



СБОРНИК НАУЧНЫХ
СТАТЕЙ

Выпуск XVI



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 XVI

Таганрог
2022

УДК 681.51(06)

Редакционная коллегия:

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

Коллектив авторов: Проблемы современной системотехники – сборник научных статей. – Таганрог: Изд-ль ИП Ступин С.А, 2022. – 98 с.

ISBN 978-5-9500797-12-3

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 978-5-9500797-12-3

УДК 681.51(06)

© Коллектив авторов, 2022

УДК 621.396.98

ОПЕРАТИВНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ СЛАБЫХ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ГАУССОВОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ПОМЕХИ

Дятлов П.А.
ИРТСУ ЮФУ, каф. РТС

При проведении экспресс-анализа радиобстановки в рамках радиоконтроля излучений космических аппаратов одной из актуальных задач является оперативное обнаружение слабых фазоманипулированных сигналов на фоне гауссовой нестационарной помехи. Необходимость решения сформулированной выше задачи обусловлена тем, что при создании систем спутниковой связи и навигации широкое применение получили космические аппараты с многолучевыми коммутируемыми диаграммами направленности антенн (МКДНА), а при этом радиоконтроль излучений космических аппаратов приходится осуществлять не только по основному, но и по боковым лепесткам МКДНА в различных точках пространства и на различных частотах, что приводит к необходимости учета неравномерности спектральной плотности помехи на входе обнаружителя.

В настоящее время достаточно подробно исследована задача обнаружения фазоманипулированных сигналов с неизвестной формой на фоне гауссовой стационарной помехи [1, 2].

В данной работе исследуется обнаружение слабых фазоманипулированных сигналов с неизвестной формой на фоне гауссовой нестационарной помехи.

Модель радиобстановки при обнаружении может быть представлена процессом $y(t)$, представляющим собой аддитивную смесь

$$y(t) = S(t, l, \vec{\alpha}) + N(t) \text{ при } t_0 \leq t \leq t_0 + T_c;$$

$$S(t, l, \vec{\alpha}) = U_m \Pi(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0); N(t) = \varphi(t) n(t);$$

$$\Pi(t) \in [-1; +1] \text{ при } t_0 + (i-1)T_s \leq t \leq t_0 + iT_s; i \in [1; T_c/T_s],$$

где $S(t, l, \vec{\alpha})$ – бинарный фазоманипулированный сигнал (БФМ) с неизвестной формой; l – информативный параметр сигнала (в данном случае это амплитуда сигнала U_m); $\vec{\alpha} \in [\omega_0, \varphi_0, T_s, \Pi(t)]$ – сопутствующие (априорно неизвестные параметры) сигнала; ω_0 – средняя угловая частота; φ_0 – начальная фаза; $\Pi(t)$ – манипулирующая функция сигнала с неизвестным законом формирования; T_s – длительность элемента; t_0, T_c – момент начала и длительность сеанса обнаружения; $\varphi(t)$ – модулирующая функция помехи с неизвестным законом изменения; $n(t)$ – гауссовая стационарная помеха с

автокорреляционной функцией $R_n(\tau) = \sigma_n^2 \text{sinc}(\pi \Delta f_n \tau) \cos(\omega_n \tau)$; σ_n^2 – дисперсия помехи $n(t)$; ω_n – средняя угловая частота рабочего частотного диапазона радиоконтроля; Δf_n – полоса радиоконтроля; $N(t)$ – нестационарная гауссовая помеха.

Интервалы неопределенности параметров сигналов могут быть представлены следующими соотношениями

$$\omega_0 \in [\omega_n - \pi(\Delta f_n - \Delta f_s); \omega_n + \pi(\Delta f_n - \Delta f_s)];$$

$$\Delta f_n \geq \Delta f_s; \Delta f_s = 2/T_c; T_c = \theta_{0,5}/\dot{\alpha},$$

где Δf_s – ширина спектра сигнала; $\theta_{0,5}$ – ширина диаграммы направленности комплекса РМ; $\dot{\alpha}$ – угловая скорость перемещения исследуемого космического аппарата.

При обнаружении сигналов на фоне гауссовой стационарной помехи $n(t)$ для оценки помехоустойчивости используются статистические характеристики (Д – вероятность правильного обнаружения и α – вероятность ложной тревоги) и энергетические критерии (g – отношение сигнал/помеха по напряжению на выходе обнаружителя и g_n – нормированный порог).

При обнаружении сигналов на фоне гауссовой нестационарной помехи $n(t)$ при условии $\varphi(t) = \text{const}$, когда $t_0 = t = t_0 + T_c$, по аналогии с обнаружением на фоне гауссовой стационарной помехи имеем [3]

$$g = \frac{M[U_y(t)] - M[U_n(t)]}{\sqrt{\Delta M^2(T) + D[U_y(t)]}} \text{ при } T \leq T_c,$$

где T – постоянная интегрирования в обнаружителе; $M[U_y(T)]$, $M[U_n(T)]$ – математическое ожидание эффекта на выходе обнаружителя при воздействии процесса $y(t)$ и помехи $n(t)$; $\Delta M(T)$ – приращение математического ожидания эффекта на выходе обнаружителя, обусловленное нестационарностью помехи за счет априорной неопределенности $\varphi(t)$; $D[U_y(T)]$ – дисперсия эффекта на выходе обнаружителя при воздействии процесса $y(t)$.

Наличие в выходном эффекте обнаружителя $U_y(T)$ априорно неизвестной составляющей $\Delta M(T)$ оказывает существенное влияние как на энергетические, так и статистические характеристики помехоустойчивости, и, как будет показано ниже, требует принятия специальных мер для уменьшения вышеуказанного влияния до допустимого уровня.

При обнаружении БФМ с неизвестной формой на фоне гауссовых как стационарных, так и нестационарных помех, широкое применение получили энергетические обнаружители с ШАРУ или с ограничителем [1, 2].

Структурные схемы энергетических обнаружителей приведены на рис. 1 и 2, где ЛТП – линейный тракт приемника комплекса РМ; ШАРУ – шумовая автоматическая регулировка; КД – квадратичный детектор; \int – интегратор; ПУ

– пороговое устройство; Огр – ограничитель; $U_{пор}$ – пороговое напряжение; H_1 , H_0 – гипотеза о наличии или отсутствии сигнала.

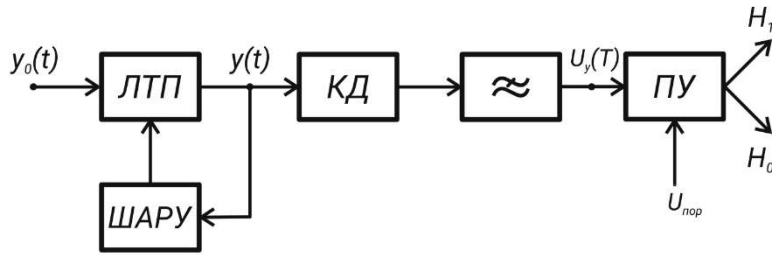


Рис. 1. Энергетический обнаружитель с ШАРУ

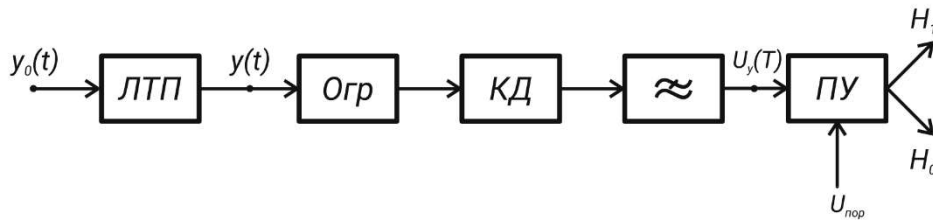


Рис. 2. Энергетический обнаружитель с ограничителем

ШАРУ и ограничитель обеспечивают стабилизацию уровня помехи на входе КД, осуществляя ее стационаризацию. При обнаружении слабых сигналов с БФМ на фоне гауссовой нестационарной помехи при использовании энергетического обнаружителя с ограничителем появляются энергетические потери до 6 дБ, что ограничивает его применение [1].

Энергетические и статистические характеристики энергетического обнаружителя с ШАРУ описываются при $\Delta f_n > \Delta f_s$ следующими соотношениями [1, 2, 3]:

$$P_{c1} = N_n \Delta f_n g_{вх1}^2; g_{вх1}^2 = \frac{U_{мс}^2}{2\sigma_n^2}; g_{вхн1}^2 = \frac{U_{мс}^2}{2\sigma_{н1}^2}; \sigma_{н1}^2 = \sigma_{н1}^2 (1 + K_H^2);$$

$$\sigma_{н1}^2 = N_n \Delta f_n; N_n = kT_0 N_{ш}; kT_0 = 4 \cdot 10^{-21} \text{ ВТ/Гц};$$

$$g_{\text{с1}} = \frac{g_{\text{вх1}}^2 \sqrt{\Delta f_n T}}{\sqrt{K_H^4 \Delta f_n T + (1 + K_H^2)^2 (1 + 2g_{\text{вх1}}^2)}}; g_{\text{по1}} = g_0 - \sqrt{\Delta f_n T}; g_0 = \frac{U_{\text{пор}} \sqrt{\Delta f_n T}}{K_D \sigma_{н1}^2};$$

$$g_{\text{п1}} = \frac{g_0}{1 + K_H^2} - \sqrt{\Delta f_n T}; \alpha_1 = 1 - \Phi[g_{\text{п1}}]; \Delta_1 = \Phi[g_{\text{с1}} - \Delta g_1];$$

$$\Delta g_1 = \frac{\text{arc}\Phi(1 - \alpha_1)}{\sqrt{1 + 2g_{\text{вх1}}^2}}; \Phi(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt,$$

где P_{c1} – реальная чувствительность обнаружителя при несогласованном по спектру приеме ($\Delta f_n > \Delta f_s$); $g_{вх1}$, $g_{вхн1}$ – отношение сигнал/шум по

напряжению на выходе ЛТП при обнаружении сигнала с БФМ на фоне гауссовой стационарной и нестационарной помехи; $N_{ш}$ – коэффициент шума ЛТП; σ_{n1}^2 , σ_{n1}^2 – дисперсия помехи на выходе ЛТП при использовании идеальной и реальной ШАРУ; K_H^2 – коэффициент, учитывающий неидеальность стабилизации помехи на выходе ЛТП; N_n – спектральная плотность помехи на выходе ЛТП; $g_{\text{э}1}$ – отношение сигнал/помеха на выходе энергетического обнаружителя с ШАРУ при $\Delta f_n > \Delta f_s$; $g_{\text{п}01}, g_0$ – нормированный порог при обнаружении сигнала с БФМ на фоне помехи $n(t)$ с учетом и без учета составляющей $M[U_n(T)]$; $g_{\text{п}1}$ – нормированный порог при обнаружении сигнала с БФМ на фоне помехи $N(t)$; K_d – коэффициент пропорциональности с размерностью 1/В; α_1 , D_1 – вероятность ложной тревоги и правильного обнаружения энергетического обнаружителя с ШАРУ при $\Delta f_n > \Delta f_s$; $\Phi(x)$, $\text{arc } \Phi(x)$ – функция и обратная функция Лапласа; Δg_1 – нормированное смещение порога при воздействии на вход обнаружителя смеси $y(t)$.

Неидеальность ШАРУ ограничивает минимально достижимую величину входного отношения сигнал-помеха $g_{\text{вх}11}^2$ независимо от величины времени накопления T

$$g_{\text{вх}11}^2 = g_{\text{э}1} K_H^2.$$

При заданных статистических характеристиках D_1 , α_1 и $K_H^2 = 1/\Delta f_n T_d$, где T_d – постоянная времени ШАРУ, имеем

$$g_{\text{вх}11}^2 = \frac{\text{arc}\Phi(D_1) + \text{arc}\Phi(1-\alpha_1)}{K_H^2}.$$

При $\alpha_1 = 10^{-5}$, $D_1 = 0,97$ и $\Delta f_n T_d = 10^4$ получаем $g_{\text{э}1} = 6,14$; $g_{\text{п}1} = 4,26$, а $g_{\text{вх}11}^2 = 6 \cdot 10^{-4}$.

С целью обеспечения заданных характеристик помехоустойчивости энергетического обнаружителя необходимо постоянную интегрирования T_1 выбирать из соотношения $T_1 = g_{\text{э}1}^2 / g_{\text{вх}1}^2 \Delta f_n$ при $g_{\text{вх}1} \geq g_{\text{вх}11}$ и $T \leq T_c$.

Для увеличения чувствительности обнаружителя необходимо перейти к согласованному по спектру приему, когда $\Delta f_n = \Delta f_s$ и принять меры по уменьшению в выходном эффекте обнаружителя составляющей $\Delta M(T)$.

Обеспечение согласованного по спектру приема сигнала с БФМ достигается при использовании методов параллельного или последовательного анализа, что приводит к увеличению аппаратной сложности энергетического обнаружителя или увеличению сеанса наблюдения за счет поиска.

Энергетические и статистические характеристики одноканального энергетического обнаружителя с ШАРУ описываются при $\Delta f_n = \Delta f_s$ следующими соотношениями:

$$P_{c2} = N_n \Delta f_s g_{\text{вх}2}^2; g_{\text{вх}2}^2 = \frac{U_{\text{мс}}^2}{2\sigma_{n2}^2}; g_{\text{вх}n2}^2 = \frac{U_{\text{мс}}^2}{2\sigma_{n2}^2}; \sigma_{n2}^2 = \sigma_{n1}^2 (1 + K_H^2); \sigma_{n2}^2 = N_n \Delta f_s;$$

$$g_{\text{э}2} = \frac{g_{\text{вх}1}^2 \sqrt{\Delta f_s T}}{\sqrt{K_H^4 \Delta f_s T + (1 + K_H^2)^2 (1 + 2g_{\text{вх}2}^2)}}; g_{\text{по}2} = g_2 \sqrt{\Delta f_s T}; g_2 = \frac{U_{\text{пор}} \sqrt{\Delta f_s T}}{K_d \sigma_{n1}^2 (1 + K_H^2)};$$

$$g_{\text{п}2} = \frac{g_2}{1 + K_H^2} \sqrt{\Delta f_s T}; \Delta g_2 = \frac{\arccos(1 - \alpha_2)}{\sqrt{1 + 2g_{\text{вх}2}^2}};$$

$$\alpha_2 = 1 - \Phi[g_{\text{п}2}]; D_2 = \Phi[g_{\text{э}2} - \Delta g_2],$$

где $P_{\text{с}2}$ – реальная чувствительность обнаружителя при согласованном по спектру приеме ($\Delta f_n = \Delta f_s$); остальные обозначения соответствуют рассмотренному выше случаю энергетического обнаружителя с ШАРУ для несогласованного по спектру приема с заменой индексов на случай согласованного по спектру приема.

При одинаковых значениях параметров D , α , K_H и T для обоих рассматриваемых вариантов обнаружителя в случае согласованного по спектру приема выигрыш в чувствительности составляет $K_b = \Delta f_n / \Delta f_s$.

С целью уменьшения влияния составляющей $\Delta M(T)$ на характеристики помехоустойчивости обнаружения можно использовать вместо энергетического обнаружителя автокорреляционный обнаружитель.

Структура автокорреляционного обнаружителя приведена на рис. 3, где дополнительно к ранее использованным обозначениям имеем: $\frac{1}{\Delta t}$ – линия задержки; \times – перемножитель.

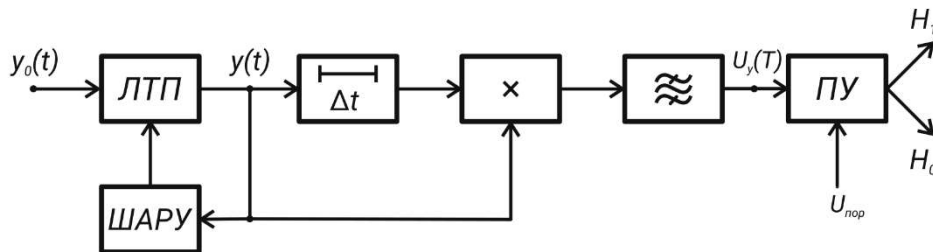


Рис. 3. Автокорреляционный обнаружитель

Отношение сигнал/помеха по напряжению на выходе автокорреляционного обнаружителя g_{A1} может быть представлено следующим соотношением [3]:

$$g_{A1} = \frac{\sqrt{2} g_{\text{вх}1}^2 r_s(\tau) \sqrt{\Delta f_n T} \cos(\omega_p \tau)}{\sqrt{r_n^2(\tau) K_H^4 \Delta f_n T + (1 + r_n^2(\tau) + 2g_{\text{вх}1}^2 (1 + r_s(\tau) r_n(\tau)) (1 + K_H^2))^2}}$$

$$r_s(\tau) = 1 - |\tau|/T_s; r_n(\tau) = \text{sinc}(\pi \Delta f_n \tau),$$

где τ – величина временного сдвига, вносимого линией задержки; $r_s(\tau)$, $r_n(\tau)$ – коэффициент автокорреляции сигнала с БФМС и помехи; ω_p – частота сигнала с БФМС на выходе ЛТП.

При $\Delta f_s/\Delta f_n = 0,1$ и $\tau = 1/\Delta f_n$ имеем $r_s(\tau) = 0,9$; $r_n(\tau) = 0$, и тогда энергетические и статистические характеристики автокорреляционного обнаружителя описываются следующими соотношениями [3, 4]:

$$g_{A2} = \frac{1,25 g_{Bx1}^2 \sqrt{\Delta f_n T} \cos(\omega_p \tau)}{(1+K_H^2) \sqrt{1+2g_{Bx1}^2}}; g_{\text{поз}} = \frac{2U_{\text{пор}} \sqrt{\Delta f_n T}}{K_d \sigma_{n1}^2 (1+K_H^2)}$$

$$\alpha_3 = 1 - \Phi[g_{\text{поз}}]; D_3 = \Phi[g_{A2} - \Delta g_3]; \Delta g_3 = \frac{\text{arc}\Phi(1-\alpha_3)}{\sqrt{1+2g_{Bx1}^2}},$$

где обозначения сходны с обозначениями, использованными для ЭО.

При заданных характеристиках D_3 , α_3 и $K_H \ll 1$ минимально достижимая величина входного отношения сигнал/шум g_{Bx12}^2 определяется следующим образом:

$$g_{Bx12}^2 = \frac{\text{arc}\Phi(D_3) + \text{arc}\Phi(1-\alpha_3)}{1,25 \sqrt{\Delta f_n T_c} \cos(\omega_p \tau)}$$

Из полученного выражения видно, что в случае использования автокорреляционного обнаружителя его чувствительность ограничивается максимально допустимой длительностью сеанса обнаружения T_c при известной частоте сигнала с БФМС (т. е. когда $\omega_p \tau = 2\pi k$).

Поскольку в большинстве ситуаций при проведении радиоконтроля частота сигнала с БФМС неизвестна, то наличие осциллирующего коэффициента $\cos(\omega_p \tau)$ накладывает существенные ограничения на использование автокорреляционного обнаружителя.

С целью устранения влияния на чувствительность обнаружителя осциллирующего множителя $\cos(\omega_p \tau)$ можно использовать автокорреляционный обнаружитель с квадратурной обработкой [3].

Структуры двух вариантов автокорреляционного обнаружителя с квадратурной обработкой приведены на рис. 4 и 5, где дополнительно к вышеиспользованным обозначениям принято, что Φ_{90° – фазовращатель на $\pi/2$; \approx – полосовой фильтр; Кв – квадратор; Σ – сумматор; $\sqrt{\quad}$ – устройство извлечения корня квадратного.

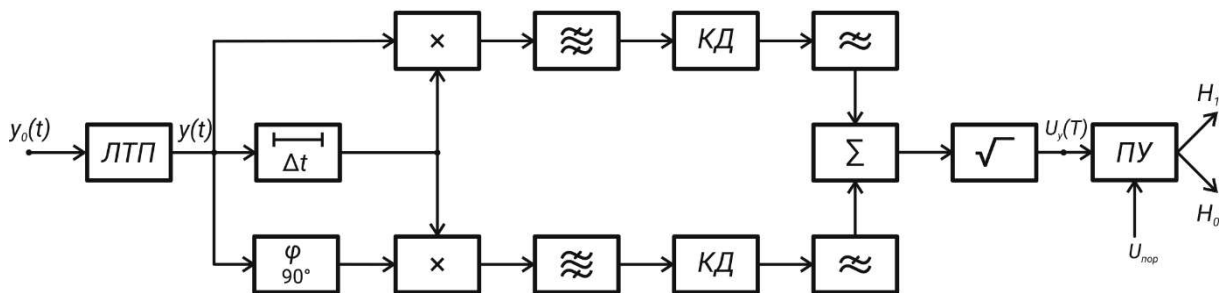
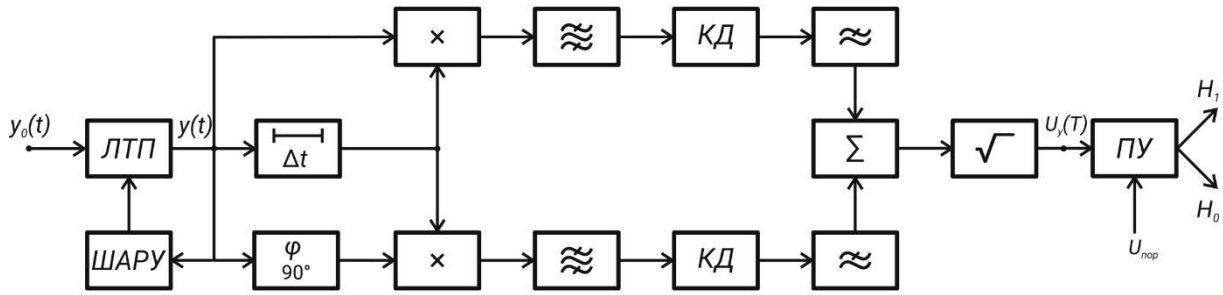


Рис. 4. Автокорреляционный обнаружитель с квадратурной обработкой(1 вариант)



б)

Рис. 5. Автокорреляционный обнаружитель с квадратурной обработкой (2 вариант)

Структура автокорреляционного обнаружителя с квадратурной обработкой с использованием интеграторов в квадратурных каналах (рис. 4) находит применение как для обнаружения, так и оценивания и классификации сигналов с различными видами модуляции [5].

При $\Delta f_n = \Delta f_s$ выходное отношение сигнал/шум по напряжению g_{A3} равно [3, 5]:

$$g_{A3} = \frac{\sqrt{2} g_{\text{вх}2}^2 r_s(\tau) \sqrt{\Delta f_s T}}{\sqrt{2 r_n^2(\tau) K_n^4 \Delta f_s T + (1 + r_n^2(\tau) + 2 g_{\text{вх}2}^2 (1 + r_s(\tau) r_n(\tau)) (1 + K_n^2))^2}} \text{ при } \tau < \tau_{\text{кп}},$$

где $\tau_{\text{кп}}$ – интервал корреляции помехи на выходе ЛТП.

С учетом того, что на выходе устройства извлечения квадратного корня выходной эффект $U_y(T)$ имеет распределение Релея–Райса, то статистические характеристики автокорреляционного обнаружителя с квадратурной обработкой D_4, α_4 описываются следующими соотношениями [3]:

$$\alpha_4 = e^{-\frac{g_{\text{по}4}^2}{2}}; \quad g_{\text{по}4} = \frac{1}{\sqrt{2 \ln \alpha_4}};$$

$$D_4 = \Phi[g_{A3} - \Delta g_3]; \quad \Delta g_3 = \frac{\arcsin(1 - \alpha_4)}{\sqrt{1 + 2 g_{\text{вх}2}^2}},$$

где обозначения сходны с обозначениями, использованными для энергетического обнаружителя.

Поскольку при неидеальности ШАРУ в выходном эффекте $U_y(t)$ имеется составляющая $\Delta M(T)$, то при этом минимально достижимая величина отношения сигнал-помеха на выходе ЛТП при заданных D_4, α_4 и $K_n \ll 1$ равна

$$g_{\text{вх}21}^2 = \frac{\arcsin(D_4) + \frac{1}{\sqrt{2 \ln \alpha_4}}}{r_n(\tau) K_n^2}$$

Величина выигрыша в помехоустойчивости АОКО (рис.4) по сравнению энергетического обнаружителя с ШАРУ (рис.1) при одинаковых значениях α

Д определяется в основном коэффициентом $1/r_n(\tau)$ и составляет порядка 3 дБ при согласованном по спектру приеме [3].

