сложно. Необходимо создавать различные математические модели, каждая из которых может учитывать совершенно разные параметры, от которых может зависеть поведение траектории авто, начиная от скорости, заканчивая давлением в

шинах и весом пассажиров в транспортном средстве.[7]Затем идет опрос датчика оборотов электропривода, иначе говоря энкодера, который дает обратную связь в ЭБУ и говорит о правильности или, наоборот, неправильности работы двигателей. В случае выявления последней система корректирует параметры работы электроприводов в соответствии с полученными новыми данными, то есть реализуется обратная связь. Однако в случае отказа какого-либо из датчиков, или в ходе неправильной работы приводов система переходит на доездной режим, где в ход вступает классическая система торможения, то есть на тормозных дисках (проверка исправности системы происходит на этапе запуска системы) [8]. Из этого вытекает необходимость использования двух тормозных систем сразу, так как практика использования системы торможения, основанной только на электроприводе, не оправдывает себя, но в то же время совместное использование данных систем позволяет получить много плюсов.[9]Когда же электрические машины работают правильно, происходит вновь перерасчет условных параметров по уже проверенным заранее датчикам, то есть чья работоспособность в ходе данного цикла работы автомобиля уже проверена, и вновь опрашивает предмет равенства их друг другу. На рисунке 1 снизу изображен алгоритм, о котором ведется речь.

В случае, когда аварийная ситуация благодаря системе была решена или таковой вовсе не наблюдалось система проверяет заряд батареи, питающей электроприводы и в случае необходимости, производит ее зарядку. Затем происходит опрос на предмет изменения режима работы двигателя. Если такового не наблюдается, то система переходит обратно в самое начало алгоритма, предварительно снова рассчитав условные параметры А и В, дабы система была снова готова для мгновенного функционирования в критические моменты.

Так же стоит отметить, что механизм крепления электродвигателей к корпусу автомобиля для правильной работы системы курсовой устойчивости может быть разным. Ведь уже существуют патенты, которые позволяют из переднеприводного автомобиля сделать полноприводный посредством установки на заднюю ось автомобиля не классического, а электрического двигателя.[10] Так же существуют системы, в которых передний привод автомобиля использует тягу от двигателя, тогда как задний использует электрические двигатели. Такую систему использует компания Mitsubishi.[11]

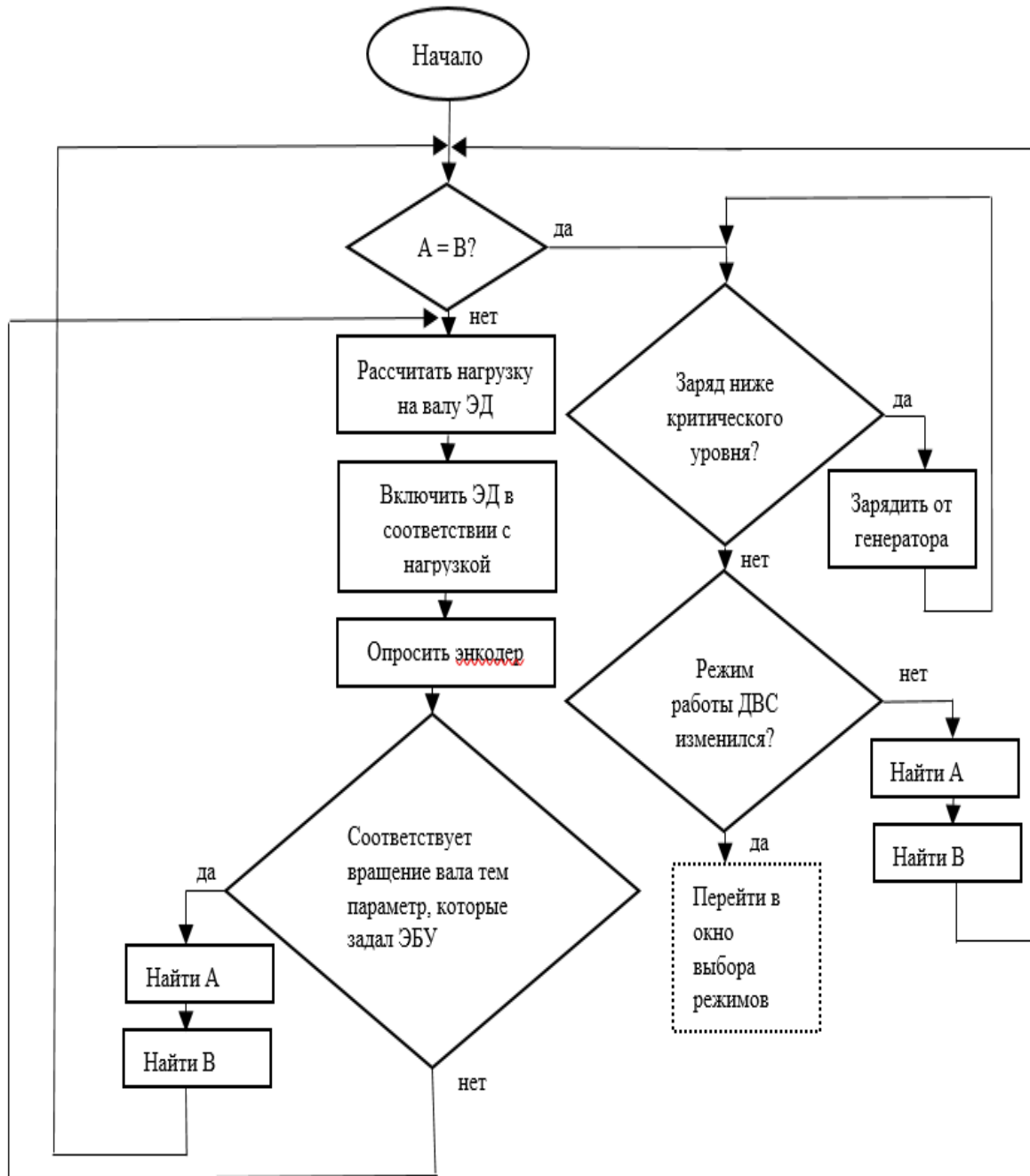


Рис.1 Алгоритм работы электроприводов

В ходе исследования был разработан алгоритм действия электроприводов при частичных нагрузках на автомобиль. Электрические машины помогают облегчить нагрузку на классическую систему торможения, тем самым увеличить ее срок службы и улучшить безопасность автомобиля в целом. Также не стоит забывать о возможности в определенных условиях движения автомобиля использования регенеративного принципа торможения, что позволяет повысить экономичность и экологичность, а также снизить потери тепла, затрачиваемые на нагрев тормозных дисков. Конечно, не стоит забывать

о том, что данный режим торможения не является универсальным и не может полностью собой заменить классическую тормозную систему, однако практика применения принципа регенеративного торможения успешно показала себя на многих моделях современных автомобилей. Помимо прочего данный алгоритм подходит для систем применяемых на всех типах автомобилей, будь то автомобили на классических двигателях внутреннего сгорания, гибридных авто или полностью электрических. Возможно так же использование резистивно-регенеративного торможения, где используются оба типа торможения, однако экологичность в таких случаях падает.[1] Не стоит забывать, что хоть система курсовой устойчивости хоть и спасла множество жизней, но законы физики она преодолеть не сможет, а следовательно, претендовать на место технологии «избавляющей мир от дорожно-транспортных происшествий» не может.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

- 1 *Соснин Д., Яковлев В.* Новейшие автомобильные электронные системы // М.: СОЛОН – Пресс, 2005г.
- 2 *Anton van Zanten, Robert Bosch G.m.b.H, Robert Bosch GmbH.* ESP Electronic Stability Program // Robert Bosch GmbH, 1999г.
- 3 *Савич Е., Канустин В.* Системы безопасности автомобилей: учеб. Пособие / Минск: Новое название, 2016г.
- 4 *Кацман М.* Справочник по электрическим машинам // М: Форум-Инфра-М, 2002г.
- 5 *Prof. Dr.-ing Konrad Reif, Dipl. -ing. Karl-Heinz Dietsche* и др. Автомобильный справочник Bosch // М.: За рулем, 2012г.
- 6 *Oliver J. Woodman* An introduction to inertial navigation // Cambridge University – 2007г.
- 7 *Shoji Sakai, Sadahisa Onimaru, Matsuo Inagaki, Hironori Asa* Generator control system for a hybrid vehicle driven by and electric motor and an internal combustion engine // US patent № 5,786,640 - 28.07.1998
- 8 *Денисенко Н.С., Береснев А.Л.* Работа электропривода автомобиля в режиме частичных нагрузок // Ростов-на-Дону – Таганрог Издательство Южного федерального университета 2020г.
- 9 *Juan Leis-Pretto* Regenerative Braking // Standford University – 2017г.
- 10 *Бабурин А.* Съёмный узел независимой подвески задних колёс // патент России № 195836 29. 11. 2019 г
- 11 *Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein, Dipl.-Ing. René Göbbels, Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Roland Wohlecker* Benchmarking of the Electric Vehicle Mitsubishi I-Miev // ATZautotechnology– 2011г.

УДК 62-529

ПОДРУЛИВАНИЕ ЗАДНЕЙ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ.

Платонов А. С. , Береснев А.Л.

Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, г. Таганрог

В статье рассмотрены вопросы связанные с улучшение управляемости автомобиля. Детальное рассмотрение всех факторов влияющих на управляемость позволит более точно прогнозировать как поведет себя автомобиль при изменении траектории движения, и так же позволит улучшить управляемость автомобиля.

В современном мире, управление автомобилем является основополагающим пунктом при конструировании автомобиля[1]. Этому уделяется огромное значение, так как именно управляемость позволяет в полной мере раскрыть возможности двигателя и трансмиссии. Так же управляемость отвечает за контроль и комфорт конкретно взятого автомобиля. Можно смело заявить, что управляемость является связующим звеном между всеми компонентами автомобиля. Благодаря ей водитель уверен в своих манёврах. Так же управляемость сказывается на пассивной безопасности. Если транспортное средство слишком жесткое, то водитель испытывает дискомфорт, отвлекаясь водитель может совершить потенциально опасный манёвр. Если же автомобиль слишком мягкий, то это приводит к укачиванию, тем самым создавая опасную ситуацию. В данной статье постараемся рассмотреть способы решения этой проблемы[1].

Управляемость – свойство управляемого водителем автомобиля сохранять в определенной дорожно-климатической обстановке заданное направление движения или изменять его в соответствии с воздействием на рулевое управление.

Устойчивость – свойство автомобиля, характеризующее его способность сохранять заданное направление движения при воздействии

Траекторию движения любого автотранспортного средства в общем случае можно рассматривать как криволинейную с непрерывно изменяющейся кривизной. Если кривизна траектории близка к нулю, такое движение условно принято считать прямолинейным.

Колесные транспортные средства могут поворачивать за счет поворота управляемых колес и изменения направления и модуля момента любого из колес[2].

Управляемые колеса при этом поворачиваются вокруг некоторых вертикальных осей (шкворней). На рисунке 1 изображена схема сил, действующих на автомобиль с передними ведомыми управляемыми колесами при движении по круговой траектории с постоянной малой скоростью (инерционные силы отсутствуют)[3].

От ведущих колес на раму автомобиля передаются силы тяги F_T' и F_T'' равнодействующая которых F_T (2) в первом приближении считается

направленной вдоль продольной оси автомобиля. Эта сила через раму автомобиля передается на передний мост. В точках контакта управляемых колес с поверхностью дороги возникают реакции, равнодействующая которых R_{x1} также может считаться направленной вдоль продольной оси автомобиля. Так как отсутствуют другие силы, равнодействующая R_{x1} равна F_T .

Реакция R_{x1} может быть разложена на две составляющие F_f и R_{y1} , направленные соответственно вдоль и перпендикулярно к плоскости колес.

Составляющая $F_f(1)$ определяется моментом сопротивления качению

$$F_f = M/r = f \times R_z \quad (1)$$

Соответственно, сила тяги на ведущем мосту при равномерном повороте автомобиля может быть найдена по выражению:

$$F_T = R_{x1} = F_f / \cos \theta, \quad (2)$$

где θ – угол поворота управляемых колес.