Существенное усложнение аппаратной реализации автокорреляционного обнаружителя с квадратурной обработкой (рис.4) и комплекса радиоконтроля ограничивает область его использования при обнаружении слабых сигналов с БФМС.

Второй вариант автокорреляционного обнаружителя с квадратурной обработкой (рис.5) основан на использовании специфических особенностей автокорреляционной обработки двухпозиционных сигналов с ФМ (БФМ) [6-8].

При воздействии сигнала с БФМС на выходе квадратурных каналов автокорреляционного обнаружителя с квадратурной обработкой имеем [3, 6].

$$U_c(t) = \frac{U_m^2}{2} \cos(\omega_p \tau) \int_0^\infty h_\phi(t - t_1) \Pi(t) \Pi(t - \tau) dt;$$

$$U_s(t) = \frac{U_m^2}{2} \sin \varphi(\omega_p \tau) \int_0^\infty h_\phi(t - t_1) \Pi(t) \Pi(t - \tau) dt;$$

$$h_\phi(t) = \Delta f_\phi \operatorname{sinc}(\pi \Delta f_\phi t) \cos(2\pi f_\phi t),$$

где $U_c(t)$, $U_s(t)$ – квадратурные составляющие на выходе полосового фильтра; $h_\phi(t)$ – импульсная реакция полосового фильтра; $f_\phi, \Delta f_\phi$ – средняя частота и полоса пропускания полосового фильтра.

Как показано в [6] спектральная плотность мощности $G(f, \tau)$ эффекта от перемножения манипулирующих функций $\Pi(t) \Pi(t - \tau)$ при их псевдослучайном характере состоит из дискретных составляющих и непрерывного спектра

$$G(f, \tau) = \left(1 - \frac{\tau}{T_s}\right)^2 \delta f + \left(\frac{\tau}{T_s}\right)^2 \sum_{n \neq 0}^{\infty} \sin \varphi c^2 \left(\frac{\pi n \tau}{T_s}\right) \delta(f + n/T_s) + \frac{\tau^2}{T_s} \sin \varphi c^2(\pi f \tau).$$

С целью исключения влияния на характеристики помехоустойчивости автокорреляционного обнаружителя с квадратурной обработкой составляющей $\Delta M(T)$ целесообразно для обнаружения сигнала с БФМС использовать дискретные составляющие спектра напряжений $U_c(t)$ и $U_s(t)$ на частотах $f = n/T_s$.

При выборе $\tau = T_s/2, f_\phi = 1/T_s$ и $\Delta f_\phi T_s \ll 1$ имеем

$$U_c(t) = \frac{U_m^2}{2\pi} \cos(\omega_p \tau) \cos\left(\frac{2\pi}{T_s} t\right); U_s(t) = \frac{U_m^2}{2\pi} \sin(\omega_p \tau) \cos\left(\frac{2\pi}{T_s} t\right).$$

Наличие квадратурной обработки в автокорреляционном обнаружителе с квадратурной обработкой обеспечивает инвариантность характеристик помехоустойчивости к степени априорной неопределенности о частоте сигнала на выходе ЛТП ω_p .

При использовании в квадратурных каналах автокорреляционного обнаружителя с квадратурной обработкой (рис.5) выполнении условия $\Delta f_{\phi} T \gg 1$ энергетические (g_{A4} , $g_{п3}$) характеристики могут быть определены следующим образом [3, 6]

$$g_{\phi 1}^2 = \frac{P_{ss}}{\sigma_{nn}^2} \text{ при } g_{\text{вх}2}^2 \ll 1; P_{ss} = \frac{K_{\pi}^2 U_m^4}{(2\pi)^2},$$

$$\sigma_{nn}^2 = G_{\text{пн}}(f_{\phi 1}) \Delta f_{\phi} = \frac{K_{\pi}^2 \sigma_n^4}{2\Delta f_s} \left(1 - \frac{f_{\phi}}{\Delta f_s}\right) (1 + K_H^2)^2 \Delta f_{\phi};$$

$$g_{\phi 1} = \frac{2}{\pi} g_{\text{вх}2}^2 \frac{\sqrt{\Delta f_s / \Delta f_{\phi}}}{(1 + K_H^2)} \text{ при } f_{\phi 1} = 1/T_3;$$

$$g_{A4} = \frac{g_{\phi 1}^2 \sqrt{\Delta f_{\phi} T}}{\sqrt{K_H^4 \left(\frac{\Delta f_{\phi}}{\Delta f_s}\right)^2 \Delta f_{\phi} T + (1 + 2g_{\phi 1}^2)(1 + K_H^2)^2}}; g_{п3} = \frac{2U_{\text{пор}} \sqrt{\Delta f_{\phi} T}}{K_{\pi} \sigma_{nn}^2} - \sqrt{\Delta f_{\phi} T};$$

$$\alpha_4 = 1 - \Phi(g_{п3}); D_4 = \Phi[g_{A4} - \text{arc}\Phi(1 - \alpha_4)],$$

Где $g_{\phi 1}$, g_{A4} – отношение сигнал/помеха по напряжению на выходе полосового фильтра и Сум; P_{ss} , σ_{nn}^2 – мощность компонент «сигнал – сигнал» и «помеха – помеха» в эффекте на выходе полосового фильтра; K_{π} – коэффициент пропорциональности с размерностью 1/В; $G_{\text{пн}}(f_{\phi})$ – спектральная плотность по мощности компоненты «помеха – помеха» на частоте $f_{\phi 1}$, остальные обозначения сходны с обозначениями, использованными для энергетического обнаружителя.

При применении ШАРУ в ЛТП и на выходе полосового фильтра минимально достижимая величина входного отношения сигнал/помеха $g_{\text{вх}2}^2$, ограничиваемая нестационарностью помехи $N(t)$, может быть определена из соотношения

$$g_{\text{вх}2}^2 = \sqrt{g_{A4} K_H} \frac{\Delta f_{\phi}}{\Delta f_s}.$$

При заданных $\alpha_4 = 10^{-5}$, $D = 0,97$; $K_H^2 = 10^4$ и $\Delta f_s / \Delta f_{\phi} = 10^3$ имеем

$$g_{\text{вх}2}^2 = \frac{2\Delta f_{\phi} \sqrt{\text{arc}\Phi(D_4) + \text{arc}\Phi(1 - \alpha_4)}}{\pi K_H \Delta f_s} = 1,65 \cdot 10^{-5}.$$

Для обеспечения заданных характеристик помехоустойчивости автокорреляционного обнаружителя (рис. 5) необходимо постоянную интегрирования T_2 выбирать из соотношения

$$T_2 = \frac{2,5 g_{A4}^2 \Delta f_{\phi}}{\Delta f_s^2 g_{\text{вх}2}^8} \text{ при } g_{\text{вх}2}^2 \geq g_{\text{вх}2}^2 \text{ и } T \leq T_c.$$

Наряду с рассмотренным выше автокорреляционного обнаружителя с квадратурной обработкой (рис. 5) для уменьшения влияния нестационарности помехи на характеристики помехоустойчивости можно использовать для обнаружения сигнала с БФМС обнаружитель с нелинейным квадратичным преобразователем, структура которого приведена на рис. 6, где ПСА – параллельный спектроанализатор; РУ – решающее устройство.

Энергетические и статистические характеристики обнаружителя с нелинейным квадратичным преобразователем при использовании ШАРУ вЛТП и в каналах ПСА описываются при $\Delta f_n = \Delta f_s$ следующими соотношениями [6-8]:

$$g_{\phi 2} = \frac{\sqrt{2}g_{\text{вх}2}^2\sqrt{\Delta f_s/\Delta f_\phi}}{\sqrt{1+2g_{\text{вх}2}^2}} \text{ при } f_{\phi 2} = \omega_p/\pi;$$

$$g_{\text{нп}} = \frac{g_{\phi 2}^2\sqrt{\Delta f_\phi T}}{\sqrt{K_n^4\left(\frac{\Delta f_\phi}{\Delta f_s}\right)^2 \Delta f_\phi T + (1+2g_{\phi 2}^2)(1+K_n^2)^2}};$$

$$g_{\text{п}4} = \frac{U_{\text{пор}}\sqrt{\Delta f_\phi T}}{K_n\sigma_{\text{нп}1}^2} - \sqrt{\Delta f_\phi T}; \sigma_{\text{нп}1}^2 = \frac{2K_n^2\sigma_n^4(1+K_n^2)^2\Delta f_\phi}{\Delta f_s};$$

$$\alpha_5 = 1 - \Phi(g_{\text{п}4}); D_5 = \Phi[g_{\text{нп}} - \text{arc}\Phi(1 - \alpha_5)];$$

$$\alpha_6 = n_k\alpha_5; n_k = \Delta f/\Delta f_\phi; \Delta f \geq \Delta f_d,$$

где $g_{\phi 2}$, $g_{\text{нп}}$ – отношение сигнал/помеха по напряжению на выходе одного из каналов ПСА по радио- и видеочастоте; $f_{\phi 2}$, Δf – средняя частота и рабочий диапазон частот в ПСА; α_5 , α_6 – вероятность ложных тревог на выходе одного канала и ПСА в целом; n_k – число каналов в ПСА; Δf_d – диапазон неопределенности средней частоты сигнала с БФМС, остальные обозначения сходны с обозначениями, использованными для энергетического обнаружителя.

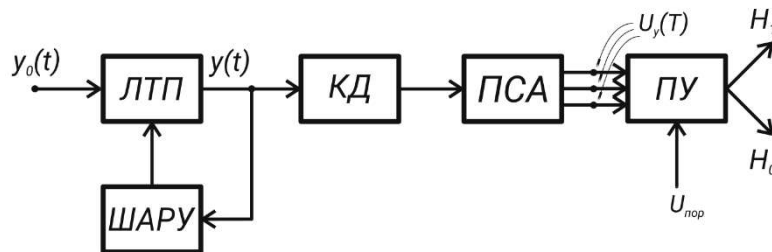


Рис. 6. Обнаружитель с нелинейным квадратичным преобразователем

Минимально достижимая величина входного отношения сигнал-помеха $g_{\text{вх}23}^2$, ограничиваемая нестационарностью помехи, может быть определена из соотношения

$$g_{\text{вх23}}^2 = \sqrt{g_{\text{нп}} K_H} \frac{\Delta f_{\phi}}{\Delta f_s}.$$

При заданных $\alpha_5 = 10^{-6}$, $D = 0,97$; $K_H^2 = 10^4$ и $\Delta f_s / \Delta f_{\phi} = 10^3$ имеем

$$g_{\text{вх23}}^2 = \frac{\Delta f_{\phi} \sqrt{\arccos(D_5) + \arccos(1 - \alpha_5)}}{2K_H \Delta f_s} = 1,25 \cdot 10^{-5}.$$

При этом для обеспечения заданных характеристик помехоустойчивости обнаружителя с нелинейным квадратичным преобразователем (рис. 6) постоянную интегрирования T_3 необходимо выбирать из соотношения

$$T_3 = \frac{g_{\text{нп}}^2 \Delta f_{\phi}}{4 \Delta f_s^2 g_{\text{вх2}}^8} \text{ при } g_{\text{вх2}}^2 \geq g_{\text{вх23}}^2 \text{ и } T \leq T_c.$$

Сравнительный анализ полученных результатов определяет диапазон исходных данных, при которых целесообразно использовать различные типы рассмотренных выше обнаружителей.

Наибольшую чувствительность при приеме сигналов с БФМС на фоне гауссово-нестационарной помехи обеспечивают автокорреляционный обнаружитель с квадратурной обработкой (рис. 5) и обнаружитель с нелинейным квадратичным преобразователем (рис. 6), которые превосходят энергетический обнаружитель с ШАРУ примерно на 15 дБ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пестряков В.Б., Афанасьев В.П., Гурвиц В.П. и др. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации. – М.: Сов. Радио, 1973, с.424.
2. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985, с.384.
3. Дятлов А.П. Обнаружители и измерители параметров сигналов в радиоконтроле. – Таганрог: ТРТИ, 1993, с.85.
4. Гаткин Н.Г., Герамин В.А. и др. Помехоустойчивость типового тракта обнаружения сигналов. – Киев: Техника, 1971, с.252.
5. Дятлов А.П., Дятлов П.А., Кульбикаян Б.Х. Многофункциональное автокорреляционное устройство с квадратурной обработкой информации. – М.: Радиосистемы, в. 62, 2002, с.3-9.
6. Стилкер Дж. Цифровая спутниковая связь. – М.: Связь, 1979, с.592.
7. Журавлев В.И. Поиск и синхронизация в широкополосных системах. – М.: Радио и связь, 1986, с.240.
8. Дятлов А.П., Володин А.В. Радиомониторинг слабых связных фазомодулированных сигналов с кодовым уплотнением. – Воронеж: ВНИИС, Труды VI МНТК "Радиолокация, навигация, связь" (RLNC2001), т.1. 2001.

УДК 621.373

АВТОГЕНЕРАТОР УКВ ДИАПАЗОНА

Зикий А. Н., Кочубей А. С.

ИКТИБ ЮФУ, каф. ИБТКС

Проведено экспериментальное исследование автогенератора УКВ диапазона с варикапной настройкой. Приведены схема и краткое описание конструкции. В качестве результатов эксперимента представлены: зависимость мощности и частоты от управляющего напряжения (модуляционные характеристики); зависимость мощности и частоты от напряжения питания; спектр сигнала в дальней зоне (спектр гармоник).

Достигнуты следующие параметры генератора: диапазон рабочих частот от 140 до 230 МГц; выходная мощность не менее 12 дБм; неравномерность выходной мощности не более 5 дБ; напряжение питания минус 12 В; управляющее напряжение от 0 до 30 В.

Ключевые слова: генератор, управляемый напряжением; диапазон ультракоротких волн; эксперимент; модуляционная характеристика; уровень гармоник.

Введение

Объектом исследования является автогенератор УКВ диапазона с варикапной настройкой. По таким автогенераторам имеется обширная литература, в том числе монографии [1 – 3], учебные пособия [4, 5], статьи [6 – 8], диссертации [9], патенты [10], однако продолжается совершенствование схемных и конструктивно-технологических решений.

Целью работы является исследование основных параметров и характеристик генератора – диапазона рабочих частот, выходной мощности, влияние напряжения питания, побочных спектральных составляющих.

К генератору предъявляются следующие требования:

- диапазон рабочих частот 140 – 230 МГц;
- выходная мощность не менее 10 мВт (10 дБм);
- неравномерность выходной мощности в диапазоне рабочих частот не более 5 дБ;
- напряжение питания минус 12 В;
- управляющее напряжение от 1 до 30 В;
- сопротивление нагрузки 50 Ом;
- число выходов – 2;
- подавление второй гармоники не менее 25 дБ.

Схема и конструкция

За основу взята схема из учебного пособия [5], при этом уменьшена индуктивность в цепи базы, изменена полярность управляющего напряжения, сделано 2 равноценных выхода. Такую схему можно видеть на рисунке 1. Этот генератор представляет собой схему Клаппа с заземлённым коллектором. Используются СВЧ транзистор типа 2Т640А-2, варикап 2В110А.

Конструкцию генератора позволяет представить рисунок 2. Печатная плата из стеклотекстолита размерами 30х40 мм помещена в корпус рамочного

типа. Корпус разделён на два неравных отсека перегородкой. В одном отсеке размером 41x33 мм помещена печатная плата автогенератора, а в другом отсеке находятся помехоподавляющие конденсаторы и низкочастотный соединитель типа РГ1Н на 8 контактов. Высокочастотные вилки использованы типа VI по ГОСТ 20265-83 (ШВР).

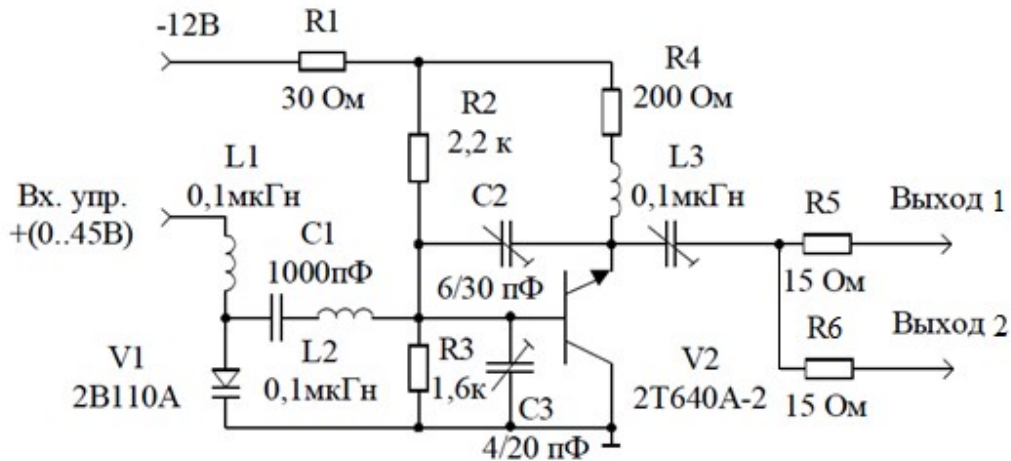


Рисунок 1 – Принципиальная схема автогенератора (только плата)

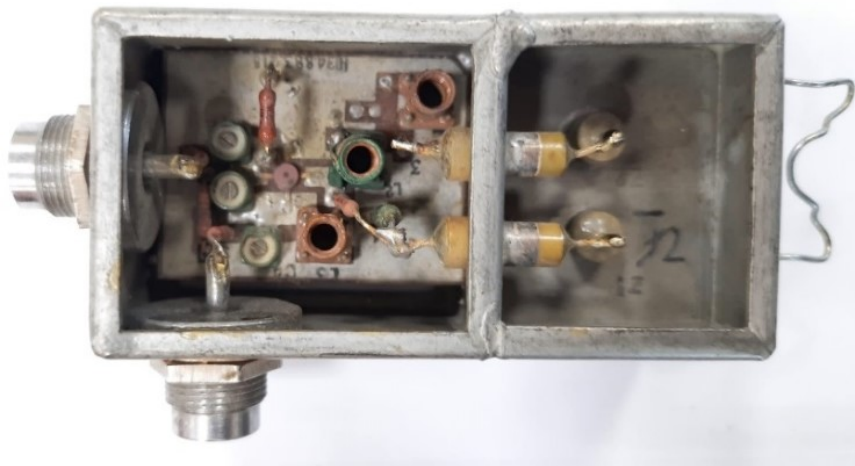


Рисунок 2 – Фото генератора со снятой крышкой

Эксперимент

Эксперимент проводился на установке, структурная схема которой приведена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Структурная схема измерительной установки

В первом эксперименте измерена зависимость мощности и частоты генератора от управляющего напряжения. Результаты измерений занесены в таблицу 1. По данным таблицы 1 построены графики на рисунке 4. Из этих кривых видно, что максимальная девиация составила около 99 – 100 МГц, а неравномерность выходной мощности равна 4,88 дБ.

Во втором эксперименте исследована зависимость мощности и частоты ГУН от напряжения питания при постоянном управляющем напряжении 10 В. Результаты измерений занесены в таблицу 2. По данным таблицы 2 построены графики на рисунке 5. Из этих графиков видно, что автогенератор способен генерировать колебания при значительном изменении напряжения питания от 3 до 12 В. При этом значительны изменения мощности и частоты, а именно: мощность изменяется более 20 дБ, а частота уходит на 6 МГц.

В третьем эксперименте измерен уровень гармоник основной частоты при $U_{пит} = -12$ В; $U_{упр} = 31$ В. Результаты измерений сведены в таблицу 3 (смотрите рисунок 6).

Таблица 1

Модуляционные характеристики ГУН при $U_{пит} = 12$ В

$U_{упр}$, В	$f_{вых}$, МГц	$R_{вых}$, дБм	$U_{упр}$, В	$f_{вых}$, МГц	$R_{вых}$, дБм
0.3	139.92	16.24	17	211.92	14.70
1	143.28	16.43	18	214.8	14.54
2	147.84	16.76	19	217.2	14.37
3	152.16	17.04	20	219.6	14.19
4	157.80	17.08	21	221.76	13.98
5	162.72	17.02	22	223.68	13.72
6	167.04	16.9	23	225.84	13.47
7	172.32	16.73	24	227.76	13.23
8	177.36	16.55	25	229.68	13.06
9	181.68	16.41	26	231.12	12.92
10	186.24	16.24	27	232.56	12.78
11	190.08	16.08	28	234.00	12.66
12	193.92	15.88	29	235.2	12.53
13	197.52	15.64	30	236.4	12.41
14	201.89	15.34	31	237.6	12.2
15	205.2	15.13	31.4	238.08	12.24
16	208.8	14.91			

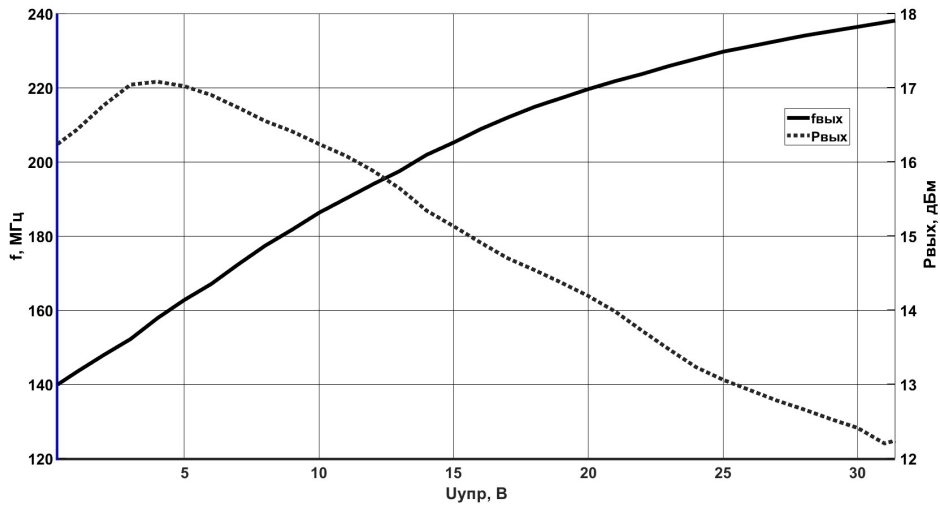


Рисунок 4 – Модуляционные характеристики генератора

Таблица 2

Зависимость мощности и частоты от напряжения питания при $U_{упр} = 10 В$

Uпит, В	f _{вых} , МГц	Р _{вых} , дБм	Uпит, В	f _{вых} , МГц	Р _{вых} , дБм
12	186.5	16.44	7	189	10.96
11	187	15.56	6	189.5	9.06
10	187.5	14.7	5	190.5	6.83
9	188	13.65	4	191	3.65
8	188.5	12.36	3	192.5	-4.23

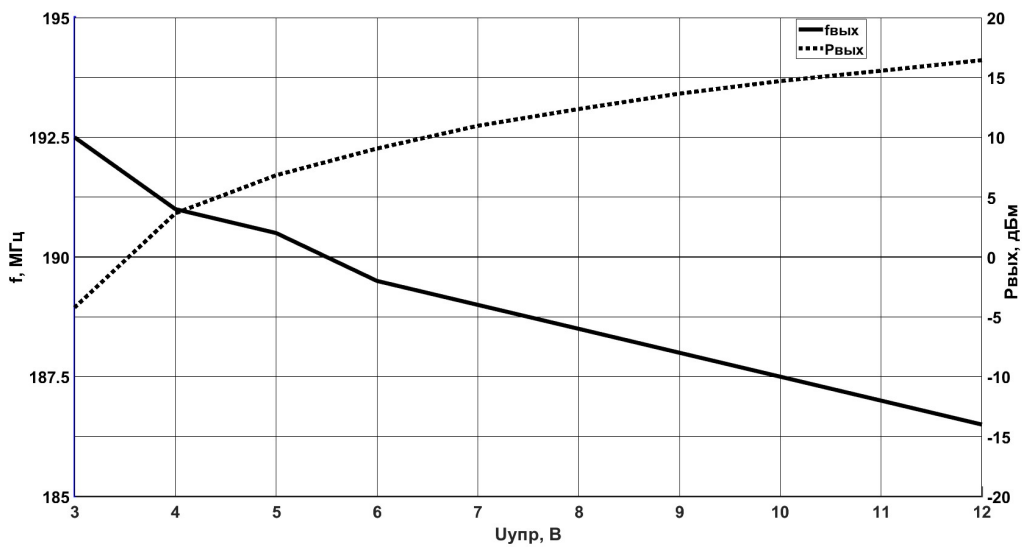


Рисунок 5 – Зависимость частоты и мощности от напряжения питания

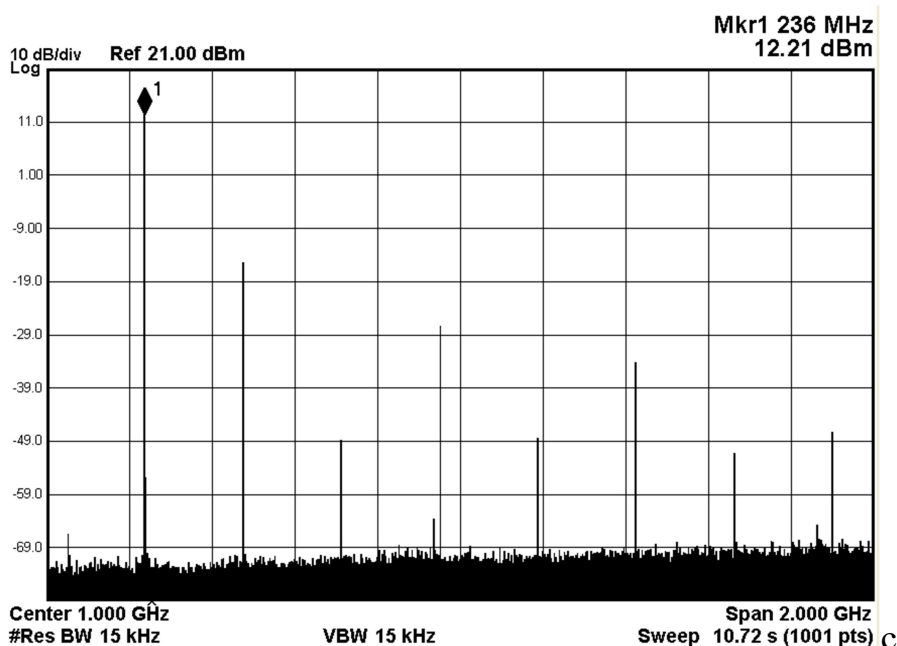


Рисунок 6 – Спектр сигнала при полосе анализа 2000 МГц

Таблица 3

Уровень гармоник

Номер гармоники	Частота, МГц	Мощность, дБм
1	238	12.21
2	476	-15.35
3	714	-49
4	952	-27.39
5	1190	-48.52
6	1428	-34.21

Выводы

Ниже в таблице 4 проводится сравнение заданных и измеренных параметров генератора.