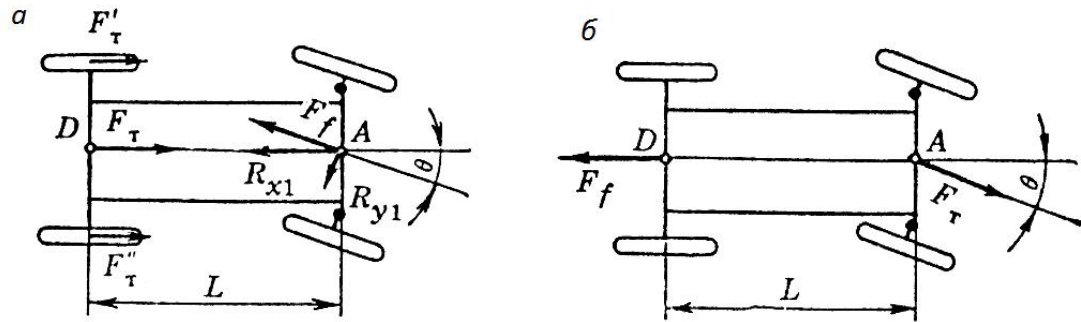


Рис 1 Схема поворота автомобиля:
а – с задними ведущими колесами; б – с передними

Из рассмотрения суммы моментов относительно точки D, лежащей посередине заднего моста, видно, что F_f создает момент сопротивления повороту, а $R_{y1}(3)$ – поворачивающий момент, который при равномерном движении равен моменту сопротивления повороту:

$$R_{y1} \times L \times \cos \theta = F_f \times L \times \sin \theta. \quad (3)$$

Поскольку значение R_{x1} ограничено сцеплением ($R_{x1max} = \varphi \times R_{z1}$), а $R_{y1} = R_{x1} \times \sin \theta$, в предельном случае

$$\varphi \times R_{z1} \times \cos \theta = M_f / r_0, \quad (4)$$

где M_f – момент сопротивления вращению колес, обусловленный как сопротивлением качению, так и другими сопротивлениями.

Если имеет место только сопротивление качению, условие (4) записывается в виде:

$$\varphi \geq f / \cos\theta; \varphi \times \cos\theta \geq f. \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что поворот автомобиля будет осуществляться в том случае, если коэффициент сопротивления качению управляемых колес будет меньше, чем произведение коэффициента сцепления на косинус угла поворота управляемых колес. Если это условие не будет соблюдено, управляемые колеса будут двигаться юзом и автомобиль отклонится от траектории[4].

Одним из способов улучшения управляемости автомобиля является внедрение в заднюю ось независимо управляемых друг от друга электромотора. Данные изменения позволят дозировать момент вращения задних колес чтобы улучшить управляемость. Для этого была спроектирована и распечатана модель задней части шасси автомобиля (рисунок 2). Разработка модели осуществлялась в программе AutoCad.

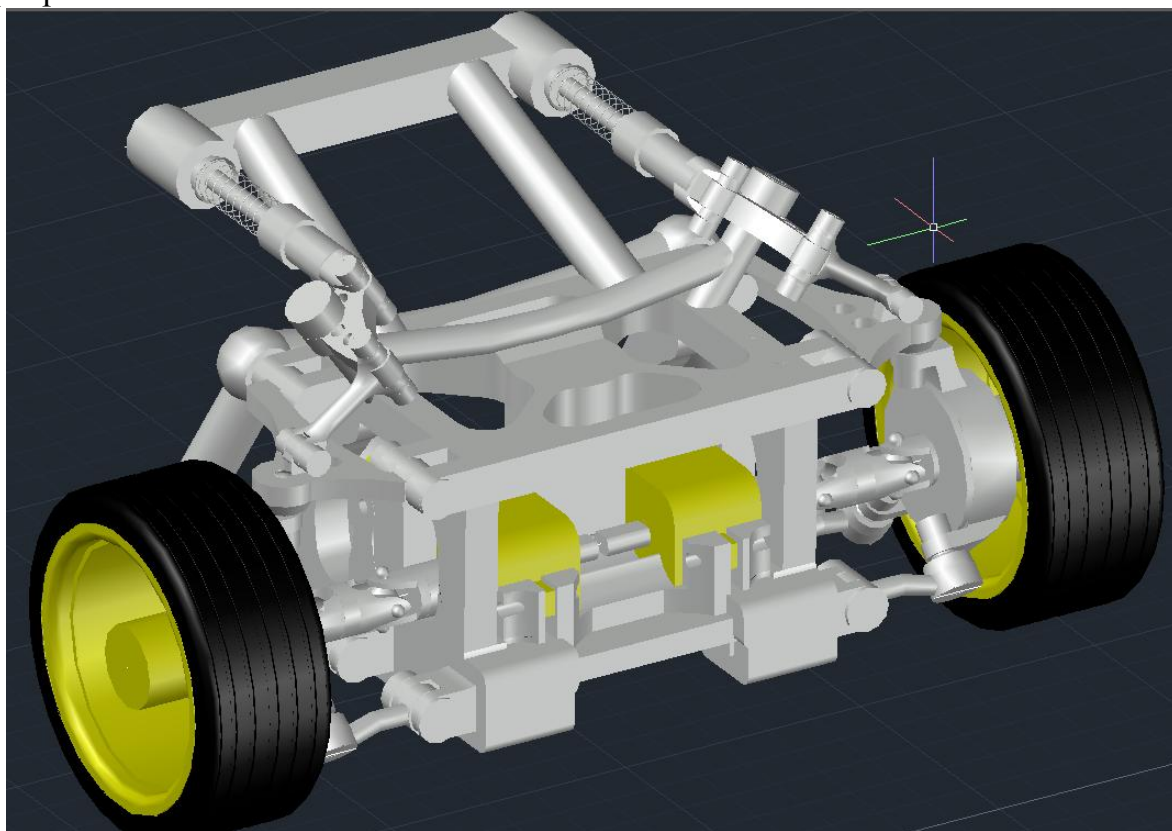


Рис 2. Моделирование задней подвески в программе AutoCad

Для возможности регулирования параметров установки подвески были промоделированы специальные крепления нижних рычагов и выбран оптимальный вариант тип подвески Push-rod. (рисунок 3). Главной задачей было спроектировать компактную конструкцию ходовой части автомобиля, с большим запасом прочности, которая могла бы отличаться спортивными характеристиками и возможностью регулировать главные параметры подвески.

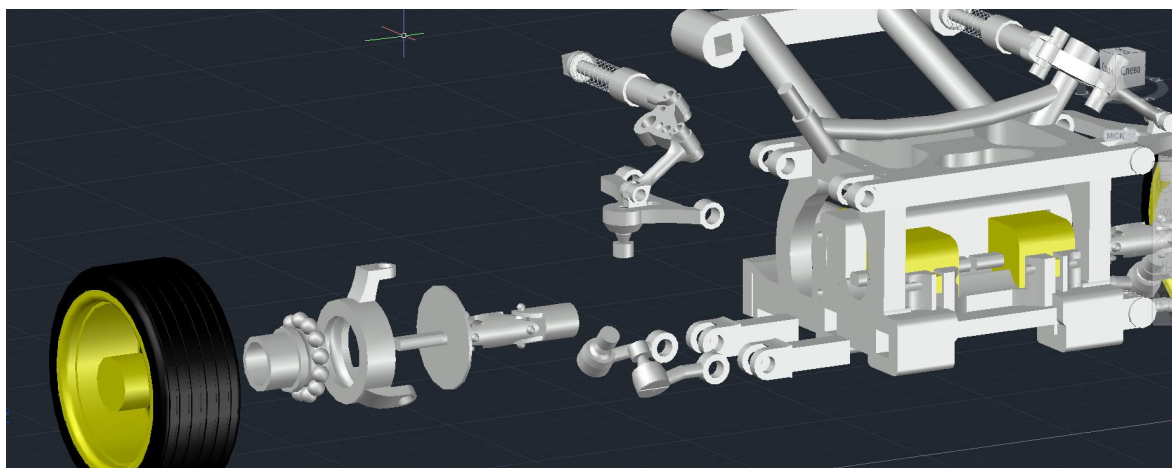


Рис 3. Моделирование задней подвески в программе AutoCad

В большинстве случаев, основные параметры задней подвески, влияющие на ходовые качества-это угол схождения и угол развала. В конструкции данной подвески эти углы контролируются путём перемещения креплений (1). Выдвигая или задвигая крепления (1) мы регулируем величину вылета рычагов (2), которые служат для настройки угла развала и схождения задних колес. Данный метод позволяет достаточно просто настраивать заднюю ходовую модели электромобиля. В дальнейшем в данную систему будет встроена рулевая рейка, которая позволит контролировать и изменять данные параметры в зависимости от дорожных условий.(рисунок 4,6)

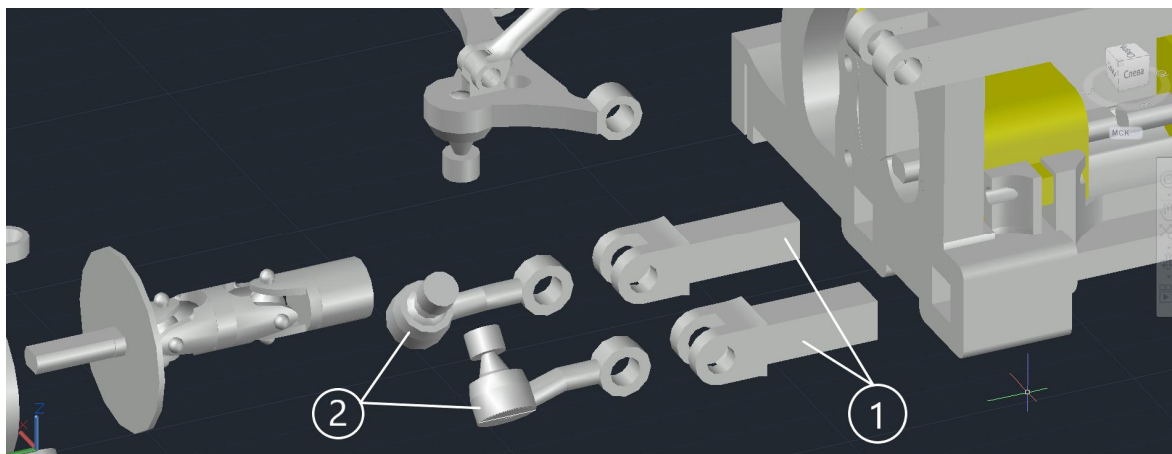


Рисунок 4. Основные методы настраивания задней подвески.

После сборки всех компонентов необходимо провести испытания работоспособности и запаса прочности всей конструкции (рисунок 5).

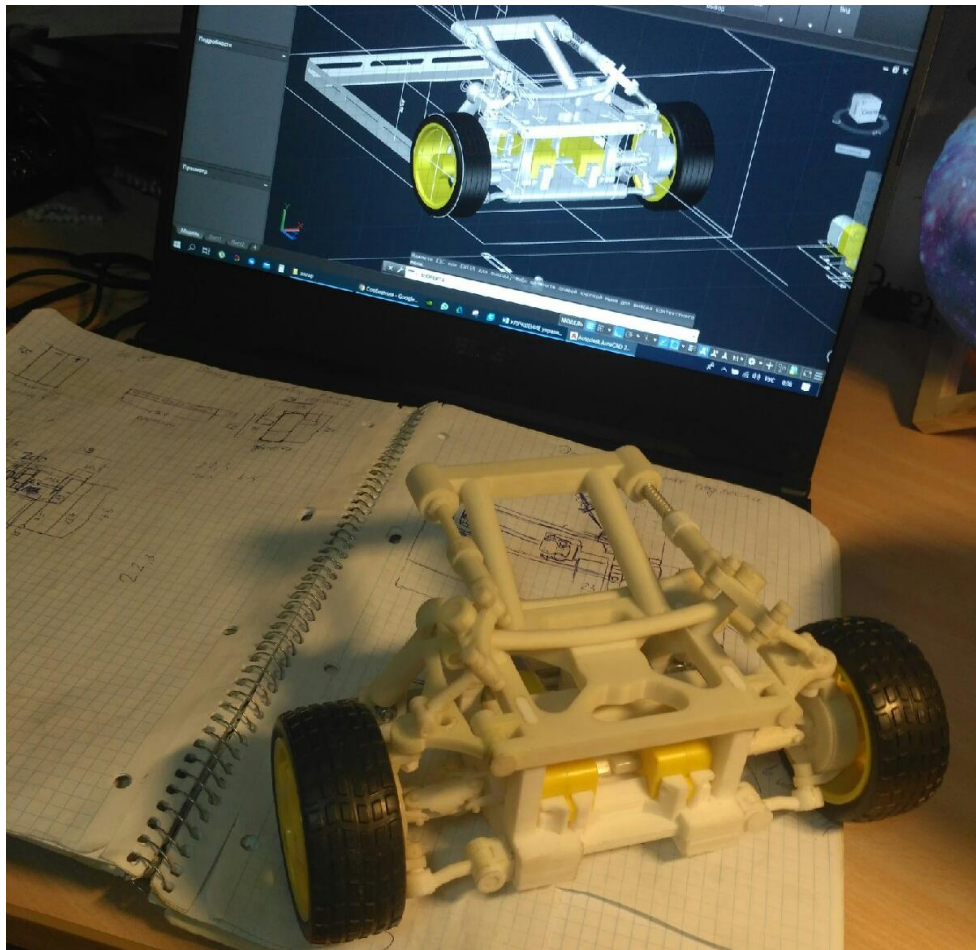


Рисунок 5. Сравнение задней подвески, распечатанной на 3D принтере с проектируемой

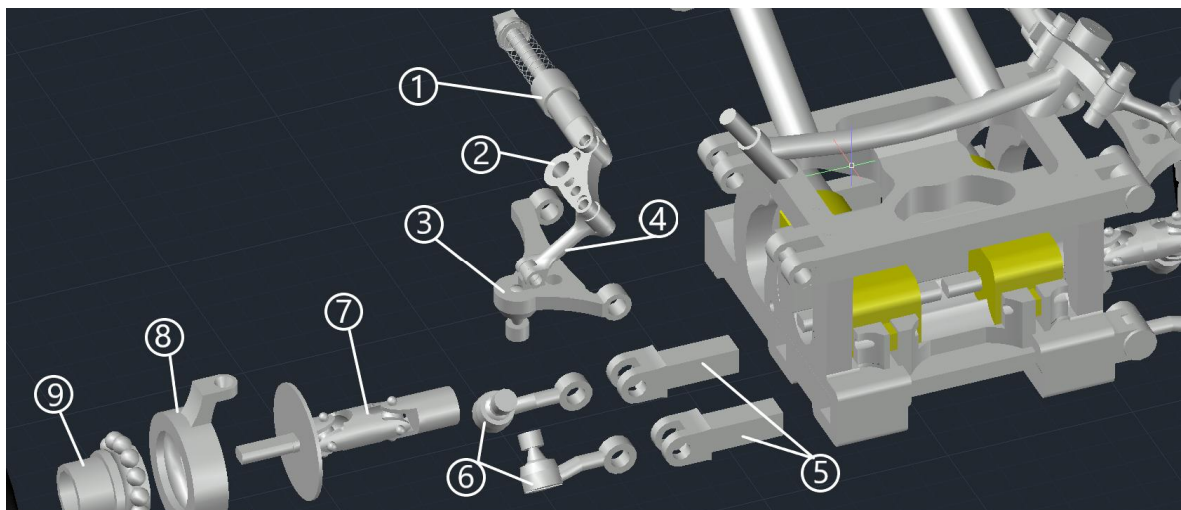


Рисунок 5. Состав задней подвески, распечатанной на 3D принтере

- Компоненты подвески :
- 1- Амортизатор в сборе
 - 2- Г- образный рычаг
 - 3- Верхний рычаг

- 4- Тяга
- 5- Крепления регулировочных рычагов
- 6- Регулировочные рычаги
- 7-Привод в сборе
- 8- Ступица с корпусом подшипника
- 9- Подшипник

Вывод: В результате проделанной работы разработали и изготовили прототип задней подвески с возможностью регулирования основных параметров управляемости автомобиля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Вахламов В.К.* «Автомобили: Эксплуатационные свойства»: Учебник для студ. высш. учеб. заведений.-М.: Издательский центр «Академия», 2005.
2. *Кравец В. Н.* «Теория автомобиля»: учеб. Пособие / В. Н. Кравец. Нижний Новгород: НГТУ, – 2007.
3. *Вахламов В.К.* «Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей»:Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. К. Вахламов. — М. : Издательский центр «Академия», 2007.
4. *Федотов А.И., Зарщиков А.М.* «Конструкция, расчет и потребительские свойства автомобилей»: Учебное пособие. Иркутск, 2007.

УДК: 629.113

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ СМЕСИ В ЦИЛИНДРЕ ДВС

Быстрицкий А.В., Быстрицкая Е.М, Береснев А.Л.

Институт радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, г. Таганрог

В данной статье рассмотрен перспективный метод исследования процесса горения в цилиндре ДВС. Использование современных быстродействующих средств фото и видеосъемки позволяют получать информацию, которая подходит для обработки программными средствами. В статье описаны работы программы написанной в среде программирования python посредством метода метод k-средних. Полученные результаты имеют являются актуальными и высокоинформативными для дальнейшего исследования процесса горения в цилиндре ДВС

Процессы горения, встречающиеся в природе и в технике весьма многообразны. Принято делить их в соответствии с фазовым составом компонентов на группы; гомогенное горение (все участвующие в горении компоненты находятся в газовой фазе), гетерогенное горение (часть компонентов находится в твёрдой или жидкой фазе, другая часть в газообразной фазе), горение конденсированных систем (взрывчатые вещества, твёрдые ракетные топлива и др.) и горение СВС-систем.

Стремительное развитие техники в середине 20 века активизировало развитие науки о горении. Методы экспериментального исследования процессов горения создавались в неразрывной связи с развитием теории горения. На различных стадиях развития представлений о процессах горения соотношение между теорией и экспериментом менялось, однако всегда ощущался недостаток экспериментальных данных. Создание и развитие методов диагностики процессов горения является одной из актуальных задач научных и прикладных исследований. Для каждого конкретного вида горения в соответствии с начальным фазовым составом компонентов диагностические методы развивались с целью решения определенных научных и практических задач использования процессов горения.

Наибольшее распространение в практике нашли оптические методы исследования, отвечающие необходимости изучения быстропротекающих процессов горения. К таковым следует отнести фотографические методы в разных вариантах (скоростная и сверхскоростная фотография), теневые, интерференционные, спектральные методы, методы измерения температуры и ионизации в пламенах (бесконтактные и контактные). Данные методы можно и нужно применить к процессам горения топливовоздушной смеси в цилиндре ДВС.

В настоящее время существуют различные способы диагностики двигателей внутреннего сгорания. К перспективным способам можно отнести диагностику по пламени горения топливо-воздушной смеси. Процесс сгорания от начала и до конца неизбежно сопровождается свечением. Причем в первый момент источником свечения является искра возникающая между электродами свечи от которой возгорается топливовоздушная смесь (ТВС), далее источником света служит разогретое рабочее тело и нагретые от него элементы камеры сгорания. Интенсивность свечения и его спектр зависит от угла поворота коленчатого вала двигателя, количества топливно-воздушной смеси, поступившей в цилиндр, состава смеси, скорости распространения горения, угла опережения зажигания, энергии искры, появления детонации и ряда других факторов [1]. Таким образом, становится ясно, что свет испускаемый камерой сгорания работающего двигателя является своеобразным индикатором, происходящих процессов. Общеизвестно, что из-за невозможности получения полностью гомогенной смеси в камере сгорания ДВС горение топлива имеет не равномерный характер. В тоже время далеко не всегда топливовоздушная смесь успевает сгореть полностью в цилиндре и догорает в выпускном коллекторе и если химические реакции успевают закончиться до момента их поступления к месту установки датчика кислорода, то и система управления двигателем и диагностические системы определяют данную ситуацию. как нормальное горение близкое к стехиометрическому [3]. Из этого следует, что фундаментальные исследования процессов горения невозможны без применения оптических методов. Спектральный состав излучения испускаемого, поглощаемого или рассеиваемого в пламени несет огромное количество информации о протекающих химических реакциях, позволяет определить состав и количество промежуточных и конечных продуктов горения, их температуру, давление и

пространственное распределение [3]. Этот метод является бесконтактным, малоинерционным и высокочувствительным. Поэтому при диагностике и настройке двигателей внутреннего сгорания следует использовать оптические методы исследований.

Упомянутые выше методы контроля процессов внутри двигателя чрезвычайно сложны. Их можно использовать в научных лабораториях и исследовательских центрах. Они требуют специально подготовленных двигателей, и неприменимы для ДВС установленных на автомобиле для процессов их диагностики и настройки что является основным недостатком данных методов. Ранее была получена осциллограмма с датчика (фотоприемника инфракрасного диапазона). Осциллограмма показана на рисунке 1:

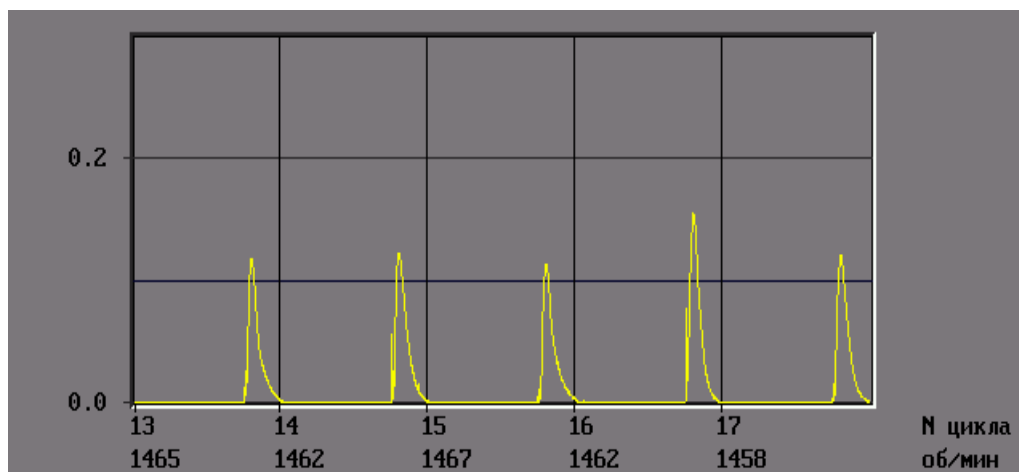


Рис.1 осциллограмма с фотоприемника инфракрасного диапазона.

Как видно из рисунка свечение заканчивается к концу первого такта. За это время вся рабочая смесь успевает сгореть. Однако, отчетливо видна присущая всем двигателям небольшая неповторяемость циклов. В качестве фотоприемника можно использовать датчик принимающий световую информацию в широком диапазоне.[4]

В связи с бурным развитием цифровых технологий возможно для исследования процесса горения использовать высокоскоростную камеру высокосортная камера. Технологии фотосъемки и видеозаписи позволяют производить захват кадров с довольно высокой скоростью. Такая возможность позволяет произвести запись, наблюдение и затем и исследования такого быстротечного процесса как процесс горения смеси в цилиндре двигателя внутреннего сгорания. При помощи такой камеры удалось запечатлеть начальный момент воспламенения и распространения пламени в камере сгорания ДВС.[2] В результате с помощью камеры, имеющей высокое быстродействие, удалось получить серию кадров, характеризующих процесс горения, показанных на рисунке 2.



Рис. 2 Покадровая выборка тактов воспламенения.

На данном рисунке сделана выборка из полученных кадров различных тактов воспламенения в цилиндре ДВС. Можно увидеть, что быстродействие камеры позволило получить несколько информативных в момент воспламенения смеси. Полученные кадры имеют большую информативность для исследования процессов горения смеси в цилиндре ДВС. Таким образом, используя оптические методы наблюдения за воспламенением в цилиндре ДВС, можно сделать вывод о том, что процесс горения в цилиндре ДВС при одинаковых условиях протекает различно. Это связано со сложностью настройки и управления ДВС.

Для дальнейшего исследования полученных кадров была написана программа в среде python. В основе обработки изображения был выбран алгоритм определения доминирующих цветов: метод k-средних. На данном этапе для анализа было выбрано два основных доминирующих цвета: красный и синий.