Таблица 4

Основные параметры генератора

Наименование параметра, размерность	Задано	Измерено
Диапазон рабочих частот, МГц	140 – 230	139.92 – 238
Выходная мощность, не менее, дБм	10	12
Неравномерность выходной мощности в диапазоне частот, дБ, при $U_{пит} = -12$ В	5	4.88
Напряжение питания, В	-12	-12
Управляющее напряжение, В	1 – 30	0.3 – 31.4
Сопротивление нагрузки, Ом	50	50
Число выходов	2	2
Ширина спектра сигнала на уровне минус 10 дБ от максимума, кГц	–	1
Подавление второй гармоники, дБ	25	27,66

Из этой таблицы видно, что все требования к генератору обеспечиваются. Генератор рекомендуется использовать в качестве гетеродина приёмников УКВ диапазона, а также в качестве задающего генератора передатчика с частотной модуляцией.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соколинский В.Г., Шейнкман В.Г. Частотные и фазовые модуляторы и манипуляторы. – М.: Радио и связь, 1983. – 192 с.
2. Верещагин Е.М., Волошин А.П., Никитенко Ю.Г. Транзисторно-варакторные генераторы. – Киев, Техника, 1979. – 175 с.
3. Баранов А.В., Кревский М.А. Транзисторные автогенераторы гармонических СВЧ колебаний. – М.: Горячая линия – Телеком, 2021. – 276 с.
4. Белов Л.А. Устройства формирования СВЧ сигналов и их компоненты. Учебное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 320 с.
5. Зикий А.Н., Помазанов А.В. Передатчики помех современным средствам связи. Учебное пособие. Ростов на Дону – Таганрог, Изд-во ЮФУ, 2020. – 176 с.
6. Зикий А.Н., Кочубей А.С. Генератор дециметрового диапазона. Известия ЮФУ, серия технические науки, 2021, № 2, с. 84 – 91.
7. Губарев Д.Е., Зикий А.Н., Кочубей А.С. Генератор с варикапной настройкой и микрополосковым резонатором. Вестник связи, 2022, № 7, с. 4 – 7.
8. Зикий А.Н., Давтян А.Д. Генератор, управляемый напряжением. Фундаментальные и прикладные исследования: инноватика в современном мире. Сборник статей по материалам II международной научно-практической конференции. Уфа, Изд-во «Вестник науки», 2020 г., с. 23 – 29.
9. Горевой А.В. Маломощные источники непрерывных сигналов СВЧ для измерительной техники. Диссертация к.т.н. Томск, ТУСУР, 2017. – 118 с.
10. Патент РФ № 2.727.277 Транзисторный генератор СВЧ с электронной перестройкой частоты. Опубл. 21.07.2020, Бюл. № 21. МПК H03 в 5/18.// Кузнецов Г.А., Кревский М.А., Луньков А.Ф.

ВИРТУАЛЬНЫЙ ПРИБОР LABVIEW ДЛЯ АНАЛИЗА ОШИБОК В ЦИФРОВЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ

Лоншаков Д.А., Корниенко В.Т.

Институт радиотехнических систем и управления ЮФУ, г. Таганрог

Рассмотрен расчет энергетических характеристик цифрового канала связи с КАМ для оценки вероятности ошибки от отношения сигнал/шум, нормированного по различным критериям и представлены результаты анализа КАМ-системы с помощью виртуального прибора LabVIEW.

Для широкополосного канала связи, как аналогового, так и цифрового, обладающего высокой пропускной способностью, искажения сигнала связаны

со снижением отношения сигнал/шум и с искажениями сигнала за счет интермодуляционных искажений и межсимвольной интерференции. Для оценки помехоустойчивости, основывающейся на значении отношения сигнал/шум, в цифровых системах связи используется нормированное значение отношения сигнал/шум, обозначаемое как E_b/N_0 , которое показывает отношение мощности сигнала S за время передачи бита информации к мощности шума в заданной полосе частот F [1-3].

Поскольку время передачи бита и битовая скорость R взаимно обратны, то нормированное значение отношения сигнал/шум имеет следующий вид:

$$E_b / N_0 = S / N \cdot (F / R)$$

При передаче цифровых сообщений для повышения скорости их передачи за один такт передается не один бит информации, а несколько бит. Поэтому для цифровых систем критерий качества должен позволять сравнивать одну систему с другой именно на битовом уровне.

Иногда требуется описывать цифровые сигналы в терминах S/N при передаче символов, переносящих за один такт разное количество бит. Учитывая, что энергия сигнала равна произведению мощности сигнала на длительность $E = ST_0$, где T_0 – время передачи одного символа, а мощность шума равна произведению спектральной плотности мощности белого шума на полосу пропускания $N = N_0F$, то отношение энергии сигнала за длительность символа к спектральной плотности мощности белого шума, что вполне очевидно, будет равно произведению базы сигнала FT_0 на отношение сигнал/шум по мощности (S/N).

При передаче цифрового M -позиционного сигнала, например, с квадратурной амплитудной манипуляцией (QAM) число уровней амплитуд L определяется как корень квадратный из индекса позиционности манипуляции M , а энергия сигнала символа определится как произведение энергии сигнала, переносящего один бит информации, на логарифм по основанию 2 от числа уровней амплитуд L . Тогда, очевидно, мощность, равная отношению энергии символа к его длительности, будет равна произведению энергии бита информации на логарифм по основанию 2 от числа уровней амплитуд L , пронормированному на длительность символа. С учетом того, что мощность шума в заданной полосе частот $F = 1 / (2 T_0)$, определяемой длительностью символа T_0 , равна $N = N_0F$, тогда отношение мощности сигнала для символа к мощности шума определяется выражением:

$$\frac{S}{N} = \frac{E_b}{N_0} \cdot 2 \cdot \log_2 L$$

Если же представить отношение сигнал/шум по мощности и его нормированное значение E_b/N_0 в логарифмическом виде, то выражение примет вид:

$$S/N = E_b / N_0 + 10 \lg (2 \cdot \log_2 L) = E_b / N_0 + 10 \lg (\log_2 M)$$

Выражение под знаком десятичного логарифма, называемое коэффициентом маппинга, показывает, сколько бит передается одним символом.

Таким образом, при необходимости всегда можно пересчитать отношение сигнал/шум (S/N) к его нормированному отношению (E_b/N_0), в зависимости от того, по какому критерию проводится нормирование: толи по битовой скорости, толи по базе сигнала, толи по коэффициенту маппинга.

Вероятность ошибки при приеме цифровых сигналов является важным параметром системы связи, и имеет ряд трактовок, среди которых есть вероятность битовой ошибки (BER – Bit Error Probability) и уровень возникновения битовой ошибки (BER – Bit Error Rate). Данные трактовки несколько различны, поскольку первая из них характеризует аналитическое решение, а вторая характеризует физическую величину, регистрируемую измерительными приборами. В общем случае источником возникновения ошибок является аддитивный белый гауссовский шум и выражения, достаточно полно описывающие вероятность ошибки P_b , достаточно громоздки, но в ряде случаев можно пользоваться приближенными выражениями. В основе выражений для вероятности ошибки фигурирует интеграл вероятностей $erf(x)$. Например, для гауссова канала связи при приеме на согласованный фильтр вероятность битовой ошибки для QAM модуляции, может быть приближенно оценена в виде:

$$P_b \approx \frac{2(1-L^{-1})}{\log_2 L} \cdot erf \left(\sqrt{\left(\frac{3 \log_2 L}{L^2 - 1} \right) \frac{2E_b}{N_0}} \right),$$

где $erf(x) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du$.

Для экспериментальной оценки характеристик многопозиционной КАМ был создан виртуальный прибор LabVIEW модулятора/демодулятора с использованием библиотечных модулей библиотеки Modulation Toolkit, лицевая панель которого представлена на рис. 1. При построении этого прибора [4] учитывались выбор позиционности КАМ-сигнала, частота следования информационных символов, параметры несущей, параметры фильтра, смещение по частоте и уровень энергии на бит к спектральной плотности мощности шума. Диаграммная панель виртуального прибора представлена на рис. 2. Сигнальное созвездие на лицевой панели виртуального прибора отображает как состояния системы, так и переходы между ними. При увеличении смещения по частоте без изменения уровня сигнала происходит срыв слежения за частотой, что приводит к вращению сигнального созвездия, как показано на рис. 3.

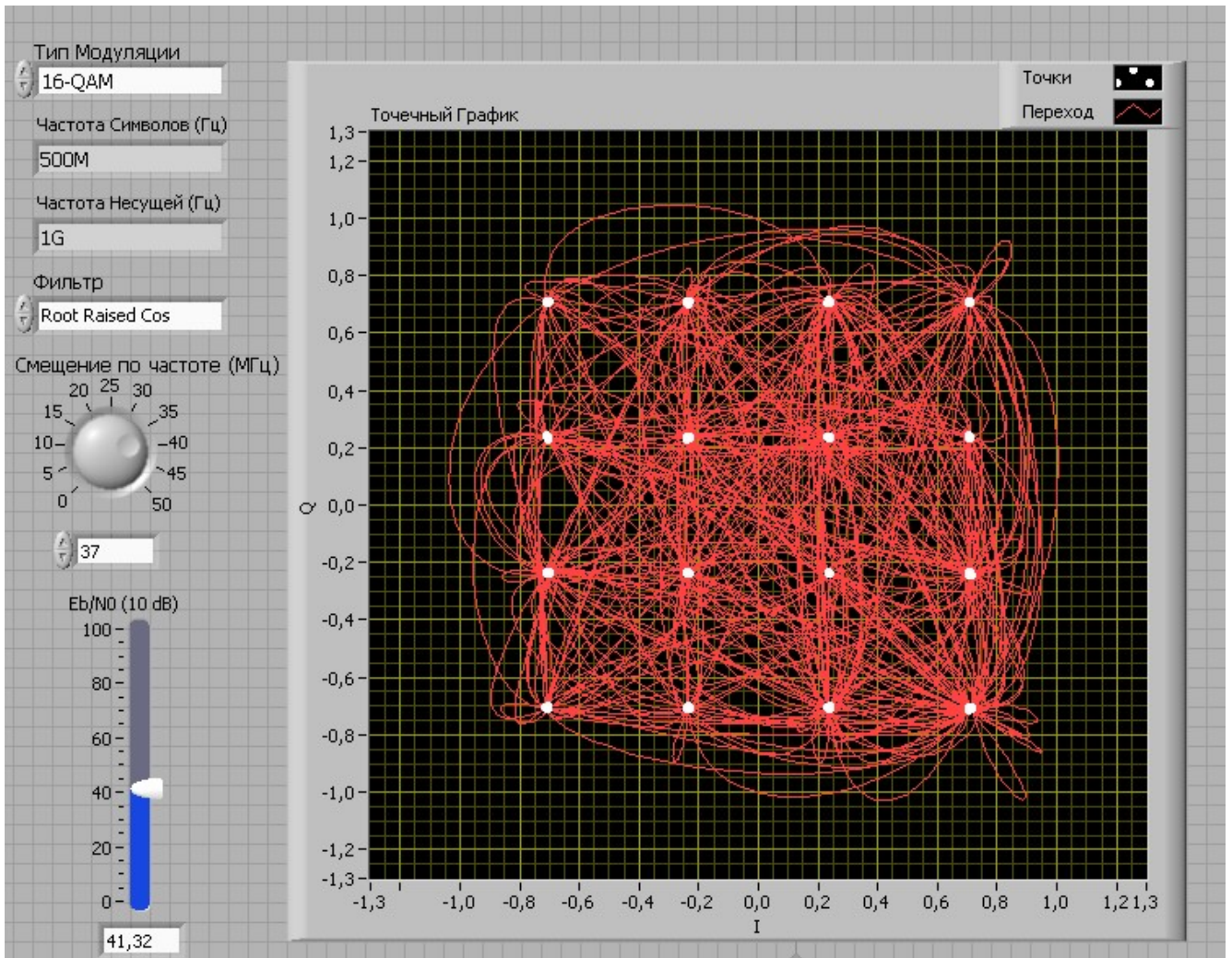


Рисунок 1 – Лицевая панель виртуального прибора для исследования характеристик многопозиционной системы КАМ

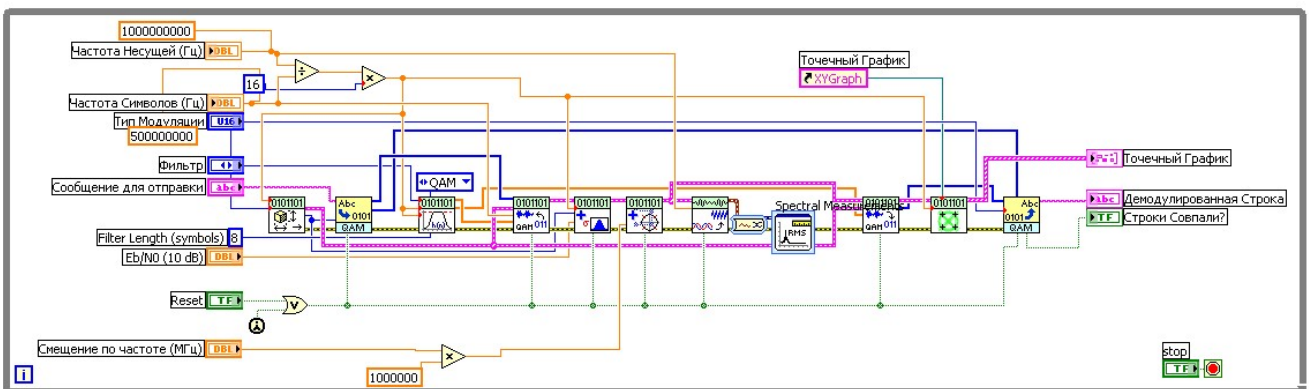


Рисунок 2 – Диаграммная панель для исследования характеристик многопозиционной системы КАМ

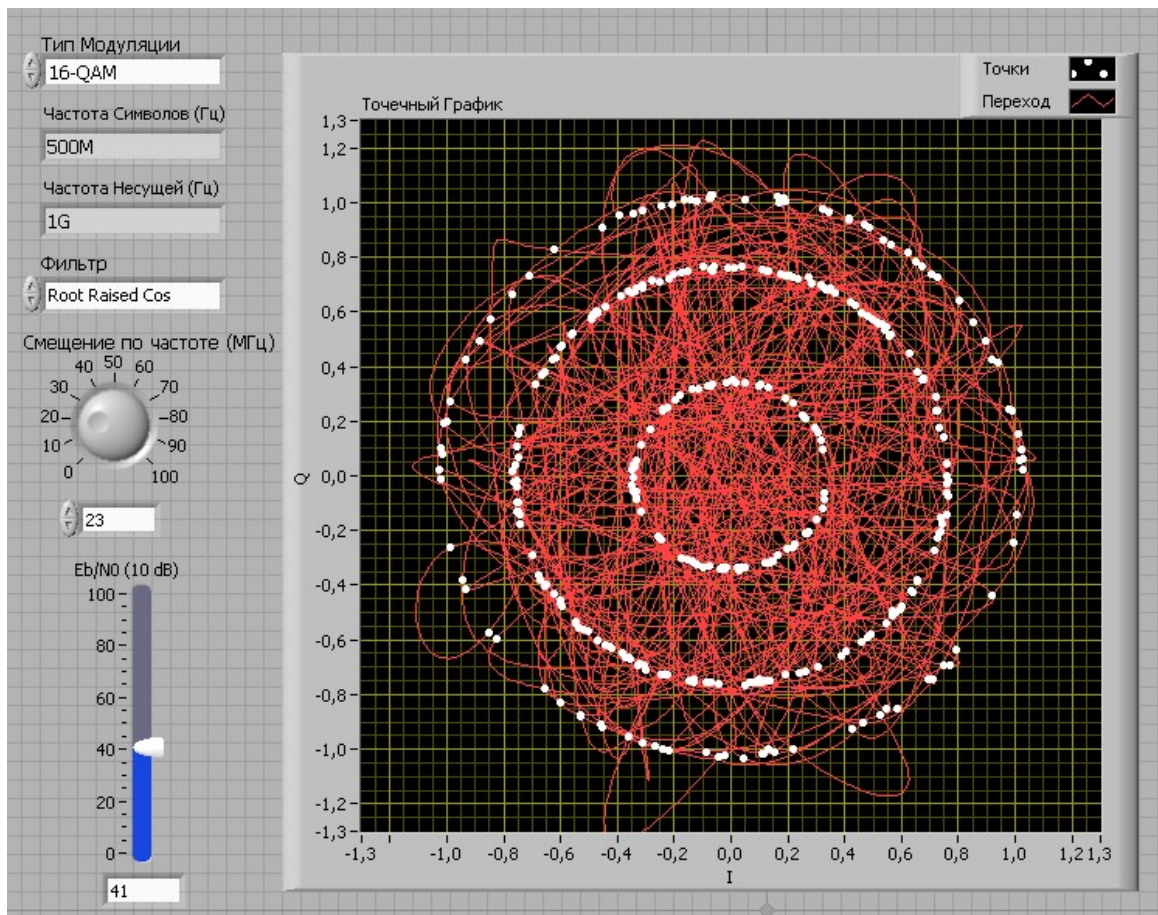


Рисунок 3 – Лицевая панель виртуального прибора для исследования характеристик многопозиционной системы КАМ при срыве слежения за частотой несущей

При отключенном фильтре основной полосы, как показано на рис. 4, можно проанализировать срыв слежения при медленном уменьшении отношение сигнал/шум, когда восстановленные символы начинают дрожать. При дрожании сигнального созвездия, когда система ФАПЧ почти захватила частоту несущей, символы расположены близко к их идеальным местам, но каждый символ последовательно сдвинут по кругу. В этом особом случае ФАПЧ полностью захватывает фазу и частоту несущей на последующих итерациях. При изменении частотной расстройки или уровня шума происходит срыв слежения, как показано на рис. 5.

Для анализа помехоустойчивости квадратурной амплитудной манипуляции воспользуемся расчетом вероятности битовой ошибки. Фрагмент лицевой панели виртуального прибора с графиком зависимости вероятности ошибки на бит от отношения энергии на бит к спектральной плотности мощности шума будет иметь вид, представленный на рис. 6.

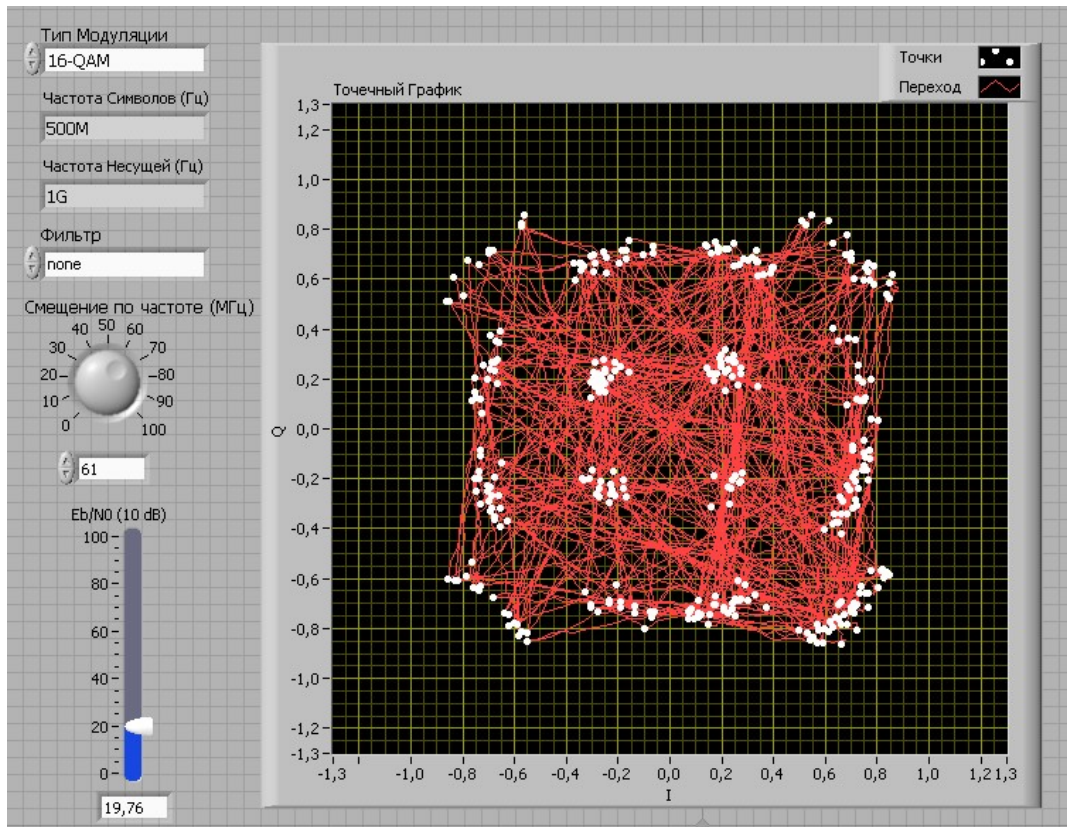


Рисунок 4 – Лицевая панель для исследования характеристик многопозиционной системы КАМ при дрожании точек сигнального созвездия