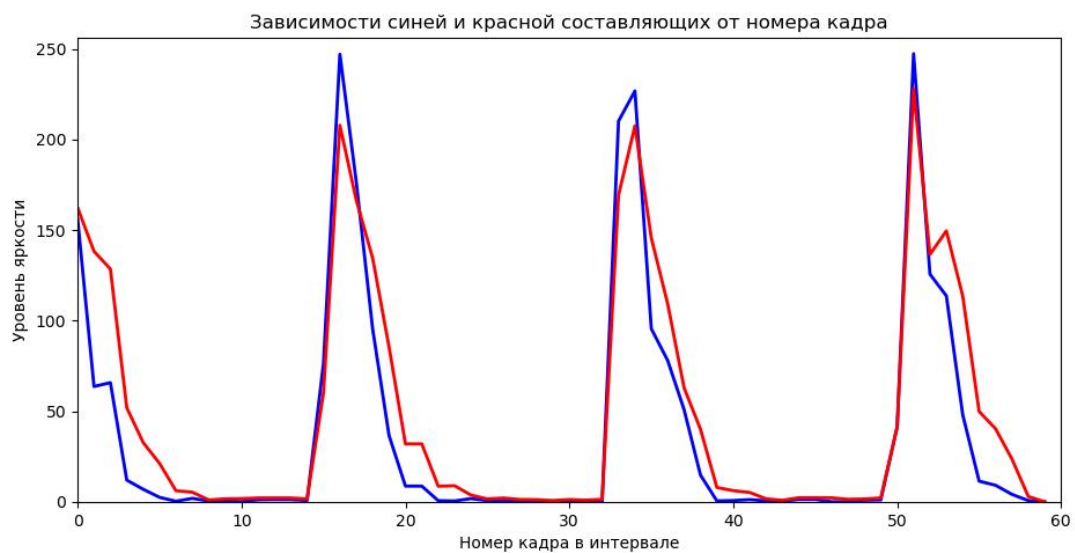


Рис. 3 Результаты обработки в интервале времени от 2670 мс до 3150 мс

Зависимости синей и красной составляющих изображений на интервале времени от 2670 мс до 3150 мс с дискретностью 8 мс приведены на рисунке 3. Дискретность соответствует частоте считывания изображения камерой 120 кадров/с. Данный рисунок отображает результаты обработки отрывка видео-

фрейма полученного с высокоскоростной камеры. Такты воспламенения следуют друг за другом. Из данной обработки можно также подтвердить сделанное ранее заключение о неповторяемости циклов, полученных с датчика на основе инфракрасного фотоприемника, эксперименты с ионным током. Также особый интерес представляет распределение яркости цветов от начального до конечного момента времени. В интервале от 50 до 60 мс можно увидеть всплеск красного цвета, отсутствующих на предыдущих интервалах. Это может свидетельствовать о воспламенении остаточного количества углеводородов при недостатке кислорода. Данный метод обработки несет высокую информативность для дальнейшего анализа процесса горения в цилиндре ДВС. Выделение пикселей красного и синего цветов может указать на взаимосвязь с температурой в камере сгорания ДВС в момент такта воспламенения, а также указать на недостаток или избыток компонентов горения смеси. Таким образом результаты обработки кадров, полученных посредством метода k-средних являются высокоинформативными и требуют дальнейшего углубления исследования в этом направлении

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Крива В.В., Береснев А.Л.* Оптимизация процесса горения смеси по цвету пламени. Сборник статей Международной научно-практической конференции: в 2 частях. Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. 2016. С. 27-29.

2. *Быстрицкий А.В., Береснев А.Л., Быстрицкая Е.М.* Применение современных методов получения и обработки графической информации для исследования процесса сгорания в цилиндре ДВС материалы конференции Системотехника 2019. Таганрог 2019г

3. *Быстрицкий А., Береснев А.Л.* Исследование процессов сгорания смеси в цилиндре ДВС с помощью оптических средств. В сборнике: Исследование и проектирование интеллектуальных систем в автомобилестроении, авиастроении и машиностроении ("ISMCA' 2019") Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Таганрог, 2019. С. 115-116.

4. *Быстрицкий А.В., Береснев А.Л., Быстрицкая Е.М.* Применение современных методов получения и обработки графической информации для исследования процесса сгорания в цилиндре ДВС ("ISMCA' 2020") Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Таганрог, 2020.

ВЛИЯНИЕ АВТОТРАНСПОРТА НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Дмитриева¹И.А., Иванова¹Н.А., Милешко²Л.П.

¹ Донской государственный технический университет

² Южный федеральный университет

Проведен краткий анализ новейших литературных источников, который показал, что в Москве, несмотря на прирост автопарка выбросы вредных веществ в атмосферный воздух снизились с 1 млн т до 0,86 млн т в период соответственно с 2010 года до 2018 года. Данное улучшение экологических показателей произошло вследствие реализации столичной комплексной программы, в том числе, оптимизации маршрутно-дорожной сети, применения современного экологичного транспорта, употребления высококачественного топлива и др.

В Ростовской области в 2019 году выбросы от автомобильного транспорта составили 133,61 тысяч тонн, что в 3,5 и 3,6 раза меньше, чем в 2017 и 2018 гг соответственно. Это занимает 46,3% от общего объема выбросов в атмосферный воздух.

На основе анализа загрязнения районов г. Ростова-на-Дону (областного центра) отмечено, что наибольший уровень загрязнения примесями: бенз(а)пирен, формальдегид, окислы азота и пыль, наблюдается в центральной части города около автотранспортных магистралей.

Предполагается, что такой же уровень загрязнения может быть и в аналогичных городских районах, где автомобильный транспорт является одним из основных источников выбросов.

Отмечено, что уменьшение загрязнения воздуха и воздействия шумов в городской среде можно также достигнуть путем применения электрических транспортных средств, включающих электромобили с полным аккумулятором, а также гибридных электромобилей с подключаемым модулем [12].

Приведены сформулированные С.А.Донцовым дальнейшие перспективы развития электромобилей в Российской Федерации.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, экологическая безопасность, окружающая среда

Введение

По данным [1, с.16] основным загрязнителем (до 80% в общих выбросах) атмосферного воздуха в крупных городах оказывается автомобильный транспорт, а по России его вклад в общие выбросы достигает 40%.

Согласно М.Н. Чомаевой [2], проблемы обеспечения экологической безопасности автотранспорта представляются неотъемлемой частью экологической безопасности всей страны.

Авторы [3] считают, что для повышения экологической безопасности автомобильного транспорта необходимо:

- уменьшить выбросы токсичных веществ в атмосферу за счет улучшения карбюраторов, очистки горюче-смазочных материалов и др.;
- применять современные системы нейтрализации выхлопных газов;
- применять в качестве горючего природный газ;
- использовать электромобили;

-реализовывать полное сгорание топлива с употреблением современных системзажигания;

- выводить автостоянки, автозаправочные станции за границы жилых районов.

Повышение экологической безопасности городов Российской Федерации является важной народнохозяйственной проблемой, которая неразрывно связана с обеспечением экологической безопасности автомобильного транспорта [4].

В связи с этим, целью настоящей работы является анализ влияния автомобильного транспорта на экологическую ситуацию в городах России.

Основная часть

Как и исключительно все виды человеческой жизнедеятельности, эксплуатация автомобилей должна подчиняться первому правилу общей теории обеспечения экологической безопасности [5], т.е. исключать вредное воздействие на окружающую среду.

Одним из методов уменьшения уровня выбросов может явиться снижение числа автомобилей на дорогах Москвы [6, с. 76].

И.С. Полякова [7] отметила, что в Москве, несмотря на прирост автопарка выбросы вредных веществ в атмосферный воздух снизились с 1 млн т до 0,86 млн т в период соответственно с 2010 года до 2018 года. Данное улучшение экологических показателей произошло вследствие реализации столичной комплексной программы, в том числе, оптимизации маршрутно-дорожной сети, применения современного экологичного транспорта, употребления высококачественного топлива и др.

Авторы [8] считают, что для успешной модернизации транспортной системы Санкт-Петербурга требуется обновление транспортного парка, сделав его экологичным, экономичным и комфортным, а не пытаться устанавливать новое оборудование на имеющийся в наличии общественный транспорт.

В Ростовской области (12 городских округов, 43 муниципальных района, 17 городских поселений, 391 сельское поселение) [9] в 2019 году выбросы от автомобильного транспорта составили 133,61 тысяч тонн, что в 3,5 и 3,6 раза меньше, чем в 2017 и 2018 гг соответственно. Это занимает 46,3% от общего объема выбросов в атмосферный воздух [9].

На основе анализа загрязнения районов г. Ростова-на-Дону (областного центра), в [9] отмечено, что наибольший уровень загрязнения примесями: бенз(а)пирен, формальдегид, окислы азота и пыль, наблюдается в центральной части города около автотранспортных магистралей.

Предполагается [9], что такой же уровень загрязнения может быть и в аналогичных городских районах, где автомобильный транспорт является одним из основных источников выбросов.

Автором [10] дана оценка уровня загрязненности атмосферного воздуха выбросами автотранспорта в г. Комсомольске-на-Амуре.

Приведены коэффициенты токсичности автотранспорта и рассчитаны выбросы загрязняющих веществ по концентрации оксида углерода.

Сравнены выбросы загрязняющих веществ от автомобильного транспорта на различных участках магистралей города.

Установлено, что во всех местах наблюдений имеется повышенный уровень загрязненности воздуха оксидом углерода. Сделан акцент на том обстоятельстве, что автомобильный транспорт в отличие от стационарных загрязнителей, рассредоточен на всей территории города и расположен в непосредственной близости к жилым массивам.

Значительное снижение выбросов автотранспортом определяется, главным образом, техническими мероприятиями [10].

Шумовое загрязнение атмосферы в настоящее время представляется одним из основных факторов вредного влияния на окружающую среду и здоровье человека [11]. Жители мегаполисов постоянно находятся в ситуации шумового дискомфорта. Главным источником шумового воздействия являются автотранспортные средства, которые вносят до 80% от общего количества шума [11]. По мере роста городов возрастает отрицательное влияние шума на здоровье людей. В связи этим проблема шумового загрязнения является актуальной экологической и общественной проблемой.

Шум от автомобильного транспорта это опасный параметрический загрязнитель окружающей среды и неблагоприятный вид отрицательного воздействия на организм человека. Автотранспорт является причиной шумового загрязнения на 80% городских территорий. Поскольку многие автомобильные дороги расположены вблизи жилых домов, то в жилой застройке уровень шума на 5 – 30 дБ выше допустимых норм. При этом целесообразно сравнить показатели излучения шума около жилых строений в зависимости от вида застройки – в Кировском районе Санкт-Петербурга достаточно плотной традиционной, а в районе новостроек на территории муниципального образования Юго-запад Красносельского района [11].

Установлены архитектурные особенности кварталов и общей планировки расположения автомобильных магистралей, от которых, во многом зависят уровни излучения шума вблизи к жилым зданиями общественным местам.

Уменьшение загрязнения воздуха и шумовых воздействий в городской среде можно также достигнуть путем применения электрических транспортных средств, включающих электромобили с полным аккумулятором, а также гибридных электромобилей с подключаемым модулем [12].

Автором [13] сформулированы дальнейшие перспективы развития электромобилей в Российской Федерации:

- ограниченная возможность применения в качестве общественного транспорта для крупнейших агломераций России, которые имеют высокий уровень жизни, «совместимый» климат и требуемую инфраструктуру, например, в таких городах, как Москва, Санкт-Петербург, Краснодар, Нижний Новгород, Ростов-на-Дону и др.;

- популяризация употребления электромобилей как личного транспорта, в том числе, и «электрокаршеринг» в городах федерального значения, курортах и рекреационных зонах, т. е. там, где в первую очередь необходимо обеспечить более высокие требования к качеству атмосферного воздуха;

- построение требуемой инфраструктуры, учитывающей региональную и климатическую специфику;

- проведение в широких масштабах научных исследований и опытно-конструкторских разработок по созданию отечественных электромобилей, понижение их стоимости, увеличение емкости и «живучести» аккумуляторов с одновременным уменьшением их веса, новые технические решения, обеспечивающие возможность использования этой техники все северных регионах страны;

- активная просветительская работа по важности замены традиционных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания электромобилями;

- применение мирового опыта по предоставлению льготных условий на приобретение, эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт электромобилей.

Выводы

Краткий анализ новейших литературных данных показывает, что в Москве, несмотря на прирост автопарка выбросы вредных веществ в атмосферный воздух снизились с 1 млн т до 0,86 млн т в период соответственно с 2010 года до 2018 года. Данное улучшение экологических показателей произошло вследствие реализации столичной комплексной программы, в том числе, оптимизации маршрутно-дорожной сети, применения современного экологичного транспорта, употребления высококачественного топлива и др.

В Ростовской области в 2019 году выбросы от автомобильного транспорта составили 133,61 тысяч тонн, что в 3,5 и 3,6 раза меньше, чем в 2017 и 2018 гг соответственно. Это занимает 46,3% от общего объема выбросов в атмосферный воздух.

На основе анализа загрязнения районов г. Ростова-на-Дону (областного центра), в [9] отмечено, что наибольший уровень загрязнения примесями: бенз(а)пирен, формальдегид, окислы азота и пыль, наблюдается в центральной части города около автотранспортных магистралей.

Предполагается, что такой же уровень загрязнения может быть и в аналогичных городских районах, где автомобильный транспорт является одним из основных источников выбросов.

Отмечено, что уменьшение загрязнения воздуха и воздействия шумов в городской среде можно также достигнуть путем применения электрических транспортных средств, включающих электромобили с полным аккумулятором, а также гибридных электромобилей с подключаемым модулем [12].

Приведены сформулированные С.А.Донцовым дальнейшие перспективы развития электромобилей в Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солодкий А. И., Горев А. Э., Бондарева Э. Д. Транспортная инфраструктура : учебник и практикум для академического бакалавриата / А. И. Солодкий, А. Э. Горев, Э. Д. Бондарева ; под ред. А. И. Солодкого. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 290 с.

2. Чомаева М.Н. Автотранспорт и его влияние на экологическую ситуацию в городской местности // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020. № 3-1 (42). С. 6-10.

3. Гатиятуллин М.Х., Хабибуллина А.М. Автомобильный транспорт и экологическая безопасность // Техника и технология транспорта. 2020. № 1 (16). С. 15.

4. Dmitrieva I.A., Mileshko L.P., Sakharova O.N., Gordienko L.V. Progress in environmental safety (review) // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 72013.

5. Милешко Л.П. Модернизация общей теории обеспечения экологической безопасности // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2018. № 6 (112). С. 32.

6. Оценка социально-экономического эффекта публикации открытых данных на примере данных общественного транспорта Москвы [Текст] / Р. Е. Артамонов, С. Б. Дати́ев, А. Б. Жулин, А.С. Кондрашов, Н.В. Лаврентьев, Е.Ю. Мулеев, С.М. Плаксин, Е.М. Стырин, Е.В. Ястребова Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики», Центр анализа деятельности органов исполнительной власти. — М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2015. — 92 с.

7. Полякова И.С. Развитие экологического автотранспорта в России // Транспортное дело России. 2019. № 4. С. 192-193.

8. Новожиллов М.В., Иванова А.И. Перспективы развития транспортной системы в Санкт-Петербурге // Экономика. Право. Инновации. 2020. № 2. С. 10-16.

9. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2019 году» / С. Н. Бодряков, А. В. Кушнарёва, Л. А. Жадан, Н. Н. Ковтун, С. В. Толчеева, Е. В. Анпилогова, В. Д. Асташов, А. Ю. Хаустов, С. А. Никитина, О. И. Животков, С. Ю. Покуль; под общ. ред. М. В. Фишкина. Ростов-на-Дону. 2020. 372 с.

10. Краснокутская Н.В. Оценка уровня загрязнения атмосферы города Комсомольска-на-Амуре отработанными газами автомобилей // Вестник научного общества студентов, аспирантов и молодых ученых. 2020. № 2. С. 33-38.

11. Толстова Ю.О., Дроздов В.В. Шумовое загрязнение городской среды Санкт-Петербурга в пределах Кировского и Красносельского района // Вестник науки и образования. 2020. № 15-1 (93). С. 69-73.

12. Рагимов Э.А.О. Влияние электромобилей на экологию // International Journal of Advanced Studies. 2020. Т. 10. № 1. С. 50-66.

13. Донцов С.А. Перспективы развития электромобилей в Российской Федерации // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2020. № 3 (52). С. 12-15.

УДК 517.445

ОПЕРАЦИОННОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ТИПОВЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ НА ПРИМЕРЕ ФУНКЦИИ ХЕВИСАЙДА

Теплинский И.Д., Медведев М.Ю.

Южный Федеральный Университет, ИРТСиУ, каф. ЭиМ, г. Таганрог

Введение. Операционное исчисление широко применяется в задачах автоматического управления. С помощью него мы можем переходить от исследования дифференциальных и интегральных операторов к решению более простых алгебраических примеров. В ТАУ динамические характеристики систем управления определяют по входным воздействиям. В данной статье рассматривается пример единичного ступенчатого воздействия [11].

Постановка задачи.

Для того чтобы решить поставленную задачу, последовательно выполним следующие действия:

- 1) Рассмотреть ступенчатую функцию, определить ее свойства;
- 2) интегрировать данную непрерывную функцию;
- 3) рассчитать получившийся несобственный интеграл;
- 4) получить преобразование Лапласа функции Хевисайда;
- 5) перейти к z-преобразованию непрерывной функции;
- 6) расчет z-преобразования;
- 7) получить z-преобразование функции Хевисайда.

Преобразование Лапласа. Само понятие операционного исчисления сводится к тому, что в соответствии с искомой функцией $f(t)$, называемой оригиналом, в соответствие определяется другая функция $F(p)$, рассчитываемая по определенным правилам и называемая изображением. Оригиналу должен соответствовать условиям. Процесс перехода к изображению $F(p)$ от оригинала $f(t)$ именуют преобразованием Лапласа. Непосредственно само определение оригинала изображения, выраженное несобственным интегралом [1, 11]:

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-pt}$$

где $p = s + i\sigma$ – аргумент для функции изображения, являющийся комплексной переменной (комплексная частота),

Одним из необходимых условий является что оригинал функции $f(t)$ кусочно-дифференцируем в I четверти декартовой системы координат на луче $[0; \infty)$. [3]

Соответствие между оригиналом и изображением:

$$f(t) \doteq F(p)$$

Рассмотрим единичную кусочно-постоянную функцию Хевисайда:

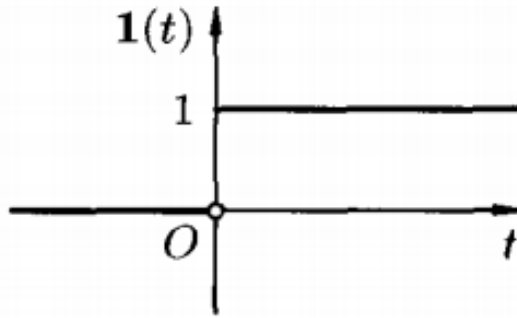


Рис. 1 – График ступенчатой функции Хевисайда

Ей соответствуют следующие условия:

$$\mathbf{1}(t) = \begin{cases} \mathbf{1}, & \text{при } t \geq 0 \\ \mathbf{0}, & \text{при } t < 0 \end{cases}$$

Ступенчатые сигналы обычно применяются для мгновенного изменения какого-либо параметра (например, момент нагрузки электропривода).

На данном примере рассмотрим нахождение изображения $F(p)$ оригинала $f(x)$:

$$F(p) = \int_0^{\infty} \mathbf{1} \cdot e^{-pt} dt = \lim_{b \rightarrow \infty} \int_0^b e^{-pt} dt$$

Далее найдем интеграл от экспоненциальной функции [2]:

$$\lim_{b \rightarrow \infty} \left(-\frac{1}{p} \cdot e^{-pt} \right) \Big|_0^b$$

Выполним расчет, подставив в значение t соответствующее значение b :

$$\begin{aligned} \lim_{b \rightarrow \infty} \left(-\frac{1}{p} \cdot e^{-pb} + \frac{1}{p} \cdot e^{-p \cdot 0} \right) &= \lim_{b \rightarrow \infty} \left(-\frac{1}{p} \cdot e^{-pb} + \frac{1}{p} \cdot e^0 \right) = \lim_{b \rightarrow \infty} \left(-\frac{1}{p} \cdot e^{-pb} + \frac{1}{p} \right) \\ &= \lim_{b \rightarrow \infty} \left(-\frac{1}{pe^{pb}} + \frac{1}{p} \right) \end{aligned}$$

Таким образом:

$$\lim_{b \rightarrow \infty} \left(-\frac{1}{pe^{pb}} + \frac{1}{p} \right) = 0 + \frac{1}{p} = \frac{1}{p},$$

т.к. $\left(-\frac{1}{pe^{pb}} \right) \rightarrow \infty$.

Как результат, мы получили изображение $F(p) = \frac{1}{p}$ оригинала функции $f(t) = \mathbf{1}(t)$.

Преобразование Лапласа допустимо лишь только в тех случаях, если выполняется условие сходимости [11]:

$$\int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-pt} dt < \infty$$

Рассчитанный интеграл сходится, т. к. равен конечному числу. Это нам и требуется.

Подытожив, выделим общее правило для нахождения изображения [7]:

$$L[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-pt} dt,$$

где L – преобразование Лапласа.

По вышеприведенной формуле на рисунке 2 представлена графическая иллюстрация аппроксимации рассматриваемой функции [7, 11]:

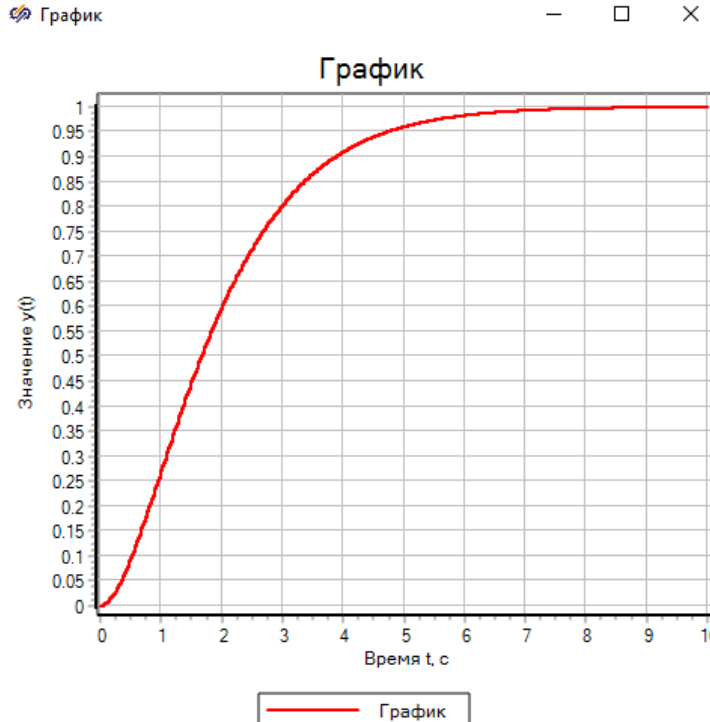


Рисунок 2 – Переходная характеристика ступенчатой функции

Данная характеристика получается в ходе задания колебательного воздействия:

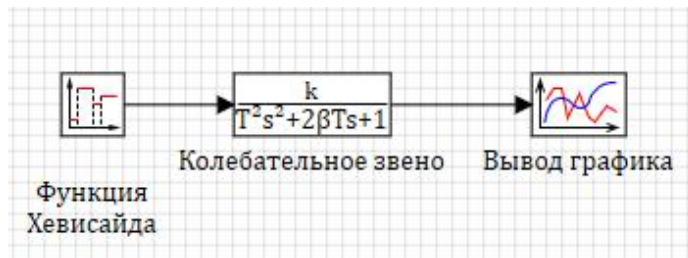


Рис.3 – Структурная схема колебательного процесса

Заметим по рисунку 2, что переходной процесс происходит без перерегулирования, а время регулирования на данном примере занимает 7 секунд.

Z – преобразование. Преобразования Лапласа в теории импульсных систем выражают с помощью *Z*-преобразования. Дискретные передаточные функции определяют обычно как раз с помощью него. Оно позволяет преобразовывать дискретные сигналы с помощью линейных стационарных систем [4,7].

Данная операция применяется для создания передаточных функций цифровых фильтров, анализа устойчивости и т. д. [4]. В контексте данной работы нам нужно перейти именно к созданию передаточной функции. Собственно передаточной функцией (или передаточной функцией в операторной форме) называют отношение воздействующего оператора к собственному.

В чем же заключается суть *Z*-преобразования? Выясним это на наглядном примере.

Например, дана непрерывная функция, и ей в соответствие ставится решетчатая функция:

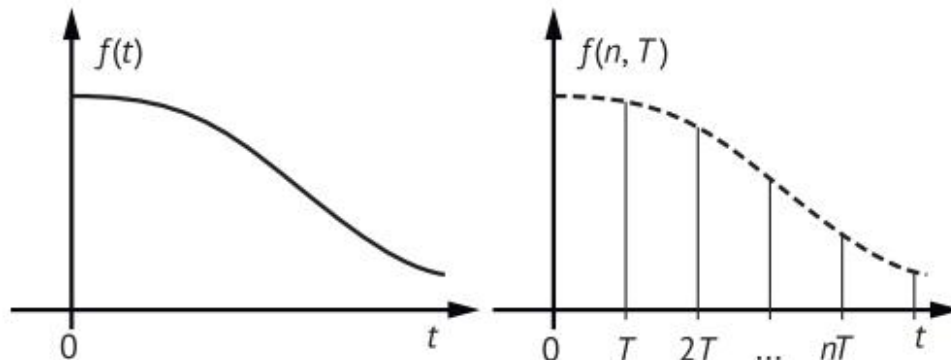


Рис.4 – Графики непрерывной и решетчатой функций соответственно

Как мы видим, интервалы решетчатой функции заданы через величину *T*.