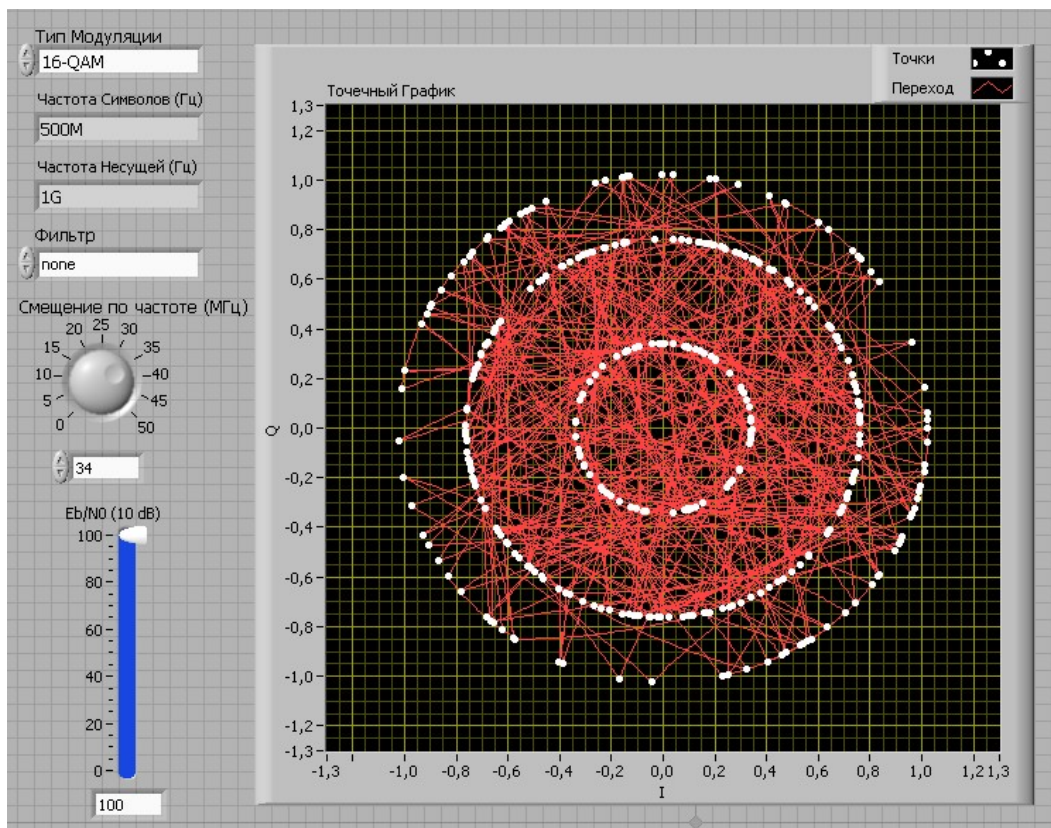


Рисунок 5 – Лицевая панель для исследования характеристик многопозиционной системы КАМ при отключенном фильтре основной полосы в режиме срыва слежения за частотой несущей

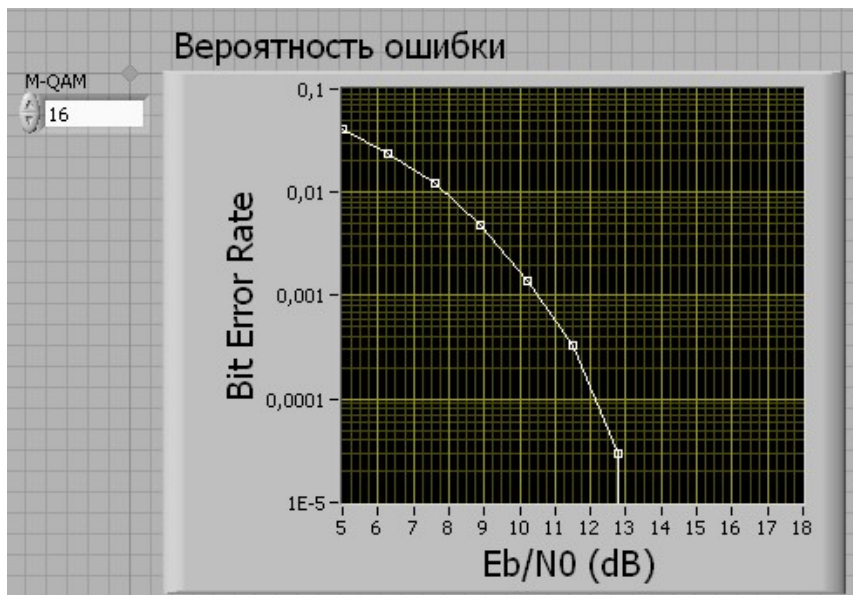


Рисунок 6 – Фрагмент лицевой панели виртуального прибора с графиком зависимости вероятности ошибки на бит от отношения энергии на бит к спектральной плотности мощности шума многопозиционной системы КАМ

Таким образом, используя приведенные соотношения для пересчета отношение сигнал/шум (S/N) к его нормированному отношению (E_b/N_0), в зависимости от критерия нормирования: по битовой скорости, по базе сигнала, по коэффициенту маппинга, можно используя созданный виртуальный прибор LabVIEW проводить оценку вероятности ошибок на бит в гауссовом канале связи при различных параметрах КАМ-системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сергиенко А. Б. Цифровая связь: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2012.
2. Артеменко А.А., Мальцев А.А., Рубцов А.Е. Влияние неточности оценивания несущей на вероятностность битовых ошибок в М-КАМ системах передачи данных. // Вестник Нижегородского университета им. Н.И.Лобачевского. 2007, №2, с.81-87.
3. Песков С.Н., Ищенко А.Е. Расчет вероятности ошибки в цифровых каналах связи // Теория и практика. Проекты. М.: Телеспутник, Ноябрь, 2010, с.70-75.
4. Корниенко В.Т., Горбенко А.П., Клименко П.П. Основы модуляции/демодуляции цифровым сигналом в проектах LabVIEW. Учебно-методическое пособие, Изд-во ЮФУ, Таганрог, 2015.

621.3, 004.052, 519.718

МЕТОДЫ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Мальков Д.С. Мальков С.Б.
ИРТСУ ЮФУ, г. Таганрог

Рассмотрены проблемы анализа надежности сложных робототехнических систем. Проведены сравнительный анализ существующих методов, оценка их возможностей. Проанализированы достоинства и недостатки каждого метода в отдельности. Подчеркнута роль аналитических методов для исследования надежности сложных робототехнических систем.

Теория надежности является самостоятельным научным направлением теоретической и прикладной теории, которая способствует созданию надежных и безопасных систем и проведению измерения отдельных показателей качества таких, как функциональность, надежность, безопасность и др.

Методы надежности позволяют прогнозировать, измерять и оценивать качество, ошибки, дефекты и интенсивность отказов в компонентах робототехнических систем, сводя их к минимуму. Также надежность робототехнических систем зависит от числа оставшихся и не устраненных ошибок. Чем интенсивнее проводится эксплуатация, тем интенсивнее выявляются ошибки и быстрее растет надежность системы.

Надежность – это сложное понятие, которое в зависимости от назначения и условий применения включает такие показатели, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохранность, исправность, работоспособность, восстанавливаемость и прочие.

Выбор конкретного метода для проведения исследований надежности зависит от того, на какой стадии жизненного цикла находится робототехническая система, то есть на этапе постановки задачи, проектирования, разработки или эксплуатации и технического обслуживания. Также, методы оценки надежности могут быть использованы для сопоставления результатов анализа с установленными требованиями.

Для получения достоверных результатов в процессе исследования должны быть рассмотрены все возможные воздействия на надежность робототехнической системы как со стороны аппаратных средств, программного обеспечения, так и со стороны человеческого фактора и организационных действий.

Существуют следующие аналитические методы, применяющиеся для оценки показателей надежности сложных робототехнических систем. К ним относятся методы теории случайных процессов, теории экспертных оценок (эвристического прогнозирования), декомпозиции (эквивалентирования), логико-вероятностные, асимптотические, аналитико-статистические методы. Чаще всего на практике используют методы имитационного и статистического моделирования (метод Монте-Карло) [1].

В основе аналитических методов расчета показателей надежности лежит теория случайных процессов. Расчет надежности сложных робототехнических систем зачастую основывается на том, что время безотказной работы и время восстановления элементов имеют экспоненциальные распределения вероятностей. Процессы, протекающие в системах с экспоненциальным распределением интервалов времени, являются марковскими [2]., т.е. при которых вероятность перехода системы в новое состояние зависит только от состояния системы в настоящий момент и не зависит от того, когда и каким образом система перешла в это состояние. При экспоненциальном распределении случайного времени пребывания системы в каждом из возможных состояний марковский процесс является однородным (интенсивности переходов между состояниями не зависят от времени). Однородные марковские процессы с конечным числом состояний и непрерывным временем являются основным математическим аппаратом исследования надежности сложных систем с восстановлением. Это объясняется тем, что именно они позволяют получать аналитические выражения или конструктивные вычислительные схемы для расчета различных показателей надежности. Кроме того, в подавляющем большинстве случаев исходными данными для элементов являются либо константные интенсивности отказов, либо средние наработки до отказа.

Построение марковских моделей надежности происходит следующим образом. На основе информации о структуре и принципах функционирования исследуемой системы определяется множество ее возможных состояний, которое разделяется на два подмножества: работоспособных состояний и состояний отказа. Строится граф переходов, вершинами которого являются состояния системы, а ребрами - возможные переходы между состояниями. Интенсивности переходов определяются характеристиками безотказности и ремонтпригодности элементов системы. По графу переходов составляется система уравнений, решение которой позволяет получить требуемые показатели надежности. Оценка параметров надежности робототехнических систем с использованием графов позволяет учитывать любые факторы, влияющие на систему. Недостатком описания системы графом состояний - является сложность ввода данных, методов определения характеристик надежности для систем с большим количеством состояний.

Процессы, протекающие в системах с произвольными распределениями интервалов времени (Эрланга, нормальное), являются полумарковскими, т.е. при которых вероятность перехода системы из одного состояния в другое зависит от времени, проведенного в первом состоянии. Возможности применения методов, основанных на полумарковских процессах, ограничены (позволяют определять лишь стационарные значения показателей надежности), поскольку в общем виде на их основе не удастся разработать математическую модель восстанавливаемой технической системы с учетом структурной избыточности и любой дисциплины ремонта.

Многомерные марковские процессы описывают функционирование робототехнических систем при произвольных распределениях времен

безотказной работы и восстановления элементов с учетом структурной и временной избыточности, с учетом контроля технических средств, с учетом нескольких видов отказов. Расчет показателей надежности методом многомерных марковских процессов осуществляется с помощью статистического моделирования, требующего огромных затрат времени и памяти ЭВМ.

Метод теории случайных процессов применяются для оценки надежности различных робототехнических систем. Надежность робототехнических систем зависит от множества факторов, большинство из которых являются случайными. Модели, основанные на математическом аппарате случайных событий и марковских, полумарковских случайных процессов, позволяют учесть влияние на надежность электроснабжения, ограничений и степени независимости источников питания, согласованности работы защит и автоматики, уровня контроля за состоянием основных элементов систем электроснабжения.

Также для оценки надежности сложных робототехнических систем с малым числом состояний могут использоваться асимптотические методы. Установлена асимптотическая независимость показателей надежности от исходных распределений. Распределение длительности безотказной работы резервированных систем в условиях «быстрого» восстановления асимптотически экспоненциально. Недостатком асимптотических методов, ограничивающим их применение, является локальность получаемых решений. Они позволяют найти решения задачи лишь в небольших пределах изменения параметров системы. На практике же часто нужно выйти за эти пределы. Асимптотические приближенные способы расчета показателей надежности робототехнических систем применяются для решения проектных и эксплуатационных задач, для исследования моделей резервирования и массового обслуживания.

Для анализа надежности робототехнических систем с не экспоненциальными распределениями применяются следующие методы: логико-вероятностные, дифференциальный метод разложения на фазы, метод Кендалла, метод аппроксимации интенсивностей, графовые методы, метод экспертной оценки (укрупнения состояний), эвристические, декомпозиции (эквивалентирования), аналитико-статистические методы и метод диффузионных процессов.

Логико-вероятностные методы анализа надежности сложных робототехнических систем используют математический аппарат бинарной алгебры логики и теорию вероятности. Методы теории массового обслуживания, к которым относятся дифференциальный метод разложения на фазы и метод Кендалла, позволяют сводить немарковскую модель к марковской. Данные методы позволяют использовать лишь распределения Эрланга и приводят к значительному увеличению числа состояний, поэтому могут использоваться для расчета стационарных характеристик надежности и вероятности безотказной работы для систем кратковременного действия [3]. Логико-вероятностный метод расчета надежности с использованием дерева

отказов применяется, когда число различных отказов системы относительно невелико. Этот метод широко распространился при исследованиях надежности технологических систем АЭС, включая схемы надежного питания установок собственных нужд[4].

Методы ступенчатой аппроксимации интенсивностей отказов и восстановлений элементов применяются для оценки надежности систем, имеющих незначительное число состояний и медленно изменяющиеся интенсивности (например, телекоммуникационных систем и сетей).

Для прогнозирования надежности робототехнических систем применяют методы эвристического прогнозирования или экспертной оценки. Методы эвристического прогнозирования основаны на статистической обработке независимых оценок значений ожидаемых показателей надежности разрабатываемого объекта (индивидуальных прогнозов), даваемых группой квалифицированных специалистов (экспертов) на основе предоставленной им информации об объекте, условиях его эксплуатации, планируемой технологии изготовления и других данных, имеющихся в момент проведения оценки. Опрос экспертов и статистическую обработку индивидуальных прогнозов показателей надежности проводят общепринятыми при экспертной оценке любых показателей качества методами (например, методом Дельфи).

Сущность эвристического метода оценки надежности восстанавливаемых систем заключается в объединении групп элементов этой системы в один эквивалентный элемент, который характеризуется альтернирующим процессом восстановления. Тем самым происходит уменьшение числа элементов в системе. Метод не позволяет установить погрешность вычислений и применяется исключительно для случая высоконадежных элементов и систем (например, для построения высоконадежных систем постоянного тока для объектов энергетики).

Метод декомпозиции (эквивалентирования) сложных робототехнических систем основан на построении математических моделей, позволяющих получать достаточно точные верхнюю и нижнюю границы оцениваемого показателя надежности. Метод эквивалентирования последовательных и дублированных цепей получил широкое распространение для расчета надежности робототехнических систем с большим числом элементов при параллельном и последовательном их соединении.

Метод статистического моделирования (или метод Монте-Карло) применяется для исследования поведения вероятностных систем в условиях, когда неизвестны в полной мере внутренние взаимодействия в этих системах. Этот метод заключается в воспроизведении исследуемого физического процесса при помощи вероятностной математической модели и вычислении характеристик этого процесса. Одно такое воспроизведение функционирования системы называют реализацией или испытанием. После каждого испытания регистрируют совокупность параметров, характеризующих случайный исход реализации.

Метод основан на многократных испытаниях построенной модели с последующей статистической обработкой полученных данных с целью

определения числовых характеристик рассматриваемого процесса в виде статистических оценок его параметров. Процесс моделирования функционирования технической системы сводится к машинной имитации изучаемого процесса, который копируется на ЭВМ со всеми сопровождающими его случайностями. Метод статистического моделирования является наиболее эффективным, а в ряде случаев - единственно возможным для оценки показателей надежности уникальных или малосерийных изделий. Статическая оценка законов распределения отказов применяется для различного оборудования электрических сетей, в том числе для воздушных и кабельных линий.

Методы имитационного моделирования в целом являются универсальными и допускают рассмотрение робототехнических систем с большим количеством элементов. Однако их использование в качестве метода исследования задач надежности целесообразно лишь тогда, когда трудно или невозможно получить аналитическое решение. Основными этапами такого исследования являются: построение формальной модели, разработка программ имитации траекторий модели, проведение имитационных экспериментов.

При анализе высоконадежных систем с помощью имитационной модели возникают проблемы, связанные с очень большими затратами машинного времени, необходимого для вычислений с требуемой точностью. С увеличением надежности элементов эффективность моделирования уменьшается, и оно становится практически не реализуемым. Методы статистического и имитационного моделирования не позволяют в полном объеме определять надежность робототехнических системы, если учесть большое количество сопутствующих факторов, влияющих на ее функционирование.

В теории надежности больших робототехнических систем актуальной задачей является разработка математического аппарата для расчета, анализа и прогнозирования надежности функционирования, позволяющих анализировать робототехнические системы, описываемые уравнениями больших размерностей. При разработке математической модели робототехнической системы с большим числом состояний сталкиваются со следующими препятствиями, существенно затрудняющими анализ ее надежности: неоднозначность понятия отказа системы, взаимовлияние отказов элементов и частей системы, неопределенность исходных данных, многокритериальность, восстанавливаемость.

Для оценки показателей надежности сложных робототехнических систем с большим числом состояний используются методы имитационного моделирования, асимптотического анализа, случайных процессов и связанных с ними интегродифференциальных уравнений. В теории надежности предполагается, что технические системы и их компоненты могут пребывать в двух возможных состояниях: работоспособном и отказовом. При этом отказы элементов независимы, и система попадает в состояние отказа при отказе определенного числа элементов. Для сложных систем эти допущения часто бывают неприемлемыми

. Между характеристиками отдельных частей системы имеется тесная взаимосвязь, и отказы отдельных частей системы являются зависимыми событиями.

Сложная робототехническая система является, как правило, многофункциональной. При этом количество выполняемых системой функций может достигать нескольких десятков. В реализации одной функции может участвовать большое число компонентов. Один и тот же компонент может быть задействован в выполнении нескольких функций. Поэтому компоненты, образующие систему, имеют различную длительность эксплуатации. При изучении надежности систем, выполняющих несколько функций, как правило, применяется функциональный подход, при котором описание надежности производится по каждой функции в отдельности, поэтому надежность робототехнической системы характеризуется вектором показателей надежности всех ее функций. Таким образом, сравнительная оценка различных систем одного и того же назначения часто является затруднительной. Сложные робототехнические системы должны длительное время работать безотказно. Это требование диктуется необходимостью обеспечения высокой их эффективности, безопасности, живучести, готовности и других показателей качества. Сложные системы состоят из десятков и сотен тысяч элементов, а время их работы исчисляется тысячами часов. Надежность элементов непрерывно увеличивается. Появление материалов высокой прочности, защищенных от коррозии, твердых схем, не требующих большой энергии для их питания, существенно уменьшило интенсивность отказов элементов. Однако сложность робототехнических систем и требования к показателям их надежности растут с такой же скоростью, как и надежность элементов. Поэтому надежность многих сложных робототехнических систем практически не растет. В этом основная проблема надежности техники.

Методы анализа надежности сложных робототехнических систем должны учитывать: наличие последствий отказов энергетических систем и систем с восстановлением, два характера отказа электротехнических элементов, изменение основного параметра электрической схемы при отказе элементов структурно-резервированной системы, структуру сложной системы, не одновременность работы элементов. Математические модели функционирования сложных робототехнических систем с точки зрения надежности, полученные без учета перечисленных факторов, не могут быть адекватными реальным системам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Соболь И. М.* Метод Монте-Карло. — М.: Наука, 1968. — 64 с.
2. Теоретические основы Марковских цепей [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http:// www.sevostyanovpa.ru/uploads/LecMarkovProc0.pdf](http://www.sevostyanovpa.ru/uploads/LecMarkovProc0.pdf) – Дата доступа: 20.04.2022
3. *Лагутин М.Б.* Наглядная математическая статистика. — М.: Бином, 2009. — 472 с.

4. Волков, Ю. В. Надежность и безопасность ЯЭУ / Ю. В. Волков. - Обнинск : ИАТЭ, 1997. -102 с.

УДК 681.11.031.1:621.31

ВЫБОР НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ЗАГОРОДНОГО ДОМА

Воротынцев В.С., Волощенко Ю. П.

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

В работе рассматриваются разновидности систем накопления для электроэнергетических систем, их особенности, принцип работы, классификация, области применения и климатическое исполнение. Приведены сведения об эффективности систем накопления электроэнергии. На основе обзора осуществлен выбор и расчет накопителя для системы автономного энергоснабжения жилого дома, оснащенного солнечными батареями. системы накопления электроэнергии, возобновляемые источники электроэнергии, электрохимические накопители, электрические накопители, механические накопители, солнечная батарея, автономная система энергоснабжения жилого дома .

На сегодняшний день во всех промышленно развитых странах ведутся активные изыскания, направленные на решение задачи поиска оптимальных технических и оправданных экономически решений для широкого внедрения систем электроснабжения, источниками энергии для которых выступают возобновляемые ресурсы, способные естественным образом восстанавливаться в человеческом масштабе времени. Проблема постепенного истощения доступных запасов широкого используемого углеродного и невозполняемого ядерного топлива является одной из основных причин актуальности разработки источников электрической энергии на возобновляемых ресурсах. По статистике организации Международное энергетическое агентство (IEA), за 2020 год существенно вырос процент энергии от общей генерации, получаемый на солнечных и ветровых электростанциях на территории Европейского союза, который теперь составляет 20 процентов [1-3]. Учитывая, что сам принцип получения электроэнергии из ветра и солнечного света известен довольно давно, такой заметный рост использования возобновляемых ресурсов стал возможным благодаря техническому прогрессу в области материалов, системотехнических решений и систем управления генераторными установками. Но наиболее распространенные установки, использующие энергию возобновляемых источников – солнечной и ветровой генерации, обладают значимым недостатком. Их работа сильно зависит от различных внешних факторов: времени суток, освещенности, силы ветра, осадков и других погодных условий. Известным решением этой проблемы является диверсификация типов генераторных установок и запасание энергии для расходования в периоды снижения вырабатываемой мощности солнечными и

ветровыми электрогенераторами. Особенно этот вопрос актуален для автономных систем электроснабжения без доступа к общей электроэнергетической сети.

В работах [2-5] произведен расчёт и выбор электрооборудования ветроэнергетической установки малой мощности для электроснабжения жилого загородного дома, при этом вопросы накопления электрической энергии подробно не затрагивались. Поэтому рассмотрим основные типы накопителей электроэнергии, перспективные и внедренные в производство. Актуальность работы обусловлена повышенным спросом на установки возобновляемой энергетики в автономных системах энергоснабжения и в индивидуальных энергосистемах частных домов. Накопители электроэнергии позволяют компенсировать нестабильность генерации электроэнергии на возобновляемых источниках и внедрять различные инновации, которые дают возможность увеличивать эффективность эксплуатации энергосистем. Несомненным достоинством возобновляемой энергетики является ее экологичность и возможность обходиться без других видов топлива. В данной работе приводится обзор и классификация основных типов накопителей электроэнергии, их конструктивные особенности, оценки эффективности применения накопителей, рассчитаны и выбраны накопители для автономной электростанции в частном доме.

Накопители электроэнергии можно разделить на следующие основные группы в зависимости от способа хранения электрической энергии [6]:

- электрохимические;
 - тяговые;
 - стартовые;
- электрические;
 - суперконденсаторы;
 - индуктивные накопители
- механические
 - гравитационные;
 - маховичные.

Электрохимический накопитель представляет собой вторичный химический источник тока многократного использования и используется в цикле заряд-разряд для автономного электропитания различного электрооборудования [7]. Электрохимические накопители могут быть двух типов: тяговые и стартовые. Тяговые аккумуляторы предназначены для питания нагрузки равномерным током в течение длительного времени, при этом ток разряда примерно равен току заряда батареи. Стартовые накопители обеспечивают в нагрузке большой ток на короткий промежуток времени. Существуют различные конструкции аккумуляторных батарей, отличающиеся устройством блока электродов. Блок изготавливается в двух исполнениях, в виде рулонного блока электродов или набора отдельных электродов. Рулонный блок электродов применяется в накопителях небольшой ёмкости и в компактных аккумуляторах. Рулонные электроды заворачиваются вокруг потенциально размещенного в центре цилиндра или пластины. Призматические накопители изготавливаются в виде

блока отдельных электродов в корпусе из пластика или металла, при этом предусматривается возможность введения электролита внутрь батареи.

Электрические накопители сохраняют электрическую энергию в исходном виде, без преобразования. Существуют два основных типа электрических накопителей: суперконденсаторы и индуктивные накопители со сверхпроводящим проводником. Суперконденсатор представляет собой пассивный электрический элемент, необходимый для статического хранения электрической энергии. Конструктивно суперконденсатор включает два электрода с диэлектриком между ними. В этом электротехническом элементе применяются электроды с разной проводимостью, образуя дополнительный диэлектрик, что отличает суперконденсаторы от конденсаторов [9]. Сверхпроводящий индуктивный накопитель (СПИН)- электротехническое устройство, накапливающее электрическую энергию в виде постоянного магнитного поля, наводимого постоянным током. Конструкция СПИН имеет вид катушки индуктивности, изготовленной из сверхпроводящего материала с системой охлаждения и преобразователем.

Третья большая группа в классификации накопителей электроэнергии – механические накопители. Механические накопители представляют собой устройства, предусматривающие возможность преобразовывать и сохранять электрическую энергию в виде механической энергии. По принципу работы конструкции механических накопителей разделяют на гравитационные и механические. Гравитационный тип накопителя сохраняет энергию электрического тока в виде потенциальной энергии. С помощью кинетической энергии вращающегося тела способен запасать электрическую энергию другой тип механического накопителя – маховичный. Перспективной конструкцией маховичного накопителя является супермаховик, в устройстве которого применяются высокопрочные металлические ленты либо канаты вместо массивного металлического диска [10].