Представим непрерывную функцию как изображение, определив преобразование Лапласа, *n* как порядковый номер дискреты, а $\Delta t = T$ – интервалы времени [7].

Решетчатая функция имеет вид:

$$f[nT] = f(t) \cdot \delta_T = f(t) \cdot \delta(t - nT)$$

где δ_T – единичный импульс (дельта-функция).

Преобразование Лапласа в дискретной форме выражается так:

$$F(z) = L\{f[nT]\} = \int_0^{\infty} f(t) \cdot \delta(t - nT) \cdot e^{-pnT} dt$$

Т. к. мы перешли в дискретную форму, то имеем право заменить интеграл на суммарную последовательность импульсных функций (также введем новую переменную $z = e^{pt}$ и учтем дискретность решетчатой функции):

$$F(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f[nT] \cdot \delta(t - nT) \cdot z^{-n}$$

По одному из свойств дельта функций:

$$\int_0^{\infty} \delta(t - nT) dt = 1$$

Т. е. единичный импульс равен 1.

Поэтому z -преобразование характеризуется следующим уравнением[4,7,10]:

$$F(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f[nT] \cdot z^{-n}$$

Запишем это же выражение с учетом, что $f[n] = f[nT]$:

$$F(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f[n] \cdot z^{-n}$$

Здесь описана сумма как последовательность значений на луче $n \in [0; +\infty)$.

Вернемся теперь к рассматриваемой функции Хевисайда и вспомним соответствующие ей условия. Учитывая их, придем к тому, что получим бесконечную последовательность суммируемых чисел[8]:

$$F(z) = \sum_{n=0}^{\infty} f[n] \cdot z^{-n} = z^{-0} + z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} + \dots = \frac{1}{z^0} + \frac{1}{z^1} + \frac{1}{z^2} + \frac{1}{z^3} + \dots$$

Т. к. функция $F(z)$ получилась бесконечной геометрической прогрессией, то применим соответствующие правила для нахождения конечной суммы. Для это нам необходимо знать формулы суммы и знаменателя прогрессии:

$$S = b_1 + b_2 + b_3 + \dots; q = \frac{b_{n+1}}{b_n}$$

$$\text{Учитываем, что } b_1 = \frac{1}{z^0}, b_2 = \frac{1}{z^1}, S = F(z) = \frac{b_1}{1-q}.$$

Соответственно, найдем:

$$q = \frac{1}{z^0} : \frac{1}{z^1} = 1 : \frac{1}{z^1} = \frac{z^{-1}}{1} = \frac{1}{z}$$

$$F(z) = \frac{1}{1 - \frac{1}{z}} = \frac{z}{z - 1}$$

Динамические (типовые) звенья. Теперь перейдем к звеньям. Динамическое звено – это экземпляр, включающий в себя набор математических операций, в ходе которых входная переменная преобразуется в выходную[5, 6]. Звеньям в соответствие ставится своя определенная передаточная функция.

Рассмотренное выше преобразование позволяет рассчитать дискретные передаточные функции импульсных систем по аналогии с непрерывными [7]:

$$W(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = Z[W(s)]$$

где $F(z)$ – дискретная передаточная функция, $X(z), Y(z)$ – z -преобразования начальной и конечной величин.

Заключение. В ходе выполнения работы была рассмотрена ступенчатая функция Хевисайда, на примере которой выполнены: интегральные расчеты, нахождения пределов, и, непосредственно, выполнен переход к типовому звену. Данная статья на примере простейшей функции показывает весь математический аппарат, определяемый в динамических звеньях, которые применяются в САУ. В дальнейшем планируется рассмотреть данную тему на конкретных примерах мехатронных модулей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Д. Т. Письменный. Конспект лекций по высшей математике: полный курс / –16-е изд. – М.: АЙРИС-пресс, 2019. – 608 с.: ил. – (Высшее образование).
2. Интеграл от экспоненциальной функции. [Электронный ресурс] // URL: https://www.webmath.ru/poleznoe/formules_11_6.php (дата обращения: 10.10.2020)
3. Н. А. Бабаков, А. А. Воронов, А. А. Воронова и др. Теория автоматического управления: Учеб для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика». В 2-хч. Ч. I. Теория линейных систем автоматического управления. Под ред. А. А., Воронова. —2-е изд., перераб.
4. Z-преобразование: определение и примеры. [Электронный ресурс] // URL: <https://www.coursera.org/learn/cifrovaya-obrabotka-signalov-chast1> (дата обращения: 12.10.2020)
5. Гайдук А.Р. Теория автоматического управления: Учебник / М.: Высш. шк., 2010. – 415 с.: ил.
6. А. Р. Гайдук, В. Е. Беляев, Т. А. Пьявченко. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB: учебное пособие. — 5-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург: Лань, 2019. — 464 с.
7. Герман-Галкин С. Г., Карташов Б. А., Литвинов С. Н. Модельное проектирование электромеханических мехатронных модулей движения в среде SimInTech. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 494 с.
8. Что такое z-преобразование? [Электронный ресурс] // URL: <https://radioprogram.ru/post/854> (дата обращения: 13.10.2020)
9. Поляков К. Ю. Основы теории автоматического управления: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во СПбГМУ, 2012. — 234 с.
10. В. М. Иванов. Основы D- и Z-преобразований. Конспект лекций для студентов, обучающихся по специальности 180400 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» / Ульяновск, УлГТУ, 2001. – 36 с.

11. Математическое описание систем автоматического управления ч. 2.4 — 2.8. [Электронный ресурс] // URL:<https://habr.com/ru/post/509612/> (дата обращения: 14.10.2020).

УДК 621.9.048.7

ПРОБЛЕМЫ МАЙНИНГ ФЕРМ В РОССИИ И ИХ ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Меерович Д. И., Рассоха Д.П.

*Южный федеральный университет, Институт радиотехнических систем и управления,
г. Таганрог*

Криптовалюта – это электронные виртуальные или цифровые деньги. Они могут лежать «про запас» на банковском счете или вкладываться во что-то, как и реальные купюры. Физически такой монеты нет – они используются только на специальных электронных реестрах, где ведется учет, сколько у владельцев крипты и куда она переводится. Такие реестры называются блокчейнами.

В отличие от ряда платежных систем, крипта изначально появляется без использования реальных денег. Для того, чтобы получить какую-либо сумму биткоинов, необходимо сначала подключиться к процессу их создания и стать участником сети майнинга, после чего просто ожидать своего заработка. Именно в этом заключено отличие крипты от реальной валюты – последние издаются исключительно по решению Центрального Банка страны.

В течение долгого периода времени криптовалюта не имела своего правового регулирования, впервые речь о её создании зашла только в 2008 году. С каждым годом рост количества криптовалюты увеличивался, так в 2018 году – 1649 наименований, на данный момент насчитывается около 2 479 видов криптовалют. В Российской Федерации сейчас зарегистрировано более 100 наименований.

По результатам анкетирования пользователей сети “Интернет”:

70% - пользователей что-то слышали о криптовалюте

23% - хорошо знают о ней

7% - впервые услышали

В результате около половины опрошенных пользователей и только хорошо знающие криптовалюту готовы хранить в ней свои сбережения

Ни одна криптовалюта, включая биткоины, не имеет официального статуса и не может быть использована в реальности. В некоторых странах биткоины уже признаны, но в России и Украине этот вопрос находится в стадии обсуждения. Владелец любой криптовалюты не привязан к городу или стране. И хотя криптовалюта имеет привязку курса к реальной валюте, она имеет свою собственную ценность.

Криптовалюта хранится на специальном электронном кошельке, который можно легко установить на свой компьютер или телефон совершенно бесплатно. Адрес кошелька – это комбинация букв и цифр или QR-код. Система работы крипты чем-то похожа на систему безналичных банковских

платежей: если вы рассчитываетесь картой в магазине, то не отдаете никому купюры или драгоценности. В реестре прописывается выполненная финансовая операция, с вашего счета списывается соответствующая сумма, а на счету получателя она увеличивается соответственно.

Основное отличие криптовалюты от реальных денег состоит в том, что реестры хранятся не в банках и платежных системах, а сразу на всех компьютерах пользователей, установивших соответствующее ПО. Это говорит о том, что для пользователей все данные о количестве и использованной криптовалюте за все годы ее существования находятся в открытом доступе.

Сегодня существует более тысячи разных видов криптовалюты, которые созданы для разных целей, имеют разный курс и существенно отличаются между собой. Не все попадают в поле интересов инвесторов, но если у какого-то вида есть поддержка крупной компании, это говорит о значительных перспективах развития монеты.

Вывести электронные деньги на реальный счет вполне возможно. Это делается разными способами: с помощью обменников, бирж, терминалов, прямой покупки наличными и прочими методами. Криптовалюта имеет ряд существенных преимуществ:

1. Счет виртуальных денег невозможно заблокировать, чего нельзя сказать о платежных и банковских системах.

2. Вы можете пользоваться таким счетом в любой точке мира по своему усмотрению.

3. Транзакции отображаются в журнале, который находится в общем доступе, но имена пользователей остаются конфиденциальными и не раскрываются.

4. Ваш виртуальный счет не имеет никакой привязки к личным данным.

Электронную форму может иметь любая национальная валюта: гривна, доллар, евро, рубль и прочие. Это актуально, когда для вывода электронных денег используются платежные системы наподобие Вебмани, Киви или Яндекс.

Что такое майнинг

Майнинг, это еще один популярный способ зарабатывать на криптовалюте. Майнинг (от английского mining — добывать) — это деятельность по поддержанию распределенной платформы и созданию новых блоков с возможностью получить вознаграждение в форме новых единиц и комиссионных сборов в различных криптовалютах, в частности в биткойн (Википедия). Для того чтобы обеспечить безопасность передачи денег от отправителя к получателю, транзакцию просчитывают несколько разных узлов. То есть платеж от А к Б пройдет не напрямую, а через некоторое количество разных точек. Операция будет подтверждена, когда попадет в блокчейн, а попадет она туда только при условии, что кто-то найдет специальную последовательность с необходимым для системы значением. Майнинг — это процесс поиска такого значения.

По сути, майнеры обеспечивают прозрачность и безопасность системы. Если продолжать аналогию с тетрадкой, то майнеры это те люди, которые отслеживают, что и у кого в тетрадке записано.

Однако зарабатывать майнингом тоже непросто. Во-первых, нужно специальное оборудование, которое стоит несколько тысяч долларов. Во-вторых, по мнению экспертов, с тех пор как майнингом стали заниматься специализированные компании, любителям-одиночкам стало сложно выживать на этом рынке: здесь может заработать тот, кто готов постоянно вкладываться в технологии.

Основные способы майнинга криптовалюты

Облачный майнинг

Майнингом можно заниматься в облаке. Вы по интернету арендуете некоторый объем вычислительной мощности (хешрейта) в удаленном дата-центре и получаете вознаграждение в криптовалюте.

Главным преимуществом данного вида добычи виртуальных монет является отсутствие шума в вашей квартире. Вам не нужно покупать и настраивать оборудование, круглосуточно следить за его работой. Заплатите один раз и получайте монеты в ваш криптокошелек на протяжении всего срока контракта. Недостатком облачного майнинга является высокий риск потери вложенных денег из-за большого количества скам-проектов в этом секторе добычи цифровых активов.

Майнинг на видеокартах

Майнинг на видеокартах это довольно популярный и рентабельный способ заработка криптовалюты. ASIC-майнеры, конечно, более производительны, но зато видеокарты имеют трехлетний срок гарантии, их довольно легко перенастраивать на другой алгоритм.

Майнинг в браузере

Майнинг в браузере малоэффективен, установив приложение JavaScript, вы рискуете подхватить скрытый майнер или другой вирус.

Жесткий диск в майнинге

Криптомонеты Storj, Burst, Sia можно зарабатывать, используя свободное пространство на HDD. Понадобится компьютер с объемом винчестера минимум 3 ТБ и специальное ПО. Такой способ майнинга не приносит больших дивидендов, но и не требует высоких затрат.