Оценим эффективность накопителей электроэнергии. Каждый из рассмотренных типов накопителей электрической энергии обладает своими положительными и отрицательными характеристиками в зависимости от области применения. Приведем сравнение различных типов накопителей, оценим их эффективность и рассмотрим возможные сценарии использования:

- электрохимические;
 - тяговые аккумуляторы; применяются для питания потребителя в течение длительного срока, например, в ночное время; климатическое исполнение в зависимости от микроклиматического района – УЗ, ХЛЗ, УХЛЗ (-10⁰ до 40⁰ С); Т, ТС (-10⁰ до 45⁰ С), коэффициент полезного действия – 80%;
 - стартовые аккумуляторы; применяются для компенсации пиковой электрической нагрузки в течение короткого времени, например, для запуска мощных электродвигателей;
- электрические;
 - суперконденсаторы; применяются для компенсации пиковых нагрузок в электрических сетях; климатическое исполнение – УЗ, ХЛЗ, УХЛЗ (-10⁰

до 40⁰ С); Т, ТС (-10⁰ до 45⁰ С); коэффициент полезного действия – 90 - 96%;

- индуктивные накопители, СПИН; применяются для компенсации пиковых нагрузок и длительного хранения электроэнергии; климатическое исполнение – ХЛ1, УХЛ1 (-60⁰ до 40⁰ С); коэффициент полезного действия – 96-99%;
- механические
 - гравитационные накопители; применяются для питания мощного потребителя в течение длительного времени, например, крупных городов; климатическое исполнение – О (-65⁰ до 45⁰); коэффициент полезного действия – 80%;
 - маховичные накопители, супермаховик; применяются для питания мощного потребителя в течение длительного времени; климатическое исполнение – О (-65⁰ до 45⁰); коэффициент полезного действия – 80%.

Произведем расчет параметров накопителя электрической энергии, необходимого для частного дома, оценим затраты пользователя, который решит устроить в своем доме систему автономного электроснабжения от, например, солнечных батарей. Используя исходные данные по электрической нагрузке дома, рассчитаем суточное энергопотребление дома. Оценим, какой период суток солнечные панели способны генерировать электрическую энергию. Рассчитаем количество и емкость аккумуляторных батарей, покрывающих потребности дома в электроэнергии при отсутствии генерации. Вычислим общую стоимость системы электроснабжения на солнечных батареях для частного дома.

Согласно исходным условиям, в доме имеются следующие электроприборы: телевизор мощностью 100 Вт и средним временем работы – 5 часов в сутки; холодильник мощностью 150 Вт и временем активной работы компрессора – 8 часов в сутки; компьютер мощностью 400 Вт, использующийся 7 часов в сутки, ноутбук мощностью 40 Вт, включенный 6 часов в сутки; для освещения дома используются 9 светодиодных ламп мощностью 11 Вт, которые используются 7 часов в сутки; связь обеспечивается модемом мощностью 15 Вт, работающим круглосуточно; система кондиционирования дома потребляет 800 Вт в час и включена в течение 5 часов в сутки; электрический чайник мощностью 1 кВт используется 7 минут в день; микроволновая печь мощностью 600 Вт работает 10 минут в день; стиральная машина, потребляющая 600 Вт с временем работы – 1 час 30 минут в сутки. Суммарное потребление домом электроэнергии получается примерно 7 кВт в сутки.

Мощность выбранных фотоэлектрических панелей P_{Π} составляет 350 Вт в час каждая [11]. Чтобы обеспечить электроснабжение частного дома, рассчитаем количество солнечных панелей:

$$N = \frac{P_{\text{Д}}}{P_{\Pi} * K * t}$$

Здесь t – время выработки электроэнергии, равное длине светового дня – 7 часов в сутки; для учета пасмурной погоды применяется поправочный

коэффициент $K = 0,7$; P_d – потребление дома в сутки (Вт/сут); N – число солнечных панелей установки.

При этом получаем необходимое количество солнечных панелей равное – 4,1 шт [12]. Для уверенного обеспечения необходимой генерируемой мощности выбираем пять фотоэлектрических панелей мощностью по 350 Вт каждая. Общая мощность, генерируемая солнечными панелями за сутки, равна 8575 Вт. Данное количество электрической энергии полностью обеспечивает потребности дома и оставляет некоторый запас для дополнительной нагрузки.

В качестве накопителя электроэнергии выбран свинцово-кислотный аккумулятор. Данный тип аккумуляторов активно выпускается промышленностью, характеризуется простотой обслуживания и долговечностью эксплуатации. В торговых сетях имеется обширный выбор зарядных устройств для свинцово-кислотных аккумуляторов.

Рассчитаем количество и параметры аккумуляторных накопителей для солнечной установки. Согласно исходным данным, во время отсутствия выработки потребляется мощность, равная 3 кВт. Выберем три 12-вольтовых аккумулятора емкостью по 150 А.ч. Суммарная ёмкость батарей равна 5,4 кВт. Поскольку полностью разряжать батареи не рекомендуется, будем использовать до 70 % заряда аккумулятора. Тогда эффективная мощность составит 3780 Вт, что обеспечивает требуемую мощность при отсутствии генерации электроэнергии солнечными панелями.

Вычислим затраты на приобретение оборудования для автономной системы электроснабжения. Монокристаллическая солнечная батарея (панель) TopRay Solar мощностью 370Вт TPSh-M6M120SH1W-370W – 5 шт. = 83 500 рублей. Аккумуляторные батареи Аккумуляторная батарея AGM VRLA Delta DT 12150 – 3шт. = 96 000 рублей. Инвертор Сибконтакт ИС-12-3000У = 31 400 рублей. Общая сумма затрат – 210 900 рублей.

Для небольших автономных систем электроснабжения частных домов в качестве накопителя электроэнергии больше всего подходят электрохимические аккумуляторы. Но сами системы накопления и хранения электроэнергии представляют собой перспективное направление для отработки и внедрения новых технологий. Поэтому не исключено появление в дальнейшем более эффективных накопителей энергии для небольших энергосистем. В целом, грамотное внедрение систем накопления дает возможность экономить до 50 % вырабатываемой электроэнергии и перераспределять ее на другие нужды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Международные тенденции в области возобновляемых источников энергии//Deloitte: [сайт]. – 2018. –URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/energy-resources/Russian/global-renewable-energy-trends.pdf>. (дата обращения 15.10.2021)

2. Гисцов В.Г., Батагов К.А., Волощенко Ю.П. Моделирование горизонтально-осевой ветроэнергетической установки малой мощности в

программном пакете Matlab//Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2020»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т. – Ростов-на-Дону; Таганрог: ЮФУ, 2020. – Том 2. С. 56 – 62. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44307361>

3. *Гисцов В.Г., Волощенко Ю.П.* Расчёт и выбор электрооборудования ветроэнергетической установки малой мощности для электроснабжения жилого загородного дома// Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: в 2 т. – Ростов-на-Дону; Таганрог: ЮФУ, 2021. С. 49-56. <https://elibrary.ru/item.asp?id=47362521>

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

5. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Моделирование электронных компонентов интегральных схем методами теории электрических цепей. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2017. – 111 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32068358>

6. *Гисцов В.Г., Батагов К.А., Волощенко Ю.П.* Исследование характеристик модели автономной электрической системы с маломощной ветроэнергетической установкой// Всероссийская научная конференция «Теоретические и методические проблемы эффективного функционирования радиотехнических систем» («Системотехника-2020»). Проблемы современной системотехники: сборник научных статей. – Таганрог: Изд-ль ИП Ступин С.А, 2020. -вып. XIV. С.63-69 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44404561>

7. *Robert A. Huggins.* Energy Storage. – Springer Science & Business Media, – 2010. – 424 с. DOI 10.1007/978-1-4419-1024-0

8. *Куликов Ю.А.* Накопители электроэнергии - эффективный инструмент управления режимами электроэнергетических систем// Электроэнергетика глазами молодежи - 2018: Материалы IX Международной молодежной научно-технической конференции: в 3 т. – Казань:КГЭУ, 2018. С. 38-43 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41234595>.

9. Суперконденсаторы. Устройство и применение. Электросам.ру [сайт].– URL: https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/super_konden_satory/ (дата обращения 20.05.2022).

10. Маховичный накопитель энергии // Savenergy.info [сайт]. –URL: <http://savenergy.info/page/mahovichniy-nakopitel-energy/> (дата обращения 20.10.2022).

11. Shenzhen Topray Solar Co.,Ltd:[сайт]. –2018.–URL: <https://www.topraysolar.com/> (дата обращения 15.05.2022)

12. Расчет солнечной батареи и аккумуляторов, комплекта солнечной электростанции // Энергопартнер [сайт]. –2020 г. –URL: <https://enpartner.ru/novosti/raschet-solnechnoj-batarei-i-akkumulyatora-solnechnoj-elektrostantsii> (дата обращения 15.05.2022).

УДК 621.548:621.31:004.94

МОДЕЛЬ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ОТММ-КОНТРОЛЛЕРОМ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Гисцов В. Г., Волощенко Ю. П.

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

В работе рассматривается модель схемы электроэнергетической установки с модулями солнечной батареи и преобразователем электрической энергии с ОТММ-контроллером, реализующим режим отыскания точки максимальной мощности на выходе фотоэлектрических панелей при вариации нагрузочной характеристики. Составлена структурная схема ОТММ-контроллера, демонстрирующая его принцип работы, приведен алгоритм работы контроллера и представлена модель электроэнергетической установки, реализованная с помощью функциональных блоков в программе Simulink.

ОТММ-контроллер, отыскание точки максимальной мощности, солнечная батарея, фотогальваническая панель, преобразователь электрической энергии, контроллер заряда, солнечная энергетика.

Благодаря развитию технологий, на сегодняшний день уже имеются широкие возможности для применения систем генерации, использующих энергию возобновляемых источников, для построения небольших систем электроснабжения частных домов [1]. Это позволяет обеспечить бесперебойность электроснабжения и независимость от внешних электрических сетей без использования традиционных видов топлива. Основными техническими задачами, решаемыми при проектировании таких систем, являются: обеспечение как можно большей независимости систем энергоснабжения на возобновляемых источниках энергии от вариации освещенности и изменения других погодных условий; повышение эффективности работы и преобразования энергии ветровыми и солнечными генераторными установками. Для решения этих задач может использоваться, например, гибридная электроэнергетическая установка, эффективно сочетающая использование ветровой и солнечной энергии [2-6].

Солнечные батареи или фотогальванические панели, переназначенные для преобразования солнечной энергии в электрическую, обладают зависимостью нагрузочных характеристик от внешних условий, таких как освещение и температура. Изменение положения солнца, плотности облачности, интенсивности атмосферных осадков приводят к изменению нагрузочных характеристик фотоэлектрических модулей и условий отбора максимальной мощности. Для повышения эффективности работы солнечных батарей используются специальные алгоритмы, реализуемые контроллером, управляющим преобразователем мощности. Контроллеры отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ-контроллеры), входящие в схемы устройств

управления солнечных батарей, содержат сценарии отыскания наилучшей точки на оси напряжения для получения максимальной мощности с генераторной установки при текущих внешних условиях. На рис. 1 представлена структурная схема преобразователя электроэнергии с ОТММ-контроллером для солнечной панели.

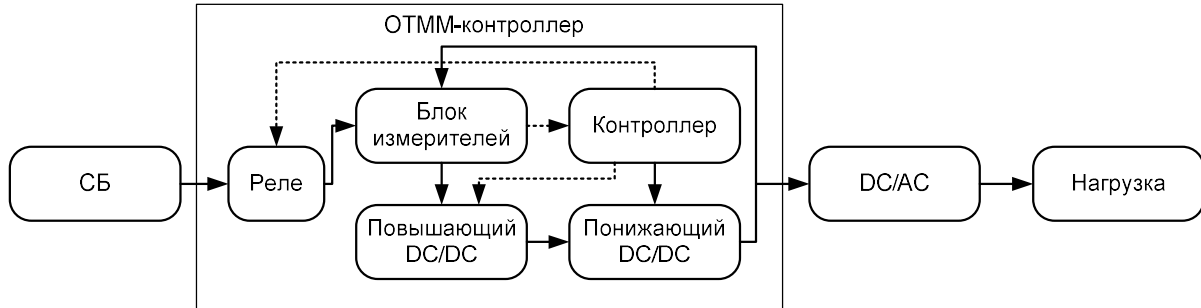


Рис. 1 – Структурная схема преобразователя электроэнергии с ОТММ-контроллером для солнечной панели

Здесь СБ – солнечная батарея, DC/DC – преобразователь постоянного тока в постоянный ток, DC/AC – преобразователь постоянного тока в переменный ток.

На рис. 2 изображена Simulink-модель электроэнергетической системы с источником энергии на солнечных батареях, предназначенная для оценки эффективности различных сценариев управления преобразователем электроэнергии, что дает возможность исследовать характеристики установки до изготовления экспериментального образца [7-8]. Параметры блоков модели ОТММ-контроллера фотоэлектрической установки: солнечные батареи реализует блок с четырьмя модулями мощностью 220 Вт каждый и напряжением 24-35 В, накопитель электроэнергии включен в схему в виде аккумулятора с номинальным напряжением 24 В, емкостью 200 А·ч и заряженным изначально на 20%. Схема предусматривает возможность отключения фотоэлектрических модулей в случае перезаряда аккумулятора. При этом основная задача построения модели – апробация сценариев отслеживания точки максимальной мощности.

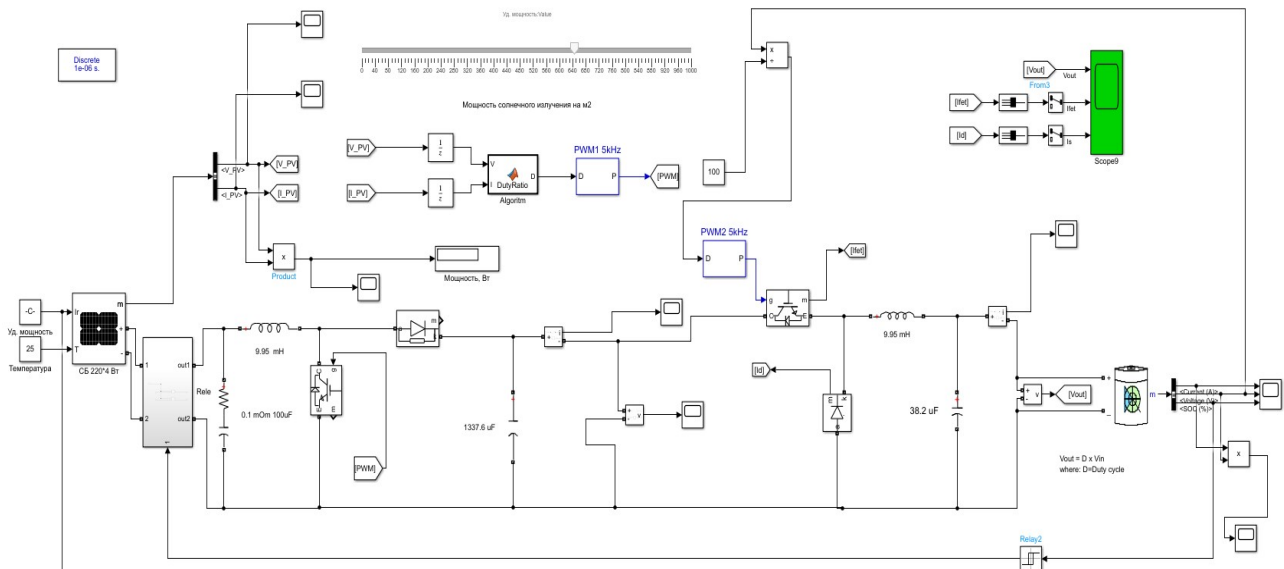


Рис. 2 – Модель электроэнергетической установки с источником энергии на солнечных батареях и ОТММ-контроллером

ОТММ- контроллер представляет собой управляемый DC/DC преобразователь и состоит из повышающего (boost) и понижающего (buck) преобразователей, включенных последовательно [9-10]. При управлении ОТММ- контроллером используется метод возмущения и наблюдения. Контроллер получает характеристики солнечной батареи, подключенной к электроэнергетической системе, и вычисляет местоположение рабочей точки, позволяющей снимать максимальную мощность с фотоэлектрического модуля. На следующем этапе контроллер смещается от вычисленной точки и измеряет характер изменения мощности на выходе солнечной батареи, что позволяет изменить местоположение рабочей точки в направлении возрастания мощности. В рамках задач моделирования, поскольку исследуемый временной отрезок работы электроэнергетической установки выбран небольшой, алгоритм реализован по вариации мощности на выходе фотоэлектрической панели и не включает временного интервала, предполагающего выход из режима отыскания точки максимальной мощности [11-12].

Результаты моделирования приведены на рис. 3 в виде временных диаграмм изменения мощности, генерируемой фотоэлектрическими модулями при включении режима отыскания точки максимальной мощности и без него. При уровне дневного света 1000 Вт/м^2 в режиме МРРТ солнечная батарея вырабатывает около 865 Вт, без – 789 Вт. При моделировании в режиме отыскания точки максимальной мощности в начале временного графика наблюдаются колебания уровня генерируемой мощности, являющиеся следствием переходных процессов в начале работы алгоритма. Для наглядности эти колебания скрыты с результирующей диаграммы.

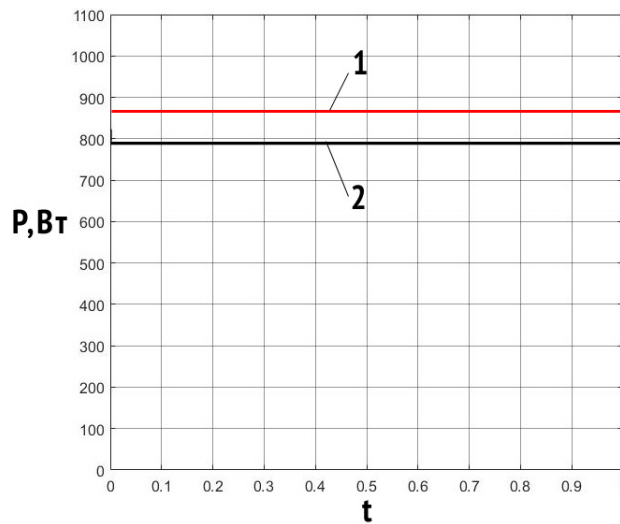


Рис. 3 – Временные диаграммы мощности, генерируемой фотоэлектрическими модулями, при включении режима отыскания точки максимальной мощности (1) и без него (2).

В работе построена модель в программе Simulink и продемонстрированы результаты моделирования электроэнергетической системы с ОТММ-контроллером, реализующим алгоритм отыскания точки максимальной мощности. При этом была оценена работоспособность модели и алгоритма при исследовании с применением характеристик реальных конструкций солнечных панелей. Модель схемы контроллера и солнечной батареи состоит из групп функциональных блоков из библиотек различного назначения, которые дают возможность осуществлять исследование как электронных, так и силовых цепей электроэнергетических систем. При этом учитываются особенности применяемых вычислительных методов в составе программного комплекса, влияющих на корректность и наглядность результата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Международные тенденции в области возобновляемых источников энергии // Deloitte: [сайт]. – 2018. – URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/energy-resources/Russian/global-renewable-energy-trends.pdf>. (дата обращения 15.10.2022)
2. Гисцов В.Г., Батагов К.А., Волощенко Ю.П. Моделирование горизонтально-осевой ветроэнергетической установки малой мощности в программном пакете Matlab//Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2020»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: в 2 т. – Ростов-на-Дону; Таганрог: ЮФУ, 2020. – Том 2. С. 56 – 62. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44307361>
3. Гисцов В.Г., Батагов К.А., Волощенко Ю.П. Исследование характеристик модели автономной электрической системы с маломощной ветроэнергетической установкой// Всероссийская научная конференция «Теоретические и методические проблемы эффективного функционирования

радиотехнических систем» («Системотехника-2020»). Проблемы современной системотехники: сборник научных статей. – Таганрог: Изд-ль ИП Ступин С.А, 2020. -вып. XIV. С.63-69 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44404561>

4. *Гисцов В.Г., Волощенко Ю.П.* Расчёт и выбор электрооборудования ветроэнергетической установки малой мощности для электроснабжения жилого загородного дома// Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2021»: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: в 2 т.– Ростов-на-Дону; Таганрог: ЮФУ, 2021. с. 49-56. <https://elibrary.ru/item.asp?id=47362521>

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

6. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Основы теории одномерной нелинейной электрической и электронной волновой цепи: учебное пособие.– Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2015. – 100 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25268847>

7. *Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.* Моделирование электронных компонентов интегральных схем методами теории электрических цепей. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2017. – 111 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32068358>

8. *Бурьков Д.В., Волощенко Ю.П.* Математическое и имитационное моделирование электротехнических и робототехнических систем: учебное пособие. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство ЮФУ, 2020. – 159 с. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44465229>

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

10. *Muhammad H. Rashid,* Power Electronics: Circuits, Devices & Applications, Pearson, 2013.

11. *Muralidhar Killi, Susovon Samanta,* «Modified Perturb and Observe MPPT Algorithm for Drift Avoidance in Photovoltaic Systems» IEEE Transactions on Industrial Electronics , т. 62, № 9, pp. 5549-5559, 2015.

12. *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.

УДК 621.431.73

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ТВС НА ПИК ДАВЛЕНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ. ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ОСЦИЛЛОГРАММ С РЕАЛЬНОГО ОБЪЕКТА

Денисенко Н. С., Береснев А. Л.

*Институт Радиотехнических Систем и Управления Южного Федерального
Университета, г. Таганрог*

Аннотация: данная работа содержит в себе изучение влияния качества топливно-воздушной смеси на величину пика давления в камере сгорания – а именно процесс получения осциллограмм давления при различных стехиометрических составах смеси с реального диагностируемого объекта. В будущем станет возможным сравнение данных осциллограмм с компьютерно-промоделированными графиками давления в цилиндре и вынос общих выводов о влиянии качества ТВС на пик давления, что в свою очередь поможет провести диагностику более просто и качественно.

Ключевые слова: индикаторная диаграмма давления, топливно-воздушная смесь, двигатель внутреннего сгорания, стехиометрическая смесь, богатая смесь, бедная смесь.

Введение:

Одним из основных методов диагностики двигателя внутреннего сгорания является его проверка по осциллограммам динамической компрессии, полученных при помощи диагностического прибора – мотортестера.[1] В данном случае диагностике подвергаются многие параметры полученной осциллограммы – в том числе и ее пик. Однако на величину пика давления влияют многочисленные узлы двигателя внутреннего сгорания, изменяя таким образом состав топливно-воздушной смеси. [2]

Таким образом, цель данной работы – это получить осциллограммы давления в камере сгорания при различных составах топливно-воздушных смесей. Основной задачей был учет всех возможных вариантов топливно-воздушной смеси, а именно: бедной, богатой и стехиометрической смесей, и в последствии вынести соответствующий вывод.

Научная новизна данной работы состоит в изучении влияния состава заряда топливно-воздушной смеси на пик давления в камере сгорания. В последующем будет проводиться также компьютерное моделирование данных процессов, что в свою очередь позволит более углубленно оценить влияние вышеобозначенного параметра. На практике же данный подход позволит более эффективно производить диагностику автомобилей, что может вылиться в лучшую экономию топлива и снижение вредных выбросов, которые имеют место быть при эксплуатации неисправного транспортного средства. [3-6]

Основная часть.

Для снятия осциллограмм динамической компрессии использовался мотортестер «MotoDocIII». Данный прибор обобщенно представляет собой продвинутый осциллограф, специализированный под нужды автомобильной диагностики. Информацию о состоянии давления мотортестер получает при помощи датчика давления, совмещенного со свечей зажигания. Также необходим отчет отрезка времени работы одного полного цикла работы двигателя. Это необходимо для грамотного отображения данных на экране компьютера, к которому подключается мотортестер. [7]Ниже на рис. 1 изображены снятые осциллограммы давления при бедной (черный), богатой (розовый) и стехиометрической (зеленый) смесей.

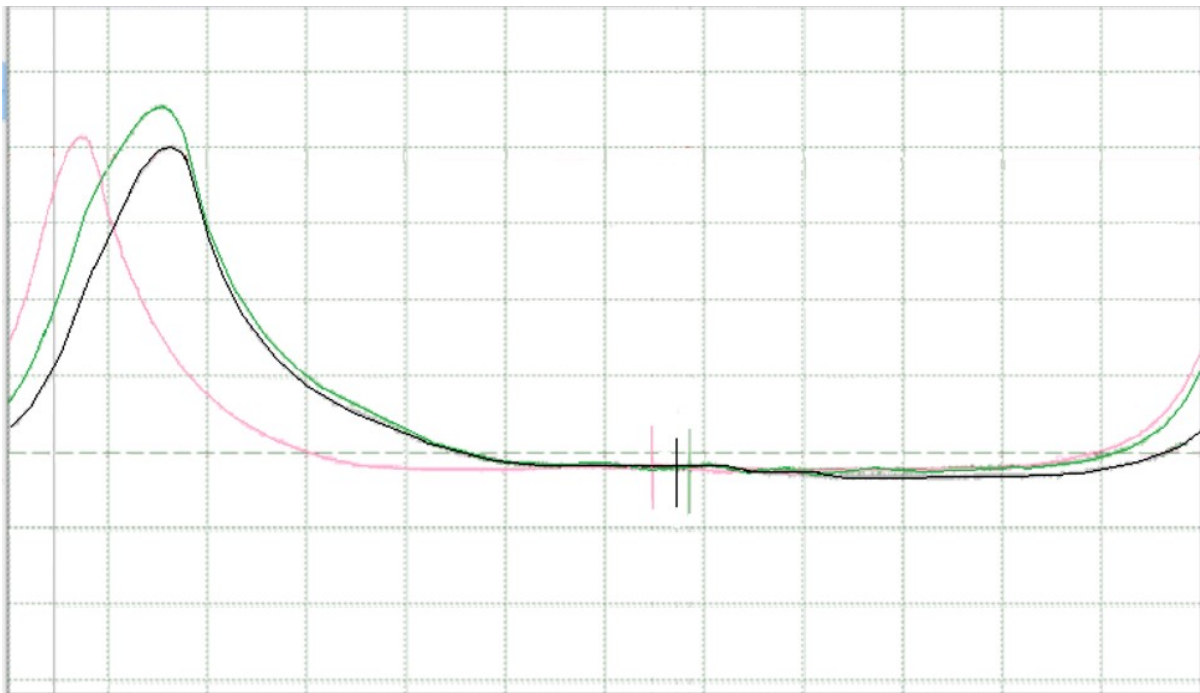


Рис.1. Графики давления в камере сгорания при разных составах топливно-воздушной смеси

На графике наглядно видно, как состав топливно-воздушной смеси влияет на вид осциллограмм давления в цилиндре. Так при бедной смеси наблюдается меньшее значения пика нежели при богатой или стехиометрической смеси, что говорит о меньшей эффективности сгораемой смеси. Также необходимо обратить внимания на ширину графиков. [2] Как можно заметить при богатой смеси пик наступает гораздо быстрее, нежели в остальных случаях. Это связано с тем, что в богатой смеси за счет переизбытка топлива наблюдается больше центров реакции, что в свою очередь позволяет смеси разгореться быстрее. Однако вместе с тем резко наступает спад давления. Это связано с недостатком воздуха, который не в состоянии поддерживать горение достаточно долго. [8]

Если же обратить внимание на график давления при бедной смеси, то становится понятным, что в данном случае заряд топливно-воздушной смеси разгорается медленнее ввиду недостатка центров реакции, однако ввиду избытка воздуха поддержание горения идет наравне с графиком горения при стехиометрической смеси. [9]

Таким образом, по данным осциллограммам можно сделать вывод о:

1. Необходимости использования стехиометрического состава смеси, как самого эффективного и экономичного;
2. Различиях в графиках давления при разных соотношения топливно-воздушных смесей – так, например, богатая смесь разгорается и тухнет быстрее остальных, в то время как бедная разгорается медленнее. Здесь же вытекает и разница в пиках давления.

Однако для более общего анализа необходимо брать выборку графиков при различных значениях оборотов. Так, например в данной работе для всех

графиков использовалось значение 1200 об/мин, однако необходим более широкий спектр работы двигателя. Вместе с тем необходим и фильтр полученных осциллограмм, так как в силу различных внешних факторов топливно-воздушная смесь может не разгореться с первого раза, могут наблюдаться пропуски и детонация. Так, например на рис. 2 ниже изображены осциллограммы при 1400 об/мин.

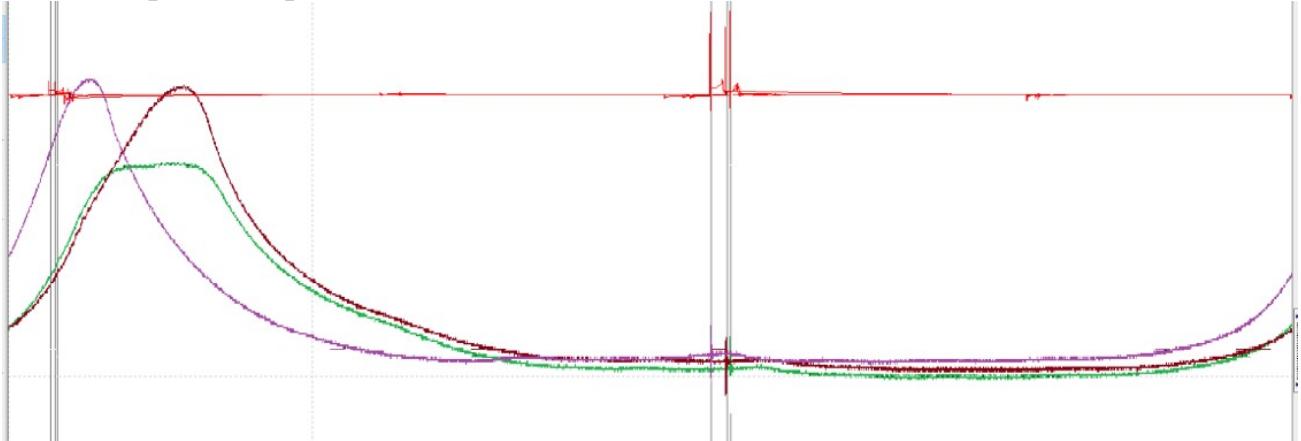


Рис.2. Осциллограммы динамической компрессии при 1400 об/мин

На данном рисунке отчетливо видно, что при стехиометрической смеси (зеленый) наблюдается своего рода «полка», а не пик давления, хотя в данном случае должен наблюдаться самый высокий пик. Это связано с тем, что смесь недостаточно гомогенна, в связи с чем горение топливно-воздушной смеси происходит неравномерно. Иными словами, в определенной точке объема камеры сгорания количество бензина слишком велико, тогда как в других недостаточно. Такие случаи работы двигателя являются случайными и поэтому необходима грамотная выборка полученных данных.

В дальнейшем, помимо выборки данных необходимо произвести компьютерное моделирование [3-6] для последующего анализа полученных данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Береснев А. Л., Берснев М. А. Диагностика автомобиля с помощью сканера: практикум по лабораторным работам. // Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010г. – 26с.
- 2 Береснев А. Л., Берснев М. А. Особенности систем управления ДВС подвижных объектов на альтернативных видах топлива // Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015г.
- 3 Денисенко Н. С., Береснев А. Л. Определение термодинамической составляющей давления в цилиндре. // Управление социально-экономическими системами: направления развития, вызовы и возможности сборник материалов Научного семинара, Таганрог: Изд. ЮФУ, 2021г. – 152 с.
- 4 Денисенко Н. С., Береснев А. Л. Определение термодинамической составляющей давления в цилиндре. // Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О.Н.

Пьявченко «КомТех-2021», Таганрог: Изд. ЮФУ, 2021г. – т.2 320с.

5 *Денисенко Н. С., Береснев А. Л.* Модель определения давления в камере сгорания двигателя внутреннего сгорания. // Сборник материалов II всероссийской молодежной научнопрактической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Махачкала: Дагестанский государственный технический университет, 2021г. – 197с.

6 *Денисенко Н. С., Береснев А. Л.* Определение идеализированного графика давления в цилиндре без поджига топливовоздушной смеси // Проблемы современной системотехники Сборник научных статей Выпуск XV, Таганрог, Изд-ль ИП Ступин С. А. 2021г. – 24с.

7 *Береснев М. А., Береснев А. Л.* Разработка датчика для определения момента достижения максимума давления в цилиндре двигателя внутреннего сгорания // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера» (ICATS'2011), Казань: ЗАО «Мир без границ», 2011г. – 226с.

8 *Береснев М. А., Береснев А. Л.* Управление составом бинарного топлива для улучшения показателей ДВС //АвтоГазоЗаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2012. - №3(63). 7-11с.

9 *Береснев М. А., Береснев А. Л.* Управление составом бинарной топливной смеси для улучшения крутящего момента и экологических параметров двигателя внутреннего сгорания // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Научные проблемы европейского континента», Прага: Изд-во Education and Science, 2011–71-73с.

10 *Самохин С.* Моторная диагностика // Автомобиль и сервис. – 2006. - №2. – С. 42–44.

11 *Воронько А.* Анализ осциллограммы давления в цилиндре / А. Воронько. – http://quantexlab.com/information/articledetail.php?SECTION_ID=244&ELEMENT_ID=1239. Дата обращения: 18.12.2021.

12 *Стуканов В.А.* Основы теории автомобильных двигателей и автомобиля: Учебное пособие . – М.: Форум ИНФА – М, 2005. – 368 с.

13 *Lee S. H.* Fuzzy Air-Fuel Ratio Control of a Small Gasoline Engine / S.H. Lee, R.J. Howlett, S.D. Walters // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. – 2004. – Volume 15, Nr. 3-4. – P. 207-2017.

УДК 621.43:629.113

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Смирнов О.Д., Полуянович Н.К.

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

В работе рассматриваются производственные фрезерные станки с числовым программным управлением. Приведен обзор и классификация систем ЧПУ по различным признакам. Описаны основные узлы станков и конструктивные особенности станков с ЧПУ.

Технологические возможности станков с ЧПУ.

Введение. Опыт применения станков с числовым программным управлением (ЧПУ) подтверждает правильность исходных идей и многочисленные преимущества этих станков по сравнению со станками с ручным управлением или механическими полуавтоматами и автоматами. Фрезерные работы сегодня являются одним из основных видов обработки металлических деталей. Так же, как и токарные работы, они показывают особо высокую популярность в условиях массового и крупносерийного производства.

Описание фрезерного станка. Станки с ЧПУ выполняют различные технологические операции по заданной программе, являются сложными технологическими комплексами, включающими непосредственно станок и устройство ЧПУ, построенное с применением мини-ЭВМ. ЧПУ означает компьютеризованную систему управления, считывающую инструкции специализированного языка программирования (например, G-код) и управляющую приводами металло- дерево- и пластмассообрабатывающих станков и станочной оснасткой. Интерпретатор системы ЧПУ производит перевод программы из входного языка в команды управления главным приводом, приводами подачи, контроллерами управления узлов станка (включить/выключить охлаждение, например). Для определения необходимой траектории движения рабочего органа в целом (инструмента/заготовки) в соответствии с управляющей программой (УП) используется интерполятор, рассчитывающий положение промежуточных точек траектории по заданным в программе конечным [1,2]. Современное оборудование подключается к заводским сетям связи. Основным языком программирования ЧПУ описан документом ISO 6983 Международного комитета по стандартам. Для простых задач, например, раскрой плоских заготовок, система ЧПУ в качестве входной информации может использовать текстовый файл в формате обмена данными, например DXF или HP-GL. Схема работы фрезерного станка с ЧПУ приведена на рисунке 1 [2,3].



Рис.1. Схема работы фрезерного станка с ЧПУ

Классификация систем ЧПУ по различным признакам. В зависимости от способа управления исполнительным органом различают: позиционные, контурные, универсальные системы. При позиционном управлении инструмент последовательно обходит ряд точек – позиций. Требуется высокая точность позиционирования, а траектория перемещения инструмента из одной позиции в другую не имеет существенного значения – это холостое перемещение. При контурном управлении инструмент движется без остановок, и обработка совершается во время движения [5]. Все погрешности отработки траектории переносятся на деталь. В зависимости от наличия обратной связи системы управления могут быть: замкнутыми, закрытыми, разомкнутыми, открытыми. В зависимости от способа отсчета перемещения различают системы управления с абсолютным и относительным отсчетом. В первом случае отсчет ведется относительно начала системы координат: x_1, y_1, x_2, y_2 и т. д., во втором случае задаются приращения: $\Delta x_1, \Delta y_1, \Delta x_2, \Delta y_2$ и т. д. В зависимости от чисел управляемых координат различают одно-, двух-, трех- четырех- пятикоординатные системы управления. Из них какое-то число координат управляется одновременно (параллельно), а какое-то – последовательно. В зависимости от элементной базы и уровня использования ЭВМ различают системы первого, второго, третьего поколения. Устройства ЧПУ третьего поколения (системы CNC) имеют встроенный микропроцессор. Это позволяет:

- вместо аппаратного обеспечения функций СУ использовать программное обеспечение;
- реализовать более гибкий процесс программирования (ввод и подготовка программы);
- использовать дисплей и режим диалога - расширить функции системы управления;
- реализовать типовые диагностические программы, организовать поиск неисправностей;
- осуществить оптимизацию технологических процессов,
- информирование оператора о состоянии системы,

- давать рекомендации оператору о действиях для поддержания работоспособности и т. д.

Функциональные составляющие ЧПУ. Для того, что бы сделать из обычного станка станок с ЧПУ необходимо внедрить определенные компоненты в его структуру. Недостаточно просто подсоединить станок к компьютеру, что бы он работал по программе - необходимо модернизировать механическую и электронную «начинку» станка. Условно СЧПУ (Систему числового программного обеспечения) можно разделить на три подсистемы: подсистема управления, подсистема приводов, подсистема обратной связи

Подсистема управления – является центральной частью всей СЧПУ. С одной стороны она читает управляющую программу и отдает команды различным агрегатам станка на выполнение тех или иных операций. С другой стороны взаимодействует с человеком, позволяя оператору контролировать процесс обработки. является контроллер сердцем подсистемы, который отвечает за управление всеми электронными составляющими станка. Подсистема приводов – система двигателей и передач, обеспечивающая выполнение команд подсистем управления. Подсистема обратной связи призвана обеспечивать подсистему управления информацией о текущем состоянии станка и обрабатываемой детали с помощью различных датчиков.

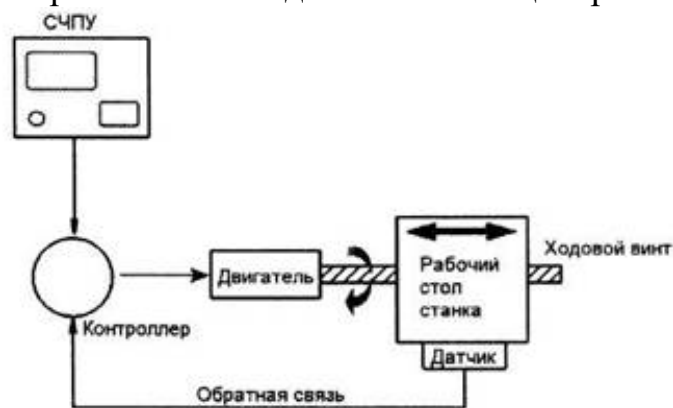


Рис. 2. Подсистема обратной связи

Конструктивные особенности. Станки с ЧПУ имеют расширенные технологические возможности при сохранении высокой надежности работы. Конструкция станков с ЧПУ должна обеспечивать совмещение различных видов обработки (точение-фрезерование, фрезерование-шлифование), удобство загрузки заготовок, выгрузки деталей (что особенно важно при использовании промышленных роботов), автоматическое или дистанционное управление сменой инструмента и т. д.

Приводы и преобразователи для станков с ЧПУ. В связи с развитием микропроцессорной техники применяют преобразователи для приводов подачи и главного движения с полным микропроцессорным управлением -цифровые приводы представляют собой электродвигатели, работающие на постоянном или переменном токе. Конструктивно преобразователи частоты, сервоприводы и устройства главного пуска и реверса являются отдельными электронными блоками управления.

Привод подачи для станков с ЧПУ. В качестве привода используют двигатели, представляющие собой управляемые от цифровых преобразователей синхронные или асинхронные машины. Бесколлекторные синхронные (вентильные) двигатели для станков с ЧПУ изготавливают с постоянным магнитом на основе редкоземельных элементов и оснащают датчиками обратной связи и тормозами. В качестве приводов служат трехфазные четырехполосные асинхронные двигатели, воспринимающие большие перегрузки и работающие при наличии в воздухе металлической пыли, стружки, масла и т.д. В двигатель встраивают различные датчики, например датчик положения шпинделя, что необходимо для ориентации или обеспечения независимой координаты.

Преобразователи частоты для управления асинхронными двигателями имеют диапазон регулирования до 250. Преобразователи представляют собой электронные устройства, построенные на базе микропроцессорной техники. Программирование и параметрирование их работы осуществляются от встроенных программаторов с цифровым или графическим дисплеем. В математическом обеспечении заложена возможность настройки привода и пуск его в эксплуатацию.

Привод позиционирования (т.е. перемещение рабочего органа станка в требуемую позицию согласно программе) должен иметь высокую жесткость и обеспечивать плавность перемещения при малых скоростях, большую скорость вспомогательных перемещений рабочих органов (до 10 м/мин и более).

Устройства автоматической смены инструмента (магазины, автооператоры, револьверные головки) должны обеспечивать минимальные затраты времени на смену инструмента, высокую надежность в работе, стабильность положения инструмента. Алгоритм работы фрезерного станка с ЧПУ приведен на рисунке 3.

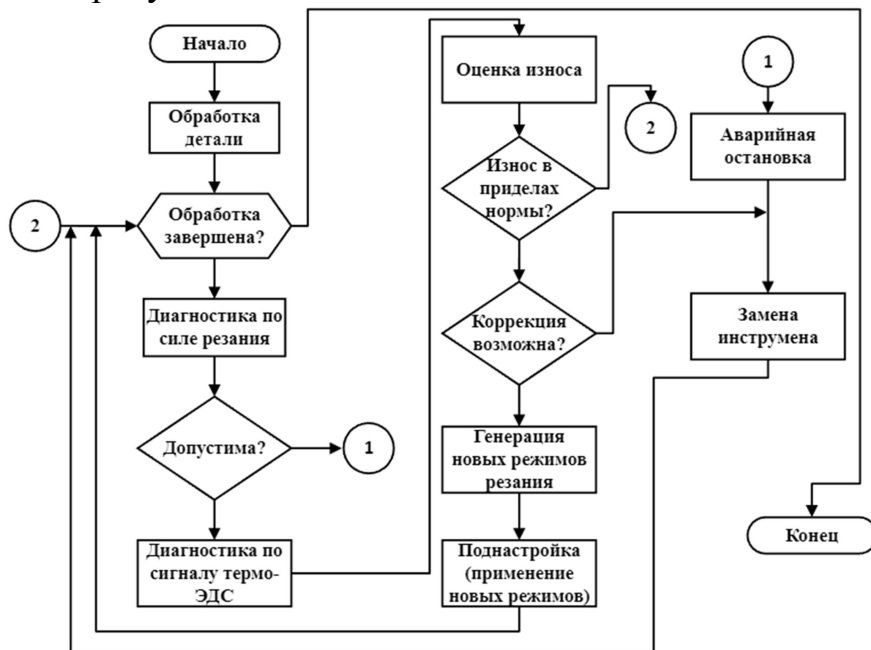


Рис.3. Алгоритм работы фрезерного станка с ЧПУ

Вывод. Технология обработки на станках с ЧПУ предназначена упростить способы получения деталей при механической обработке в условиях серийного и массового производства. Системы с ЧПУ в большинстве случаев позволяют обеспечить лучшую точность, скорость и повторяемость при механической обработке материалов, нивелировать некоторые механические погрешности позиционирования на станке, тем самым улучшая качество производимой продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пшихопов В.Х. Позиционно-траекторное управление подвижными объектами. Таганрог: Изд-во ГТИ ЮФУ, 2009.
2. Пшихопов В.Х., Гайдук А.Р., Медведев М.Ю., Беляев В.Е., Полуянович Н.К., Волощенко Ю.П. Энергосберегающее управление тяговыми приводами электроподвижного состава. Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 2 (139). С. 192-200.
3. Полуянович Н.К. Пособие по решению задач и методические указания / Таганрог, 2001.
4. Кашин В.Е., Полуянович Н.К. Регулирование параметров ЧПУ/CNC для модуля камеры автоматизированного гибочного комплекса. Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и автоматика (ПАРУСА-2019): сборник трудов VIII Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Геленджик, 6–8 ноября): в 2 т. / Южный федеральный университет; сост. Ю.Б. Щемелева, С.В. Кирильчик. – Ростов-на-Дону: Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. Т. 1. – 336 с. С.39-50.
5. Полуянович Н.К., Дубяго М.Н., Щуровский В.А., Береснев М.А. Методы экспериментального определения характеристик электрического привода. Таганрог, 2016.

УДК 621.43:629.113

ОБЗОР, КЛАССИФИКАЦИЯ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ТОПЛИВОМ АВТОМОБИЛЯ НА ВОДОРОДНОМ ТОПЛИВЕ

Шевчун Р.Р., Рассолов М.А., Лященко А.А., Полуянович Н.К.
Южный федеральный университет, Колледж прикладного профессионального образования

В работе рассматривается совершенствование водородных технологий получения водородного топлива. Разработано устройство для получения водорода. Возможность работы двигателя на бензо-водородных топливных компонентах в диапазоне бедных составов смесей позволяет снизить максимальную температуру цикла в камере сгорания двигателя внутреннего сгорания (ДВС), что существенно уменьшает концентрацию окислов азота в отработавших газах.

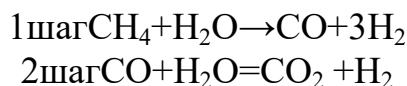
водородная энергетика, электрохимический метод электролиза.

Водородное топливо может служить оптимальной заменой традиционных видов топлива. Водородная энергетика – одно из ведущих направлений по разработке экологически чистых способов получения энергии. Будучи самым распространенным элементом на Земле и в космосе, водород, тем не менее, остается почти не востребованным. Если в 2018 году в мире было добыто 4,4 миллиарда тонн нефти и 3,86 триллиона кубометров природного газа (метана), то объем производства водорода не превышает 70 миллионов тонн, то есть объем его выработки в 6285 раз меньше, чем нефти, и в 5514 раз меньше, чем газа. Актуальность водородной энергетике заключается в том, что это не только назревший переход к освоению нового экологически приемлемого источника энергии, но и стимул к достижению более эффективного использования традиционных видов топлива, повышения КПД используемых двигателей и обеспечения более высокой степени экологической безопасности предприятий ТЭК и транспорта.

Запасы водорода практически безграничны. Так как он встречается почти всюду, его можно использовать там, где он производится. Вот отличие от батарей, которые не могут хранить большое количество электроэнергии в течение продолжительного времени, водород можно производить из избыточной возобновляемой энергии и хранить в больших количествах. В автомобилях топливные элементы используют 40-60% энергии топлива, а также обеспечивают сокращение его расхода на 50%. Избыток электроэнергии из ВИЭ можно хранить в виде водорода, а затем сжигать для выработки электроэнергии, когда это необходимо.

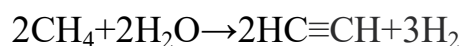
Способы получения водорода. Рассмотрим несколько способов получения водорода.

1) Паровая конверсия



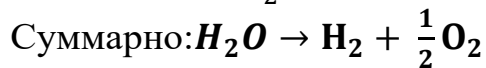
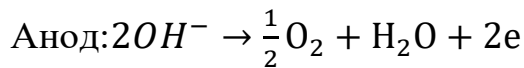
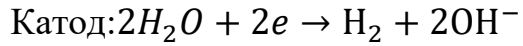
Более 50% всего водорода получается путём паровой конверсии воды и метана. При этом три основных составляющих (природный газ, водяной пар и кислород) смешиваются в определённых пропорциях. Таким образом, часть природного газа сгорает вместе с кислородом, тем самым поддерживая необходимую температуру для продолжения химической реакции. Метан, не выгоревший во время реакции конверсии, реагирует с водяным паром, образуя оксид углерода (то есть сажу) и непосредственно водород. Простота и относительная лёгкость делает производство водорода путём паровой конверсии наиболее дешёвыми из всех доступных.

2) Второй метод получения водорода – крекинг метана, простейшего по составу углеводорода. Благодаря специальному процессу сжиженный метан нагревается до температур выше 1000-1400°C, после чего газ начинает разлагаться на водород и карбон.



Благодаря дешевизне метана, а также простому способу его получения, такой тип добычи водорода проще всего. Однако высокие температуры и потенциальная пожароопасность требуют дополнительных мер безопасности. К тому же, оборудование для полного процесса крекинга не из дешёвых.