Процессор обычного ПК в майнинге

Самый известный алгоритм добычи на центральном процессоре Randomchash (монеты Pascal, Wownero). Полный список монет, которые майнятся исключительно на CPU доступен на сервисе Miningpoolstats, в разделе CPU-Various Algo.

Мастерноды

В некоторые экосистемах блокчейн, например, DASH для обеспечения работы системы необходимы мастерноды. Так называются главные узлы сети, наделенные особыми полномочиями. При создании нового блока владельцы мастернод получают вознаграждение наравне с майнерами.

Для запуска мастерноды необходимо:

Приобрести определенное количество монет и заморозить их на локальном кошельке или аппаратном сейфе.

Установить и настроить софт, обеспечивающий функционирование главного узла, на своем ПК или удаленном сервере.

Содержание мастерноды это по большому счету не способ майнинга, а инвестиция в криптовалюту. Вы работаете только с одной монетой и полностью зависите от рентабельности проекта.

Серверное оборудование

Серверный майнинг не является отдельным способом добычи виртуальных монет. На удаленном сервере вы можете арендовать вычислительные мощности или использовать его для запуска мастерноды. Владельцы ASICS-майнеров и GPU-ригов используют удаленные серверы для коллективного майнинга.

Для добычи криптовалют майнерам приходится затрачивать большое количество электроэнергии необходимой для работы специализированных устройств. Вычисления, требуемые для раскрытия блоков транзакций, нагружают видеокарты, процессоры и ASIC-оборудование, приходится не только подсоединить устройства, но и подключать системы охлаждения. Электричество для майнинга имеет большое значение.

Сколько электричества потребляет майнинг ферма в месяц.

Объем потребляемой энергии зависит от хэша, типа подключенной карты и запросы устройства. Крипстариатели, осуществляющие деятельность на территории России, затрачивают около 10% от прибыли для оплаты израсходованной электроэнергии. Снижение потребления возможно путем установки Power Limit или выбором альткоина, не требующего полной загрузки устройства.

Чтобы понять, во сколько пользователю обойдется работа майнером, нужно отталкиваться от наиболее популярного устройства ASIC Antminer T9. Стоимость данного оборудования составляет до 2,5 тысяч долларов. Потребление специализированного гаджета достигает 1700 Вт/час. На бесперебойную работу в течение суток потребуется 40,8 кВт.

Месячные траты составят ту же сумму, умноженную на 30, и стоимость электроэнергии в регионе. При наличии нескольких устройств придется умножить полученные цифры на количество специального оборудования, используемого в ферме.

В домашних условиях добыча криптовалюты с каждым днем становится все менее рентабельной. Чтобы заработать на этом ремесле, приходится регулярно покупать новое оборудование и размещать его на майнинговой ферме. С повышением производительности растет и уровень ответственности, необходимость в качественном охлаждении и поставках электроэнергии.

Чтобы сократить расходы на добычу цифровых монет, нужно искать регионы, в которых предлагаются доступные цены на энергоносители. В России наиболее привлекательные условия сотрудничества в Иркутской области, где тарифы варьируются в пределах 1 рубля за 1 кВт*ч. Стоимость электроэнергии в различных регионах периодически изменяется, майнерам важно отслеживать ситуацию, чтобы процедура добычи криптовалют была максимально рентабельной.

Региональная стоимость электричества.

В России сохраняется сравнительно невысокая цена электроэнергии (в пределах 48 долларов за кВт), а холодный климат позволяет естественным путем сократить расходы на охлаждение фермы. Среднегодовая температура в стране составляет $-3,7^{\circ}\text{C}$. Скорость Интернета - 37 Мбит/сек, но ее достаточно для полноценной добычи цифровых активов. Выделяют несколько наиболее доступных регионов для криптостарателей:

- Иркутск. Выгодный с точки зрения дешевизны электроэнергии регион России. Ее стоимость в пределах 1 рубля, окупаемость здешних ферм является наиболее быстрой. Здесь отсутствуют льготные зоны для добычи криптовалют с алгоритмом PoW, но даже в такой ситуации Иркутск хорошее место для отечественных майнеров.

- Хакасия. Стоимость электроэнергии находится в пределах 2-3 рублей. Но, несмотря на дороговизну по сравнению с предыдущим регионом, здесь деятельность криптостарателей рентабельней, чем в центральной части страны.

- Крым. Жизнь на спорной территории куда приятней, чем в Сибири, но на местные IP-адреса наложен ряд ограничений, которые станут помехой для стабильной работы. Цена на электроэнергию в рамках 2-3 рублей за кВт*ч привлекает майнеров.

Отметим среди других выгодных регионов Ханты-Мансийск, Новосибирск, Красноярск и Ямало-Ненецкий АО, которые помогут добывать цифровые монеты без лишних затрат.

Если вы можете похвастаться компьютером с хорошей видеокартой, то можно начать добывать биткоины прямо сейчас. Однако для того, чтобы увеличить прибыль и заниматься этим профессионально, мы рекомендуем приобрести несколько видеокарт (оптимально от 4 до 6) и собрать собственную ферму для добычи криптовалюты.

За счёт установки нескольких видеоадаптеров вы сможете повысить уровень производительности компьютера, который будет считать намного быстрее т.к. именно видеокарты дают всю вычислительную мощность для майнинга (для большинства алгоритмов).

Ежедневно на добычу главной криптовалюты требуется столько же энергии, сколько потребляют 520 тысяч жителей Канады и все государство Конго. Для существования платежной сети Биткоин необходимо больше ресурсов, чем требует каждая из более 150 стран планеты. Электричеством, используемым майнерами Bitcoin, можно запитать шесть аналогов авианосца «Нимиц».

Годовое потребление сети Биткоин позволит лишь на 19 часов обеспечить жителей США. Для существования главной криптовалюты достаточно 1/5 мощностей одной из тайванских угольных электростанций. ГЭС «Три ущелья», базируемая в Китае, позволяет запитать три платежных системы, подобных Bitcoin. Расходы энергии компании Google в два раза превышают потребности Биткоина. Для поддержки 17 дата-центров американского агентства

национальной безопасности требуется больше ресурсов, чем для экосистемы главной криптовалюты.

Для существования Bitcoin-сети ежегодно требуется 14 тераватт-часов электроэнергии. Атомная электростанция Библис должна работать пять лет, чтобы обеспечить всех желающих получить цифровые монеты главной криптовалюты. Но существует множество других альткоинов, которые также требуют внимания и ресурсов.

Немецкие ученые подсчитали, что при майнинге Bitcoin необходима энергия, соответствующая 7,6 миллионам тонн углекислого газа, выброшенного в атмосферу. Для выделения такого выхлопа можно сесть на автомобиль и проехать 43,6 млрд км.

В России о необходимость правового регулирования криптовалюты заговорили в 2014 году, тогда Центральный Банк РФ опубликовал положение «Об использовании при совершении сделок «виртуальных валют».

впервые криптовалюта упоминалась, как денежный суррогат и совершение сделок с её использованием, рассматривалось как финансирование терроризма.

Проект по внесение изменений в Федеральный закон от 10 июля 2002 года № 86 –ФЗ «О Центральном банке РФ»

включал в себя запрет на выпуск денежных суррогатов, в том числе электронном виде, а также совершение операций с ними, в том числе и использование как средство платежа.

В 2015 году в Государственную Думу был внесен новый законопроект, представляющий собой модель Кодекса об административных правонарушениях:

денежный суррогат - это выпускаемый на территории Российской Федерации объект имущественных прав, в том числе в электронном виде, предназначенный для использования в качестве средства платежа и обмена и непосредственно не предусмотренное в качестве объекта официального средства платежа законодательством РФ.

В 2016 создание межведомственной рабочей группы Государственной Думы, целью создания которой являлось создание единого механизма относительно правовой природы криптовалюты, а также риски и стратегия её использования.

В конце 2016 года Федеральной налоговой службой было выпущено письмо:

криптовалюта признавалась как денежный суррогат, а её использование являлось основанием рассмотрения таких сделок, как сделок направленных на легализацию доходов полученных преступным путем, в том числе как финансирование терроризма

В середине 2017 года Правительство РФ утвердило новую программу, под названием «Цифровая экономика РФ». Главной целью, которой являлось развитие «сквозных технологий», в том числе и блокчейн. Уже в конце 2017 года был издан Приказ №2831 «О создании технического комитета по

стандартизации «Программно-аппаратные средства технологий распределенного реестра и блокчейна».

Создание экспертного совета по цифровой экономике и блокчейн-технологиям - целью функционирования которого являлось обеспечение эффективного развития цифровой экономики.

Совещание по вопросу использования цифровых технологий:

в действующее законодательство были внесены следующие дополнения и изменения: определения статуса цифровых технологий, исходя из обязательности рубля как единственного законного средства платежа в РФ, а также требования относительно организаций осуществляющих производство на принципах криптографии и их регистрацию.

Законопроект « О цифровых финансовых активах»:

легитимное определение криптовалюты, закрепление в качестве имущества.

Проект ФЗ «О системе распределения национального майнинга»:

регулирование процесса использования вычислительных мощностей, принадлежащих физическому лицу, индивидуальному предпринимателю или юридическому лицу для осуществления производства национального цифрового финансового актива, основанного на принципах криптографии в среде распределенных реестров цифровых транзакций.

В 2020 году произошла третья редакция проекта ФЗ законопроект « О цифровых финансовых активах»:

в проект была включена административная и уголовная (штрафная санкция 7 лет лишения свободы) ответственность за противозаконные операции с криптовалютой.

По результатам оценки, было выдвинуто мнение, что запрет оборота криптовалют на территории страны, является невыгодным для экономики России. По словам Министерства юстиций на базе законопроекта невозможно организовать эффективную работу.

Таким образом, криптовалюта в РФ пока не нашла своего должного правового регулирования. Данная тема действительно рассматривается и принятие закона это вопрос времени. Но для того чтобы его принять, для начала необходимо внести изменения в действующее законодательство. В первую очередь необходимо признание криптовалюты в качестве платежного средства, а также определение её статуса и систематизация штрафных санкций за мошеннические операции. На сегодняшний день РФ находится на шаг позади, в реальности насчитывается несколько законопроектов эффективность которых недостаточно показательна, во многом Правительство РФ ожидает того ,когда зарубежные страны наберут достаточный опыт и сформируют свою законодательную базу, на основе которых будет строиться отечественное законодательство.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проект Федерального закона № 373645-7 «О системе распределенного национального майнинга». URL: <http://www.consultant.ru>.

2. Проект Федерального закона № 419090-7 «Об альтернативных способах привлечения инвестиций (краудфандинге)». // URL: <http://www.consultant.ru>.

3. Информационное письмо Банка России от 14.08.2018 № ИН-014-12/54. URL: <http://www.consultant.ru>.

4. Проект № 957581-6 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях // URL: <http://www.consultant.ru>.

5. Информационное сообщение Федеральной службы по финансовому мониторингу от 6 февраля 2014 г. «Об использовании криптовалют». URL: <http://www.consultant.ru>.

6. Информация Банка России от 27.01.2014 «Об использовании при совершении сделок «виртуальных валют», в частности, Биткойн». URL: <http://www.consultant.ru>.

7. Кудряшова Е. В. Правовое регулирование криптовалют: выбор вектора развития // Финансовое право. 2018. № 6.

8. URL: <https://cryptomagic.ru/regulirovanie/kriptovalyuta-v-rossii.html>

УДК 621.391

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЙБУЛЛА ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПАССИВНЫХ ПОМЕХ

Горбенко А.П., Кукушкина Н.В.

Южный федеральный университет, ИРТСУ, г. Таганрог

Рассмотрены вопросы использования распределения Вейбулла для моделирования пассивных помех при обнаружении сигналов в сложной помеховой обстановке. Рассчитаны дифференциальные функции распределения при различных параметрах формы и масштаба. Показано, что распределение Вейбулла удобно использовать при моделировании обнаружителей РТС.

РТС различного назначения как правило функционируют в сложной помеховой обстановке. Широко распространенным типом помех являются отражения от подстилающей поверхности. Причем законы распределения помех достаточно часто зависят от технических характеристик РТС.

Например, длительное время основным направлением развития РЛС было уменьшение элемента разрешения. При этом экспериментальные исследования показали, что закон Релея, с помощью которого описывали однородные отражения сигнала от подстилающей поверхности, дает недостаточно адекватное описание пассивных помех. В этом случае было предложено использовать логарифмически-нормальное распределение и распределение Вейбулла [1, 2].