3) Щелочной электролиз – процесс прохождения электрического тока через раствор электролита (20-30% раствор KOH или NaOH) от анода к катоду, вследствие чего на них соответственно образуются газы водород и кислород:



Ниже в табл. 2 приведен сравнительный метод получения водорода

Вывод. На основе сравнения методов получения водорода, можно сделать вывод, что паровая конверсия наиболее оптимальный метод. Крекинг метана дороже паровой конверсии и выбрасывает в атмосферу больше углекислого газа, но при этом электроэнергия и тепло получаемая от АЭС более экологична, чем природный газ, который является не возобновляемым ресурсом. Щелочной электролиз является наименее эффективным способом и наиболее дорогим способом. Но при этом имеет самую низкую температуру при производстве, выбрасывает минимум вредных веществ и на выходе водород получается практически без примесей.

Таблица 1. Сравнение методов получения водорода

Название способа	КПД, %	Температура при производстве, К	Стоимость производства, \$/т	Источник энергии	*Вредные выбросы при производстве, кг/*кг
Паровая конверсия	60-75	1100-1300	1200-1600	Природный газ	2,5
Крекинг метана	40-42	1270-1670	2300-3500	Электроэнергия и тепло от АЭС	8
Щелочной электролиз	20-30	350	3900-5100	Электроэнергия	0.5

**Потенциал глобального потепления представляет собой тепло, поглощаемое любым парниковым газом в атмосфере, кратное количеству тепла, которое могло бы быть поглощено углекислым газом (CO₂).*

Широкие пределы воспламенения водорода 4–75 % (об.) против 1,5–76 % (об.) для бензина делают его идеальным горючим для двигателей. Скорость сгорания водорода-воздушной смеси в двигателе в 3 раза больше, чем изоктановой-воздушной смеси, при этом значительно более высокий термический КПД.

Двигатель на водороде может быть сконструирован с очень большой выходной мощностью, без радикальных изменений известных инженерных решений и в отношении

струкции, и в отношении системы зажигания. Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) на водородном горючем позволяет использовать зажигание посредством накала в месте дорогого стоящего искрового зажигания. Водородное горючее имеет шесть преимуществ, что не дает двигателю углеродных или свинцовых отложений, продукты сгорания химически неагрессивны, поэтому износ двигателя и расход масла в процессе эксплуатации, заметно снижается. Водородный двигатель легче запускается, летучесть водорода в сочетании с его воспламеняемостью делают его незаменимым горючим в условиях полярного холода. Термический КПД при работе ДВС на водороде возрастает при увеличении степени сжатия (при $\epsilon=5,45 \eta=37,5\%$ и при $\epsilon=7 \eta=43\%$). Реализация любой схемы использования водорода в ДВС зависит от создания экономичной, гибкой в использовании систем хранения водорода.

Автомобильный транспорт

На специальных заправках топливный бак заправляют сжатым водородом. Он поступает в топливный элемент, где есть мембрана, которая разделяет собой камеры с анодом и катодом. В первую поступает водород, а во вторую – кислород из воздухозаборника. Каждый из электродов мембраны покрывают слоем катализатора (чаще всего – платиной), в результате чего водород начинает терять электроны – отрицательно заряженные частицы. В это время через мембрану к катоду проходят протоны – положительно заряженные частицы. Они соединяются с электронами и на выходе образуют водяной пар и электричество.

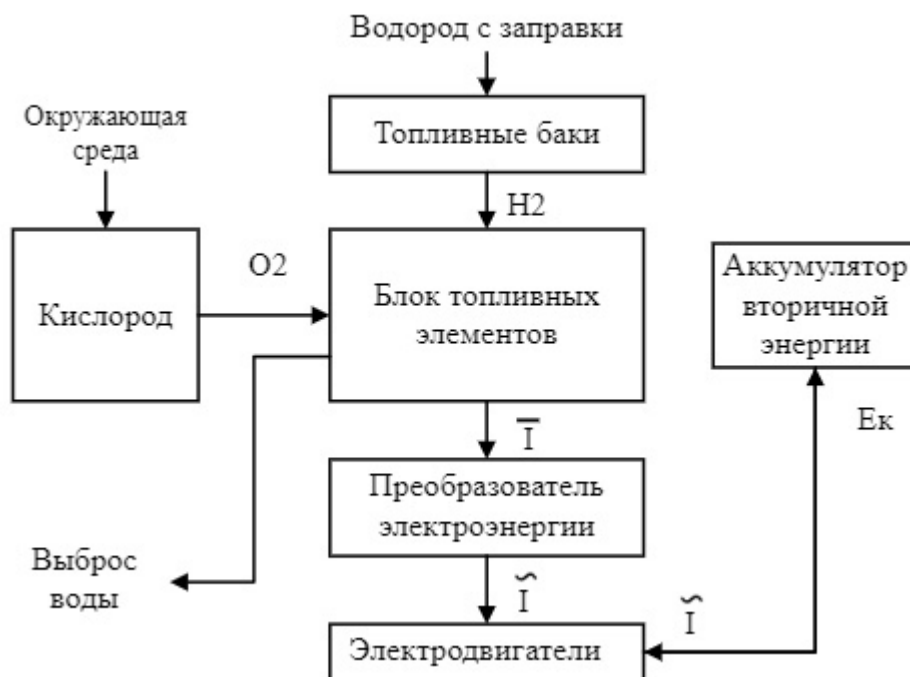


Рис.1 Схема работы гибридного автомобиля на водороде, получающего топливо из заправки

Суть работы водородомобиля — в получении электричества в ходе анодной реакции и его последующей передаче на электромотор (рис.1). К блоку топливных элементов подаются водород из бака и кислород из воздуха. В блоке топливных элементов происходит химическая реакция, в результате которой

окисляется водород и вырабатывается постоянный ток, каждый топливный элемент представляет из себя электрохимический генератор. Постоянный ток от блока топливных элементов поступает на электрический преобразователь, который преобразует его в переменный ток и отправляет к электродвигателям. Обычно водородомобиль снабжен двумя электродвигателями, по одному на каждое ведущее колесо. АКБ накапливает переменный ток, преобразовывая излишки кинетической энергии, образующейся при торможении. АКБ также отдает переменный ток на электродвигатели при трогании с места и резком ускорении.

Блок топливных (рис.2) элементов работает следующим образом: к аноду подается молекулярный водород H_2 , к катоду – кислород O_2 . Соединяясь в присутствии катализаторов, молекулы водорода и кислорода образуют воду и выделяют свободные электроны, которые поступают во внешнюю цепь, создавая постоянный ток.

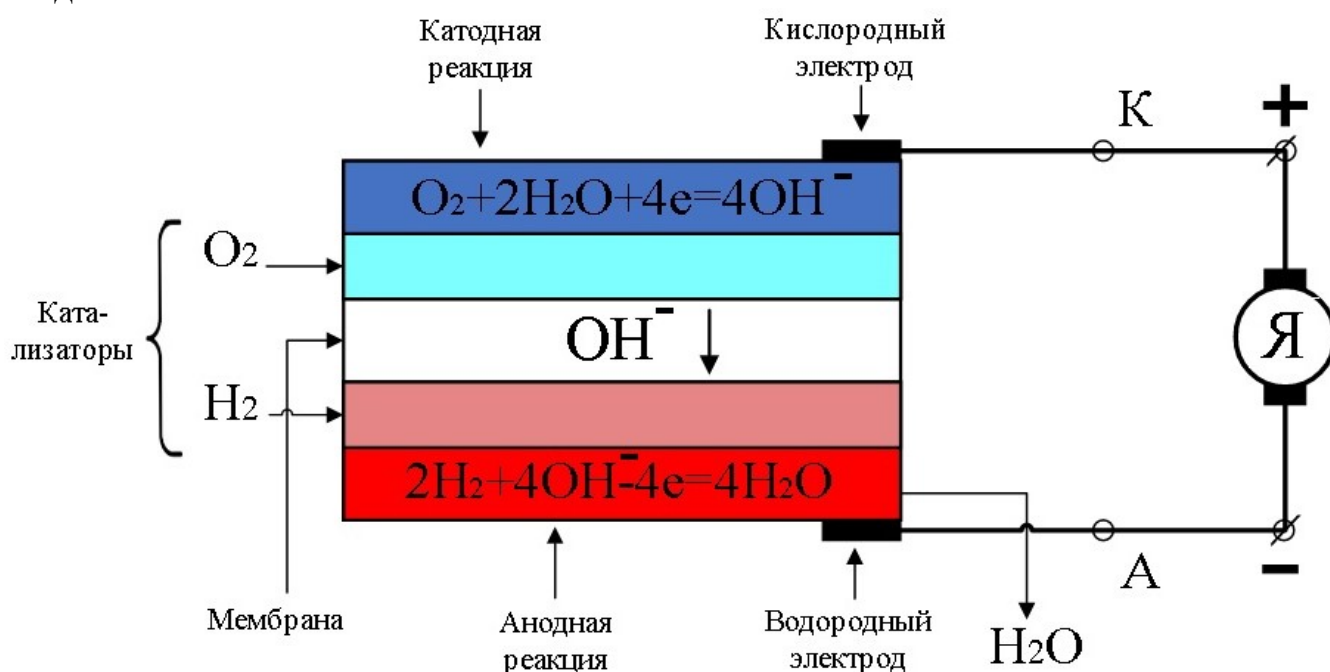


Рис.2 Схема блока топливных элементов

Плюсы водородного двигателя:

- Экологичность при использовании. Водородный транспорт не выбрасывает в атмосферу диоксид углерода;
- Высокий КПД. У двигателя внутреннего сгорания (ДВС) он составляет около 35%, а у водородного – от 45%. Водородный автомобиль сможет проехать на 1 кг водорода в 2,5-3 раза больше, чем на эквивалентном ему по энергоёмкости и объёму галлоне (3,8 л) бензина;
- Бесшумная работа двигателя;
- Более быстрая заправка – особенно в сравнении с электрокарами;
- Сокращение зависимости от углеводородов. Водородным двигателям не нужна нефть, запасы которой не бесконечны и к тому же сосредоточены в нескольких странах. Это позволяет нефтяным государствам диктовать цены на

рынке, что невыгодно для развитых экономик.

Минусы водородного двигателя:

- Высокая стоимость. Галлон бензина в США стоит около \$3,1, а эквивалентный ему 1 кг водорода – \$8,6. Водородные батареи содержат платину – один из самых дорогих металлов в мире.
- Дополнительные меры безопасности также делают двигатель дорогим: в частности, специальные системы хранения и баки из углепластика, чтобы избежать взрыва.
- Использование дорогостоящих металлов, например, в качестве катализатора используется платина. Проблемы с инфраструктурой. Для заправки водородом нужны специальные станции, которые стоят дороже, чем обычные.
- Не самое экологичное производство. До 95% сырья для водородного топлива получают из ископаемых. Кроме того, при создании топлива используют паровой риформинг метана, для которого нужны углеводороды. Так что и здесь возникает зависимость от природных ресурсов.
- Высокий риск. Для использования в двигателях водород сжимают в 850 раз, из-за чего давление газа достигает 700 атмосфер. В сочетании с высокой температурой это повышает риск самовоспламенения.

Заправочные станции. К концу 2006 г. во всем мире функционировали более 140 водородных автомобильных заправочных станций. Из общего количества заправочных станций, построенных в 2004–2005 гг., всего 8 % работают с жидким водородом, остальные – с газообразным. Отсутствие водородной инфраструктуры является одним из основных препятствий развитию водородного транспорта. Решением проблемы может стать применение водородной смеси топлива для двигателя внутреннего сгорания или смеси топлива с водородом. В январе 2006 г. компания Mazda начала продажи битопливного автомобиля Mazda RX-8 с роторным двигателем, который может потреблять бензин, водород. По состоянию на 2021 год по всему миру было доступно около 550 заправочных станций. Отсутствие водородной инфраструктуры является одним из основных препятствий

развитию водородного транспорта. Решением проблемы может стать применение водородной смеси топлива для двигателя внутреннего сгорания или смеси топлива с водородом. Водородные заправочные станции можно разделить на три типа: – мобильные; – стационарные; – домашние. Мобильные станции предназначены для заправки техники в местах, где нет другой водородной инфраструктуры. Эти станции размером с фургон. Энергоёмкость водорода относительно невелика, поэтому его необходимо хранить под большим давлением, чтобы это было экономически целесообразно. Преодоление подобных вызовов важно, например, для транспортных средств малой грузоподъёмности, поскольку у них имеется не слишком много места под топливные баки. ВЗС мобильного и контейнерного исполнения могут также оснащаться топливным элементом для выработки электроэнергии на борту, с возможностью использования заправки в качестве мобильного резервного генератора электроэнергии.

Стационарные топливные элементы распространены в большей степени, чем автомобильные источники питания. Стационарные станции предназначены для продажи водорода, произведённого на самой станции, или в другом месте. Некоторые из них располагаются на химических производствах, где производят водород, или получают водород в виде побочного продукта основного производства. В настоящее время в мире действуют около 600 энергоустановок, имеющих мощность более 10 кВт. Подавляющее большинство этих систем работают на природном газе. В последние годы наблюдается спад на рынке крупных стационарных энергоустановок на базе ТЭ, вместе с тем вырос объем продаж систем мощностью менее 10 кВт, которые могут использоваться в домашних условиях или как резервный источник питания.

Домашние заправочные станции создаются как решение проблемы отсутствия водородной инфраструктуры. Они могут производить 200 – 1000 кг водорода в год, что достаточно для заправки 1-5 автомобилей в сутки. Водород может производиться электролизом воды в ночное время. Это позволит сгладить пики потребления электроэнергии.

Honda испытывала свою бытовую установку под названием Домашняя энергетическая станция Honda. Установка в бытовых условиях производит водород из природного газа. Часть водорода используется в топливных элементах для производства тепловой и электрической энергии для дома. Оставшаяся часть водорода используется для заправки автомобиля.

Аналогичные разработки ведутся:

-Toyota совместно с Aisin Seiki Co. Домашняя система Toyota получает водород из природного газа, сжиженного нефтяного газа, или керосина, что цена домашней энергетической установки около \$4100.

-ITM Power Plc разработала и испытала в 2007 г. бытовую электролизёр для производства водорода. Водород производится ночью, что позволит сгладить пики потребления электроэнергии. Электролизер мощностью 10 кВт производит из воды водород, и хранит его под давлением 75 бар. Произведённого водорода достаточно для 40 км пробега битопливного (водород/бензин) Ford Focus. Себестоимость электролизеров \$164 за 1 кВт.

Таблица 2. Сравнение видов заправочных станций

Виды заправочных станций	Время заправки, мин	Давление, бар	Количество машин, в день
Бензиновая	3-5	2	250-1000
Водородная	3-5	75	10-500
Электрическая	15-30	нет	360-500

Получение водородного топлива для автомобиля.

Существует два способа получения водорода для автомобиля: получение топлива из водородных заправочных станций и генератор водорода на самом автомобиле.

Первый способ.

Водородные заправочные станции можно разделить на три типа:

- Мобильные
- Стационарные
- Домашние

Эти заправочные станции были рассмотрены в прошлом разделе.

Второй способ. Этот способ реализуется разложением воды на водород и кислород, существует несколько методов такого разложения:

1. Термодиализация воды (Нагревание). Процесс разложения воды на начнёт преобладать над процессом синтеза воды из водорода и кислорода при температуре +1476 по Цельсию. Температура в кислородно-водородных двигателях на ракетах более 2800 по Цельсию. При этом можно получить, как и в любом другом методе не только $2H_2 + O_2$, а также H^+ и $(OH)^-$. Но с увеличением температуры возрастает и КПД, так При 100С требуется 350 МДж тепловой энергии (КПД – 41 %). При 850С требуется 225 МДж тепловой энергии (КПД – 64 %). Крайне важен подбор материалов для электродов и электролита в твердом оксидном электролизном элементе. Один из вариантов – диоксид циркония, стабилизированный оксидом иттрия в качестве электролита, никель-керметовые электроды для водяного пара или водорода, и смесь оксидов лантана, стронция и кобальта для кислородных электродов. Соответственно этот метод для применения в автомобилях сложно реализуем.

2. Электролиз. Возьмем для примера электролизно-водородную установку "Прометей" эву-140, которую используют водородные сварочные аппараты.

Технические характеристики эву-140:

- питание: 220 В; 650Вт.
- максимальная производительность: 140 л/ч;
- вес: 18 кг;
- размеры 445x174x292 мм

650Вт выдает 140л/ч, а при 12В это примерно 55 А. Грубо 55А, мощность половина от той которую потребляет стартер в момент запуска двигателя, только он это делает несколько секунд, а тут потребление длительное. Конечно можно в автомобиль поставить генератор на 120А/ч, но если двигатель у будет крутить менее 2500 оборотов после остановки он может и не завестись.

Теперь возьмём 140л/ч и возьмём столько литров газообразной смеси, сколько потребляет двигатель. 140л/ч это 140 литров так называемого гремучего газа (газ Брауна), по объему на 2/3 состоит из водорода и на 1/3 из кислорода. Отсюда получаем 93,3 литра водорода. Этого очень мало. Допустим если разложить 1 литр (килограмм) воды то получим 1,244м³ смеси водорода и кислорода. 1 килограмм водорода занимает объем 11,2 м³, соответственно 93,3 литра это 0,00833кг, или 8,33г. Таким образом этот способ малоэффективен.

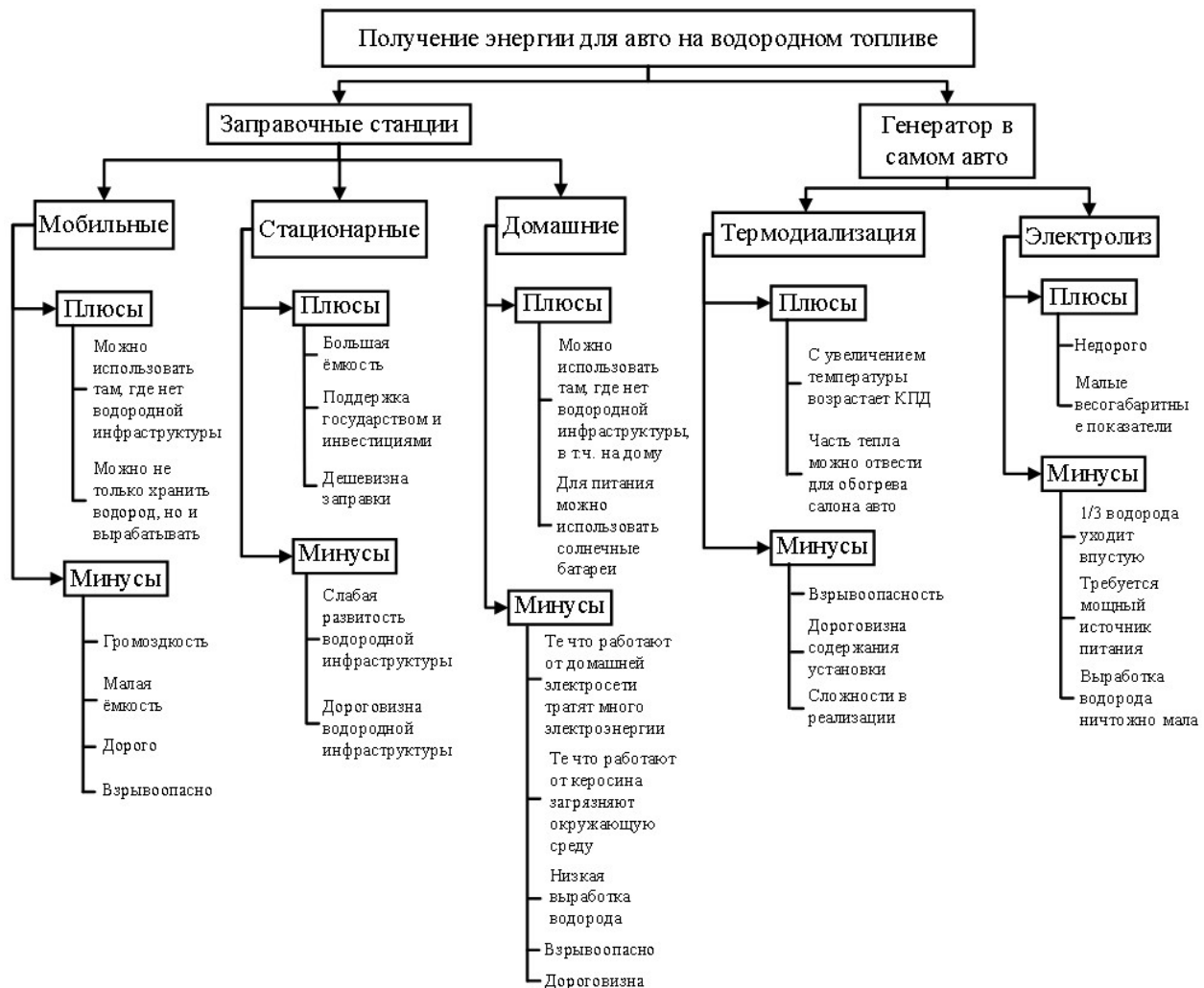


Рис.3 Древо способов получения водородного топлива

Серийные и мелкосерийные водородные проекты

Toyota Mirai: Цена машины стартует с 3,5 млн. рублей. Заявленный ресурс одной ячейки — 250 000 км. А если ячейка сломается, ее можно заменить локально. На одной полной заправке пробег составляет примерно 600-700 км. Максимальный крутящий момент 335 Нм. Максимальная мощность электродвигателя 154 л.с.

Mirai иллюстрирует классическую компоновку водородомобилей. В топливном элементе происходит химическая реакция и вырабатывается электричество, которое передается на батарею, а оттуда поступает на электромотор, который вращает колеса. Батарея нужна, чтобы обеспечить ровную работу топливному элементу независимо от режима движения. Теоретический КПД при получении электричества из водорода достигает 83%.

Honda Clarity: Энерговооруженность *Clarity* составляет 174 л.с. и 300 Нм крутящего момента. Водород хранится в 141-литровом баке под давлением 690 атмосфер. По японскому тестовому циклу JC08 одной заправки хватит на 750 км пути. По оценкам американских сертификационных ведомств, этот показатель составит 482 км.

Опционально Honda Clarity можно превратить в генератор, который сможет справиться с питанием целого дома в течение недели. Существует также гибридная и электрическая модификации машины.

Hyundai Nexo: Компоновка Nexo традиционная: три водородных бака пристроили под полом в задней части кузова, электромотор разместили под капотом, а батарею — в багажнике.

Отдача электромотора - 120 кВт (163 л.с.), крутящий момент 394 Нм. С места до 60 миль (96 км/ч) Hyundai Nexo разгоняется за 9,5 секунды, запас хода — 595 км. Испытательная программа подтвердила легкий пуск Hyundai при температуре до -6 °С.

По заявлению производителя, гарантированный ресурс водородной силовой установки у Nexo составляет десять лет или 160 000 километров. При этом в реальной эксплуатации ресурс будет еще выше – 240 000 километров.

Mercedes-Benz GLCF-Cell: Водородную машину можно подзарядить от розетки. Также можно выбрать между четырьмя режимами движения: Hybrid (оптимальное распределение между топливным элементом и аккумулятором), F-Cell (аккумулятор сохраняет заряд, работает водородная часть), Battery (используется только батарея) и Charge (ускоренный заряд аккумулятора на ходу).

Мощность составляет до 211 сил. Машина сможет проехать примерно 50 км. 4,4 кг водорода хватает на 430 км пробега. Привод – исключительно на заднюю ось.

BMW X5 iHydrogenNext: Силовая установка экспериментальной машины состоит из топливных ячеек, баллонов для хранения водорода, конвертера, электромотора и батареи. Посредством электрохимической реакции в ячейках водородное топливо преобразуется в электроэнергию, которая накапливается в батарее, питающей двигатель. Мощность водородных ячеек – 125 кВт (170 л.с.). Баллоны высокого давления (690 атм.) скомпонованы под полом, в них можно накапливать до 6 кг газа. Электродвигатель и батарея взяты от перспективного электрокроссовера iX3, они установлены в районе задней оси, мощность двигателя – 275 кВт (369 л.с.). Ведущими у i Hydrogen Next являются только задние колеса, полный привод не предусмотрен в принципе. У машины также есть система рекуперации энергии торможения.

Таблица 3. Производства автомобилей на водородном топливе (без учета концептов)

Модель	Годы производства	Количество, шт.
BMW X5 i Hydrogen Next	2022 — н. в.	100
Toyota Mirai	2015 — н. в.	≈ 5000
Hyundai Tucson FCEV	2013–2018	До 10000
Hyundai Nexo	2018 — н. в.	до 1000
Mercedes-Benz GLC F-cell	2017 — н. в.	до 1000

Использование водорода как топлива имеет неоспоримые преимущества. Это почти полное отсутствие вредных выхлопов от двигателя, повышенное КПД, простая генерация, простота использования, бесшумность. Существует два

типа водородных двигателей. Это классический ДВС и двигатель с применением топливных элементов. Сравнение этих типов двигателей приведено в табл.4

Таблица4. Сравнение типов водородных двигателей

Вид водородного двигателя	КПД,%	Надежность	Уровень шума
ДВС	35-40	Нет	Больше
Двигатель с применением топливных элементов	90	Да	Меньше

Так же существует вариант с получением водорода прямо в автомобиле, но это не имеет смысла т.к массогабаритные характеристики увеличатся, эксплуатация подобного автомобиля не является безопасной и все равно придется заправлять автомобиль веществами для синтеза водорода.