Необходимо отметить, что разработка практически любой РТС начинается с моделирования алгоритмов ее функционирования. Для радиолокационных систем одними из важнейших являются алгоритмы обнаружения сигналов. При этом чаще всего используются критерии Неймана-

Пирсона и Вальда. Получение оптимальной или квазиоптимальной обработки сигналов требует получение решающих статистик на основе отношения правдоподобия. Конкретный вид их в значительной степени определяется законами распределения помех.

Разработчику удобно использовать один многопараметрический закон распределения, когда меняя значения параметров можно получить однопараметрические законы распределения, с помощью которых возможно адекватное описание помех. В качестве примера рассмотрим использование распределение Вейбулла для решения указанной задачи.

Выражение для плотности распределения Вейбулла имеет вид

$$f(u) = \frac{v}{b^v} u^{v-1} \exp \left[- \left(\frac{u}{b} \right)^v \right],$$

где v – параметр формы;

b – параметр масштаба.

Семейство характеристик распределения Вейбулла, рассчитанное в среде SciLab, представлено на рис. 1.

При этом необходимо отметить, что при значении параметра формы $v = 2$ распределение Вейбулла преобразовывается в закон Релея

$$f(u) = \frac{2}{b^2} u \exp \left[- \left(\frac{u}{b} \right)^2 \right],$$

или, подставляя $\frac{b^2}{2} = \sigma^2$, получим привычную запись этого закона

$$f(u) = \frac{u}{\sigma^2} \exp \left(- \frac{u^2}{2\sigma^2} \right),$$

где σ^2 дисперсия амплитуды отраженного сигнала.

Другой важный случай, когда $v = 1$. Закон Вейбулла преобразовывается в экспоненциальный закон распределения

$$f(u) = \frac{1}{b} \exp \left(- \frac{u}{b} \right).$$

На рис. 1 также рассчитаны функции распределения при значении параметра формы $v = 3$.

Статистическое моделирование является необходимой частью разработки аппаратуры обнаружения сигналов. Все классические критерии обнаружения предполагают возможность проведения анализа в течение продолжительного времени, что редко возможно при выполнении задач в реальном масштабе времени. С другой стороны процесс обнаружения проходит в условиях априорной неопределенности относительно параметров сигналов и помех. При этом алгоритмы обычно разбивают на два класса: спараметрической и непараметрической априорной неопределенностью. Нашли широкое применение адаптивные и инвариантные алгоритмы обнаружения[3]. Однако аналитический сопоставительный анализ их наталкивается на значительную сложность, что также вызывает необходимость проведения статистического моделирования.

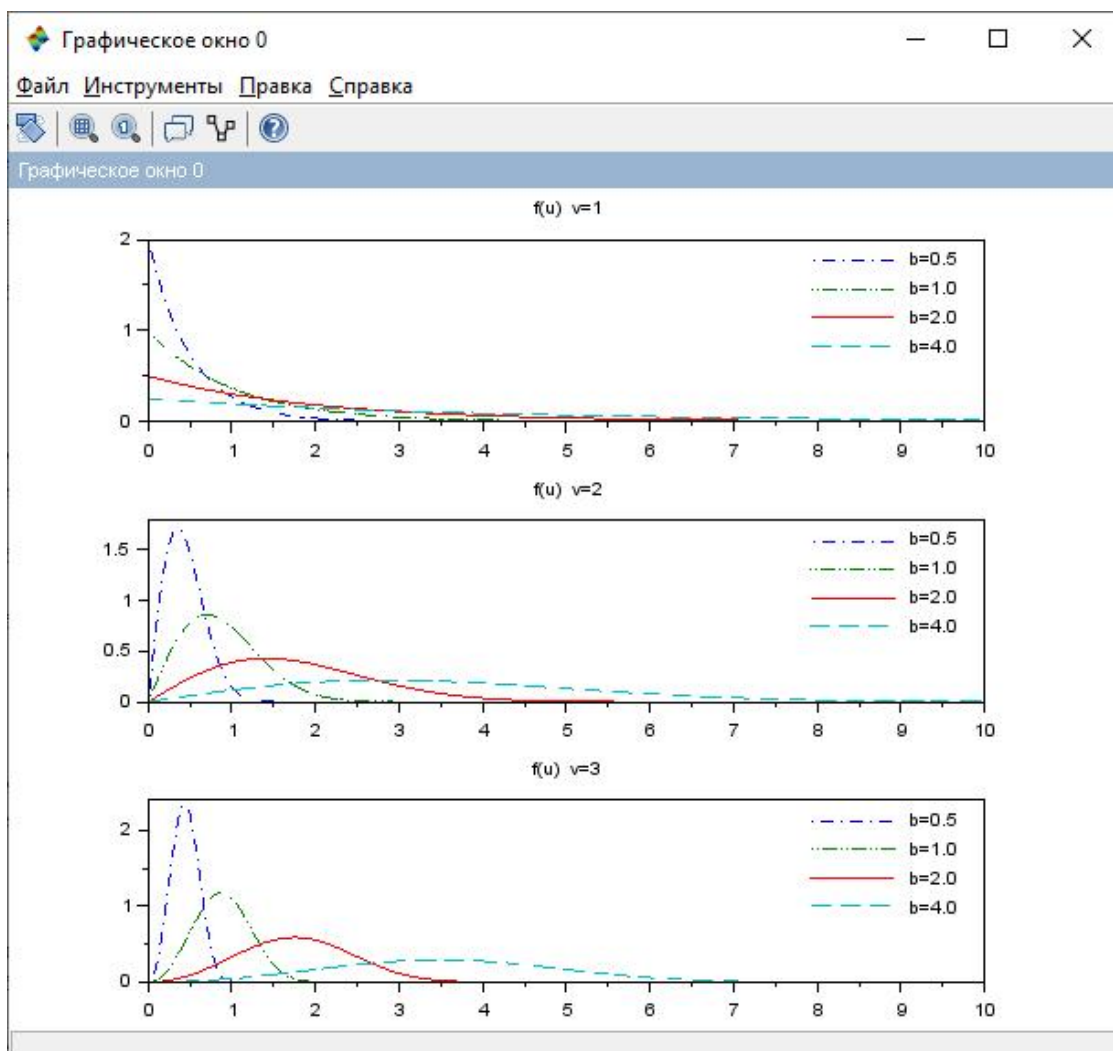


Рис. 1 – Распределение Вейбулла с параметрами:
 $\nu = 1, 2, 3$ и $b = 0.5, 1.0, 2.0, 3.0$

Один из вариантов проведения процедуры статистического моделирования приведен в [4]. Моделировалась процедура обнаружения сигналов в соответствии с критерием Неймана-Пирсона. На основе требуемой вероятности ложной тревоги определялись пороги обнаружения, затем задавался диапазон изменений отношения сигнал/шум и на основе минимально необходимого числа статистических испытаний определялась зависимость вероятности правильного обнаружения от отношения сигнал/шум.

Проведенный анализ показал, что использование распределения Вейбулла удобно для проведения моделирования обнаружителей, работающих на фоне помех, имеющих различные законы плотности вероятностей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бакулев П.А., Степин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.

2. *Горбенко А.П.* Проблема обнаружения сигналов в условиях нестационарных и нерелеевских помех/Сборник научных статей «Проблемы современной системотехники», 2016, вып.Х. – с. 36-38.

3. *Белецкий Ю.С.* Методы и алгоритмы контрастного обнаружения сигналов на фоне помех с априори неизвестными характеристиками.- М.: Радиотехника, 2011. – 436 с.

4. *Горбенко А.П.* Моделирование алгоритма обнаружения сигналов. – Таганрог: Известия ТТИ ЮФУ. Технические науки, 2008, №1.- с. 18, 19.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| Дятлов П.А. УМЕНЬШЕНИЕ АППАРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ФАЗОВОГО ПЕЛЕГАТОРА | 3 |
| Дятлов П.А. АЛГОРИТМЫ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА РАДИООБСТАНОВКИ.... | 6 |
| Дятлов П.А. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПЕРЕДАТЧИКОВ ПОМЕХ.... | 9 |
| Дятлов П.А. ВАРИАНТЫ ПРИКРЫТИЯ ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНЫХ РАЗМЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ..... | 13 |
| Губарев Д.Е., Андрианов А.В., Зикий А.Н., Пустовалов А.И. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЕМНИКА ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ | 15 |
| Надененко В.В., Кваснов А.В., Финогенов М.Е. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ПО НЕПОЛНЫМ РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНЫМ ДАННЫМ, ПОЛУЧЕННЫМ ОТ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ В ВИДЕ ДОПЛЕРОВСКИХ ПОРТРЕТОВ..... | 19 |
| Бондарай А.А., Угланов А.И., Ильченко А.В., Малышкин С.С. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЦЕЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ РАССЕЯНИЯ ЦЕЛИ..... | 23 |
| Ильченко А.В., Угланов А.И., Цилуйко Д.Ю. СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ В S- ДИАПАЗОНЕ..... | 29 |
| Корниенко В.Т., Рябчинский М.А. ВИРТУАЛЬНЫЙ ПРИБОР ГЕНЕРАТОРА РЕЧЕПОДОБНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ПОМЕХИ ТИПА ШАМАН..... | 33 |
| Корниенко В.Т., Звягина О.Н. СТЕНОГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ СКРЫТЫХ СООБЩЕНИЙ В СЕТИ ТРАНКИНГОВОЙ РАДИОСВЯЗИ..... | 37 |
| Корниенко В.Т., Кузьмина О.И. МОДЕЛЬ ЗАЩИЩЕННОГО ПРОТОКОЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ СЕТИ СВЯЗНЫХ РАДИОСТАНЦИЙ..... | 42 |
| Огреничев А.В., Азаров Н.В., Полуянович Н.К. РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ..... | 49 |
| Сандовал Д.Э., Полуянович Н.К. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ В ГОРОДЕ БОГОТА (КОЛУМБИЯ)..... | 56 |
| Гисцов В.Г., Батагов К.А., Волощенко Ю.П. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ АВТОНОМНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С МАЛОМОЩНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ | 62 |
| Рассоха Д.П., Гисцов В.Г. РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ..... | 68 |
| Шавернев А.О., Береснев А.Л. ЗАМЕНА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, КАК СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА..... | 75 |

| | |
|--|-----|
| Рассоха Д.П., Калачев О.В. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИИ | 80 |
| Королихин Н.Н., Полуянович Н.К. МОНИТОРИНГ ВЭЛ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА | 86 |
| Немцов Д.А., Полуянович Н.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ ТБОИ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНТЕЗИРОВАННОГО ТОПЛИВА | 92 |
| Бережная А.В., Васютченко А.И., Дмитриева И.А. ГРАФЕНОВЫЙ АККУМУЛЯТОР | 100 |
| Иванова Н. А., Удовиченко С.Е. Пьянков П А. ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ | 103 |
| Иванова Н. А., Сотрута А. А., Чередниченко В. В. ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОГРУЗОВИКОВ..... | 107 |
| Бунеев О.А., Никонов Н.С., Иванова Н.А. ПЕРСПЕКТИВЫ РЫНКА ЭЛЕКТРОАВТОМОБИЛЕЙ..... | 111 |
| Логунов А.В., Береснев А.Л. ВИБРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ..... | 118 |
| Денисенко Н.С., Береснев А.Л. УПРАВЛЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ПРИВОДОМ ЗАДНИХ КОЛЁС..... | 123 |
| Платонов А. С. , Береснев А.Л. ПОДРУЛИВАНИЕ ЗАДНЕЙ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ С ЦЕЛЮ УЛУЧШЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ. | 129 |
| Быстрицкий А.В., Быстрицкая Е.М, Береснев А.Л. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ СМЕСИ В ЦИЛИНДРЕ ДВС..... | 133 |
| Дмитриева И.А., Иванова Н.А., Милешко Л.П. ВЛИЯНИЕ АВТОТРАНСПОРТА НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ | 139 |
| Теплинский И.Д., Медведев М.Ю. ОПЕРАЦИОННОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ТИПОВЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ НА ПРИМЕРЕ ФУНКЦИИ ХЕВИСАЙДА | 144 |
| Меерович Д. И., Рассоха Д.П. ПРОБЛЕМЫ МАЙНИНГ ФЕРМ В РОССИИ И ИХ ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ..... | 149 |
| Горбенко А.П., Кукушкина Н.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЙБУЛЛА ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПАССИВНЫХ ПОМЕХ..... | 156 |