Вывод. На основе сравнения разных видов водородных двигателей и заправок, можно сделать вывод, что двигатель с применением топливных элементов является наилучшим вариантом т.к он надежнее ДВС, менее шумный и обладает наибольшим КПД. Создание водорода в самом автомобиле нецелесообразно, поэтому лучше всего использовать уже готовый водород из стационарных заправок так как стационарные заправки самые дешевые и способны принять большее количество автомобилей за один и тот же промежуток времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колотушкин Д.О. Полуянович Н.К, Береснев А.Л., Микроконтроллерное устройство для получения водорода. Патент на полезную модель RU 112905. Оpubл. 27.01.2012 Бюл. №3. Заявка 2011125670/07, 22.06.2011.
2. Колотушкин Д.О., Полуянович Н.К. Частотный способ получения водородного топлива микроконтроллерным устройством. Сб. научн. ст..П-МНПК . «Геосистемы: факторы разви-тия, рациональное природопользование, методы управления» г Туапсе 4-8 октября 2011г. Краснодар: Изд-й Дом-Юг, 2011.- 418с. (с.289-291).
3. Полуянович Н.К. Энергетическая электроника/ Пособие по решению задач и методические указания / Таганрогский радиотехнический университет, Кафедра теоретических основ электро-техники. Таганрог, 2001.
4. Полуянович Н.К., Береснев А.Л., Притула А.Н. Адаптивная система озонирования воздуха для двигателя внутреннего сгорания. Патент на полезную модель RU 112948 U1, 27.01.2012. Заявка № 2011112408/06 от 31.03.2011.
5. Притула А.Н., Береснев А.Л., Полуянович Н.К., Соловьев М.А. Проектирование адаптивной системы озонирования воздуха для двигателей внутреннего сгорания. Молодой ученый. 2013. № 1. С. 14-17.

621.865.8.

ОБЗОР РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОХРАНЫ ТЕРРИТОРИИ.

Заболотин Д.Ю., Воротников М.И.

ИТА ЮФУ, Таганрог

В современном мире беспилотные летательные аппараты (БПЛА) - искусственный мобильный объект многоразового применения, не имеющий на борту экипажа (пилота) и способный самостоятельно передвигаться в воздухе для выполнения всевозможных функций в автономном режиме (с помощью своей управляющей программы) или с помощью дистанционного управления (осуществляемого человеком-оператором со стационарного или мобильного пульта управления) применяются в широком спектре задач. Их применение позволяет решить задачи, которые невозможно, опасно или нецелесообразно решать с использованием пилотируемых летательных аппаратов или других систем. В данной работе исследуется опыт применения БПЛА в охранных системах.

Рассмотрим комплексы, заявленные производителем как предназначенные для охраны территории. Они должны обладать специфическим функционалом и оборудованием позволяющим включить их в существующую охранную систему. Также необходима высокая степень автоматизации процесса, позволяющая использовать низкоквалифицированный персонал.

Интерес к БПЛА вызван теми преимуществами, которыми данные комплексы обладают по сравнению с пилотируемой авиацией, а именно[1]:

- практическое отсутствие ограничений на перегрузки для БЛА в связи с отсутствием на борту пилота
- широкий диапазон погодно-климатических условий применения
- возможность применения в районах природных и техногенных катастроф, когда использование пилотируемой авиации невозможно или нецелесообразно
- довольно невысокая цена разработки, изготовления и эксплуатации комплексов с БЛА;
- невысокая стоимость подготовки обслуживающего персонала и т.д.

Рассмотрим комплекс на основе “БПЛА Форпост X8” от компании ”СЪЕМКА С ВОЗДУХА”. [2]

Комплекс состоит из БПЛА Форпост X8, командного пульта и базовой станции.

- Форпост X8 - Полностью защищенный от осадков БПЛА. 8 винтомоторных групп и 2 аккумулятора дублируют критические узлы беспилотника. На гиросtabilизированном подвесе установлена камера оптического

диапазона с 30-ти кратным оптическим зумом и тепловизионный модуль. Время полета БПЛА с нагрузкой составляет 30 минут.

- Базовая станция –представляет собой устройство, осуществляющее зарядку и (только в наземной всепогодной версии) защиту от осадков.
- Командный пульт –устройство с которого оператор отдаёт команду на взлёт, производить объективный контроль происходящего, имеет возможность принять управление на себя.

Наземная станция БПЛА встраивается в имеющуюся охранную систему. Антенны связи с БПЛА выводятся на крышу на специальную мачту. В охранную систему интегрируется управление беспилотником через специализированное ПО. Через пульт оператора имеется возможность

управлять беспилотником и задавать полетное задание в автоматическом режиме. На нескольких экранах оператор беспилотника видит информацию с тепловой камеры и камеры оптического диапазона, которые идут в комплекте БПЛА. С помощью камеры теплового диапазона есть возможность видеть людей, автомобили и другие нагретые объектов в темное время суток. Полет БПЛА осуществляется в автоматическом режиме, в том числе взлет и посадка, оператору необходимо только направлять камеру на объект интереса. При обнаружении необходимого объекта, БПЛА может следить за ним до прихода работников охраны.

Также стоит упомянуть систему ММС Т1 (универсальная привязанная система дрона, представляет собой прямую систему проводного питания, которая обеспечивает бесперебойную выносливость намного дольше, чем традиционная система питания Li-Po), её применение позволяет обеспечить практически бесконечное время полёта, но значительно ограничивает мобильность и радиус применения БПЛА. С её помощью возможно в сжатые сроки организовать долговременное наблюдение за территорией.

Рассмотрим комплекс группы компаний «АБ-САФЕТИ».[3]

Для контроля и мониторинга периметра объектов большой площади в тесном сотрудничестве с компанией «Аэромакс» охранным предприятием «АБ-САФЕТИ» была разработана передовая система охраны, эффективность которой примерно в 15 раз выше, чем у традиционных комплексов видеонаблюдения.

Система состоит из комплекса мероприятий с применением БПЛА. Беспилотник по полетному заданию в течение 45 минут находится непрерывно в воздухе и проводит мониторинг территории. Его радиус облета составляет до 7 км от точки старта. Функция автоматического полета по заданным точкам позволяет «АБ-САФЕТИ» контролировать территорию и оперативно реагировать на возникновение инцидентов.

Данная система патрулирования способна при помощи БПЛА с расстояния 400 метров обнаружить и остановить нарушителя охраняемой зоны. С этой целью используемые беспилотники оснащены прожектором и громкоговорителем. «Воздушный» секьюрити передает нарушителю требование «немедленно покинуть территорию». Установленная на базе

комплекса функция распознавания лиц в режиме онлайн передает данные о нарушителе на пункт охраны, что повышает оперативность реагирования сотрудников службы безопасности на инциденты. С расстояния 300 метров тепловизионная камера БПЛА обнаруживает человека в темное время суток в лесной местности.

Дрон-охранник позволяет оперативно и эффективно решать многие специфические задачи. Его полет практически бесшумен, а конструкция позволяет оператору использовать различные целевые нагрузки для решения инцидентов любой сложности.

Успех вышеописанных коммерческих предложений свидетельствует о заинтересованности эксплуатантов в аналогичных системах и перспективах их развития. По данным компании "СЪЕМКА С ВОЗДУХА", 95% срабатываний систем сигнализации, приводящих к вызову ГБР (группы быстрого реагирования) ложны. Использование БПЛА позволяет определять ложность срабатывания, тем самым уменьшить количество вызовов ГБР, что в свою очередь позволяет сократить их количество. Экономия на сотрудниках, транспорте и оборудовании, применяемом ими, позволяет окупать данные комплексы за несколько месяцев. При этом высокая степень автоматизации позволяет снизить затраты на обучение операторов, в сравнении с использованием БПЛА вне состава специализированного комплекса.

Из двух, рассмотренных выше, комплексов, решение компании "СЪЕМКА С ВОЗДУХА" является более предпочтительным. Производитель предоставляет широкую номенклатуру базовых станций для решения различного круга задач. Система может функционировать долгое время без ручной замены АКБ. Производитель разработал мобильные базовые станции для оперативной подзарядки БПЛА. При этом, благодаря высокой степени автоматизации, предъявляются минимальные требования к уровню подготовки оператора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Белино-Белинович Т. С.* Беспилотные летательные аппараты в деятельности органов внутренних дел // Проблемы и перспективы развития научно-технологического пространства России : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 11 июня 2020г. : Белгород : ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2020. С. 55-57. URL: <https://apni.ru/article/893-bespilotnie-letatelnie-apparati-v-deyatelnosti> (дата обращения 18.11.2022)
2. Применения БПЛА для охраны и мониторинга. [Электронный ресурс]. URL: <https://rusdrone.ru/otrasli/okhrana/> (дата обращения 18.11.2022)
3. Дроны-охранники займутся патрулированием территории гостиничного комплекса CosmosCollectionIzumrudnyLes. [Электронный ресурс] URL: <https://ru-bezh.ru/press-releases/41492-dronyi-okhranniki-zajmutsya-patruirovaniem-territorii-gostinichn> (дата обращения 18.11.2022)

УДК 621.865.8.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ КОЛЁСНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ АВТОНОМНОЙ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТАХ

Чернышёв Н.С., Яцишин О.И.
Таганрог. ИТА ЮФУ

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы перемещения грузов всегда были актуальны для всех областей деятельности человека. Существует множество подходов к решению данной задачи. Одним из наиболее успешных решений можно считать использование беспилотной техники. Влияние человеческого фактора в этом случае сводится к минимуму.

Это направление начало развиваться совсем недавно, но уже сегодня мы можем наблюдать эффективность применения данного подхода к проблеме доставки грузов. Существующие на данный момент разработки активно применяются и позволяют значительно упростить процесс перевозки различных грузов. Однако, ввиду новизны данного решения, у большинства прототипов существует ряд недостатков. Учитывая эти недостатки, усовершенствование беспилотных аппаратов не прекращается и идёт ускоренными темпами.

В данной статье будут приведены примеры двух инженерных подходов, ориентированных на достижение различных целей.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей данной статьи является проведение сравнительного анализа двух беспилотных аппаратов от компаний Hyundai и Yandex.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Созданный компанией Yandex робот – курьер разработан для перевозки грузов весом до 20 килограммов. Он активно тестируется в качестве доставщика еды. Серия данных изделий получила название Rover. Сегодня используется модель третьего поколения.

Характеристики аппарата максимально приспособлены к передвижению по городу. Однако он способен передвигаться и в тяжёлых условиях. Робот может забираться на высокие бордюры, ездить по бездорожью, преодолевать снежную кашу и другие сложные участки пути.

Роботы оснащены 60-литровым баком, рассчитанным на перевозку большого количества различных товаров. Кроме того, роботы-доставщики оборудованы съёмной батареей. Когда аккумулятор снят, Rover питается от небольшой резервной батареи.

Среди главных нововведений улучшенный лидар, который позволяет лучше видеть близкие объекты: угол обзора по вертикали стал шире, а число испускаемых лучей увеличилось с 16 до 64. Также появилась дополнительная камера с большим фокусным расстоянием, позволяющая видеть светофоры на противоположной стороне даже очень широкой дороги.^[1]

Таким образом, платформа данного типа является отличным примером решения конкретной задачи в сфере потребительских услуг.

Подразделение Hyundai Motor, которое занимается разработкой роботизированных транспортных средств, создало беспилотник, который предназначен для доставки грузов в труднодоступные места. Он получил название Tiger X-1 (Transforming Intelligent Ground Excursion Robot — интеллектуальный наземный робот-трансформер).

Tiger X-1 построен на модульной платформе с использованием 3D-печати, его колеса со встроенными электромоторами способны в случае необходимости трансформироваться в гибкие «ноги». Благодаря им транспорт может менять дорожный просвет в очень широком диапазоне, при необходимости просто «перешагивая» через препятствия или взбираясь на уступы. Компоненты самих «ног» при этом имеют пространственную решётчатую структуру для снижения веса. Обдумывается возможность изготовления таких решёток методом 3D-печати из углепластиков или титана. Большая часть технических характеристик на данный момент не раскрывается.^[2]

Задействовать такие транспортные средства планируется для поисково-спасательных служб, научных экспедиций, доставки грузов в районы со сложным рельефом и тому подобного.

Разработку можно использовать в паре со специальным летающим дроном, который переносит его ближе к точке назначения, а также заряжает аппарат. Концепт с комбинированным двигателем — это прообраз целой модульной платформы, для которой предусмотрено сочетание шасси с различными типами кузова.

Область применения Tiger X-1 довольно обширна. Робота-шагохода планируют использовать как для доставки посылок в городах и за их пределами, так и при научных исследованиях. Беспилотник также сможет работать на поверхности Луны и различных планет.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Подводя итоги, необходимо отметить, что разработка Yandex предназначена для решения коммерческих задач на рынке услуг по доставке товаров. Компания не ставила перед собой цели по решению более сложных проблем. Сфера применения Rover ограничена и не имеет широких перспектив для развития.

Беспилотник от компании Hyundai, в свою очередь, рассчитан на решение широкого круга задач. Использование платформы в паре с дроном существенно расширило возможности его применения в различных локациях. В отличие от

Rover, Tiger-Хдолжен стать прообразом широкой линейки роботов данного класса. Он может применяться для различных целей не только в городе, но и в самых труднодоступных местах, и даже на других космических телах. Аппарат обладает большим потенциалом для роста технических характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Как мы создавали третье поколение роботов курьеров-Яндекс [Электронный ресурс] <https://yandex.ru/blog/company/kak-my-sozdavali-trete-pokolenie-robotov-kurerov> (дата обращения: 15.11.2022).

2. Hyundai Motor Group unveils TIGER uncrewed Ultimate Mobility Vehicle concept—Hyundai [Электронный ресурс] <https://www.hyundai.com/au/en/news/mobility/hyundai-motor-group-unveils-tiger-uncrewed-ultimate-mobility-vehicle-concept> (дата обращения: 17.11.2022)

УДК 656.7.025

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ БПЛА

Юров Ю.Ю.

руководитель доцент, к.т.н. ЭиМ Кульченко А.Е.

ЮФУ, Таганрог

Основное назначение автоматической платформы — решение проблемы малого времени работы БПЛА коптерного типа (беспилотный летательный аппарат). Аппарат может выполнить зарядку или замену батарей в посадочной станции, и продолжить свою миссию. Также такие платформы могут иметь и другие функции автоматического наземного обслуживания БПЛА — получение грузов, укрытие и хранение БПЛА, обмен данными и т.п.

БПЛА используются для широкого круга задач [1-5], таких, как доставка грузов, изучение местности, сбор данных и т.д. Среди существенных недостатков можно выделить маленький объем аккумулятора, уязвимость систем дистанционного управления, и высокий шум. Сама платформа поможет устранить ряд проблем. Она обеспечит комфортную выдачу товара клиенту, и избавит от шума при доставке [6-7]. Также при посадке дрона на платформу, она будет заряжать аккумуляторы, что позволит увеличить доступную зону покрытия [8].

Цель проекта заключается в том, чтобы создать модель автономной платформы, предназначенную для решения задач приема товаров от дронов, зарядки аккумуляторов, выдачи товара, а также его хранения и защиты от неблагоприятных условий.

Что предлагается:

1. Удобный сервис, с быстрой доставкой и получением;
2. Автоматическое функционирование, которое обеспечит автономное функционирование на длительный срок;

3. Надежное хранение, которое обеспечит защиту от неблагоприятных условий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать схему системы автоматического управления стыковочной платформы;
2. Разработать систему моделирования стыковочной платформы;
3. Провести компьютерное моделирование функционирования стыковочной платформы с использованием разработанной системы автоматического управления;
4. Исследовать надежность подсистем и механизмов. Внести корректировки.

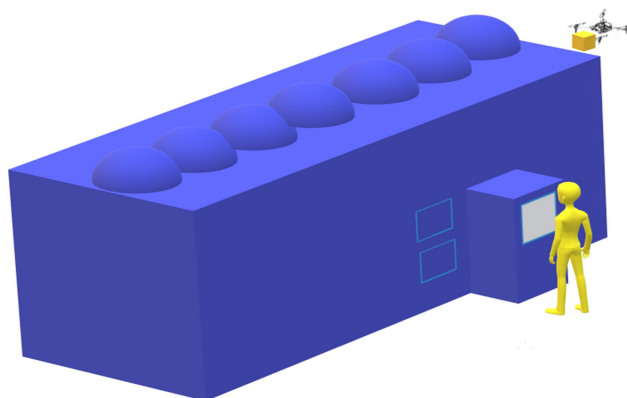


Рис. 1 Внешний облик.

Платформа имеет простую форму параллелепипеда. Верхняя часть используется для посадки БПЛА, одна из боковых стенок имеет окно для выдачи товара (см. рис. 1). Внутри находится конвейерная система (рис. 2). Для повышения надежности она оснащена двумя двигателями. В этом случае, если один выйдет из строя, то система продолжит функционировать. Для переключения режимов система оснащена коробкой передач. С использованием конвейерной ленты товар распределяется внутри платформы между отделами хранения.

Процедура доставки товара выглядит следующим образом. БПЛА приземляется на свободную посадочную площадку.

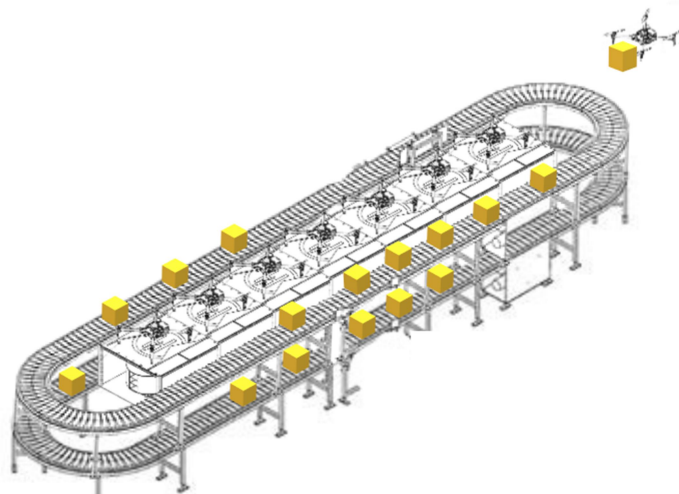


Рис. 2 Внутреннее устройство

Затем летательный аппарат вместе с грузом отпускается внутрь платформы, где поступает на конвейер. Сенсоры считывают код груза и отправляют в один из подотделов конвейерной ленты при этом запоминая в каком подотделе он находится. Клиент взаимодействует с платформой через терминал, на котором он вводит код. Платформа выбирает товар с соответствующим штрих кодом. Обнаружив груз, система переместит его в место выдачи. Когда груз помещается в место выдачи, перед клиентом открывается одно из окон для получения. Окно выдачи закрывается после удаления товара.

Автономная платформа состоит из следующих элементов:

- вычислительная плата на базе микроконтроллера;
- исполнительные механизмы - двигатели, драйверы, коробка передач и т.д.;

- система беспроводной связи Wi-Fi 2.4/5.8 ГГц;

- сенсорная система - датчики расстояния, давления и т.д.

Блок управления исполнительными механизмами - драйверы

Алгоритм функционирования системы

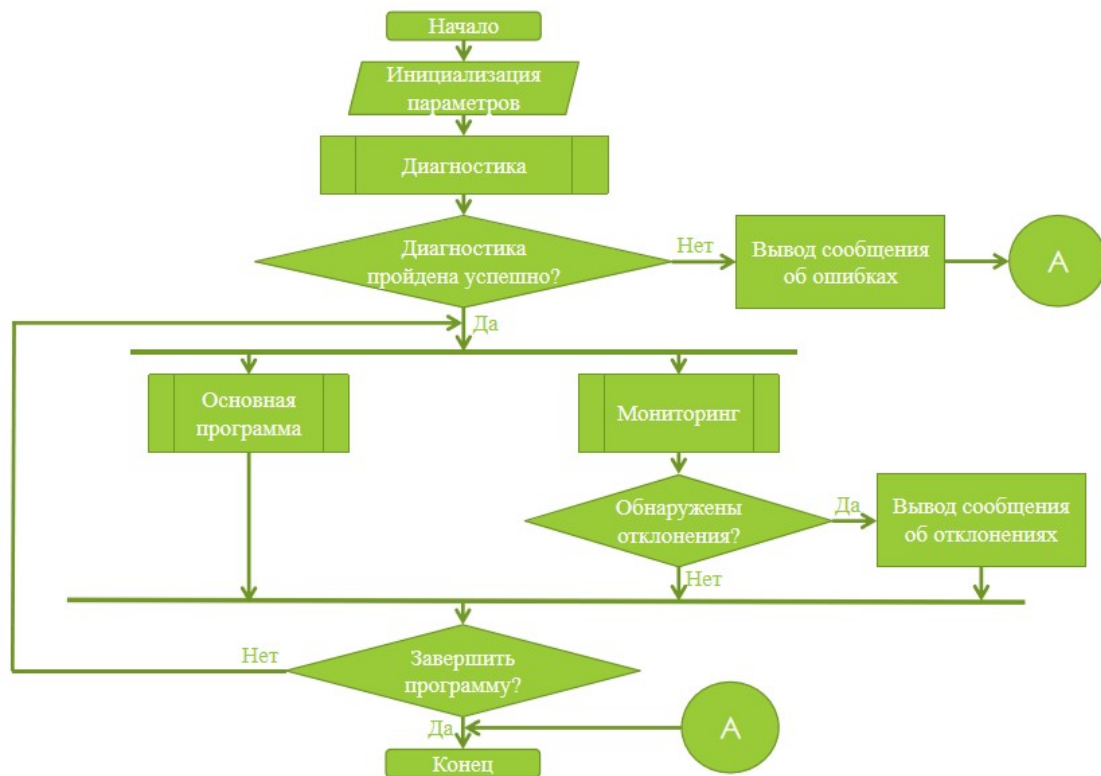


Рис.3 Общая блок-схема работы ПО

На рисунке 3 приведен общий алгоритм функционирования системы. Он включает этапы:

- Начало - запуск системы.
- Инициализация параметров - считываться настройки из файла.
- Диагностика - (функция) получение результата.
- Диагностика успешно пройдена - (Вызов процедуры, условие) Если не прошли проверку то, вывод сообщение об ошибке.
- Если прошли проверку, то запускаются 2 параллельных процесса: основная программа работы платформы и мониторинг состояния.
- Если в ходе мониторинга обнаружены отклонения, то происходит вывод сообщения об ошибке и дальнейшая обработка, если нет ошибок, то продолжается работа в штатном режиме.
- Завершение программы – производится, если пользователь остановил программу или произошла критическая ошибка. В другом случае программа продолжает работать.

Выбор компонентов

В качестве вычислителя платформы предлагается использовать 32-разрядный микроконтроллер STM32L476ZGT6. Он имеет достаточную производительность для подобных решений и необходимый набор интерфейсов (CAN, SPI, UART, GPIO).

Для определения расстояния выбран TOF датчик VL53L1X. Характеристики датчика полностью отвечают исходным техническим требованиям: дальность от 0 до 50 сантиметров, высокая частота опроса.

Заключение

На данном этапе для проекта разработан алгоритм функционирования системы, произведен выбор вычислителя, разработана структурная схема автономной платформы и выбран компоненты системы. На следующем этапе предстоит разработать систему моделирования стыковочной платформы. Проверить функционирование стыковочной платформы с применением компьютерного моделирования и перейти к разработке демонстрационного макета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конструируем роботов. Дроны. Руководство для начинающих [Электронный ресурс]<https://e-univers.ru/upload/iblock/9df/9df8a4fcffdf7024b9c33c2fe8bbcbd0.pdf> (дата обращения 12.10.2022).
2. US7398946B1 - Power line sentry charging - Google Patents[Электронный ресурс]<https://patents.google.com/patent/US7398946B1/en> (дата обращения 13.10.2022)
3. robotrends.ru/robopedia/avtomatizirovannye-sistemy-dlya-zapuska-bespilotnika (дата обращения 14.10.2022)
4. Дронопорты. Автономные взлетно-посадочные платформы для беспилотников[Электронный ресурс]<https://robotrends.ru/robopedia/avtomatizirovannye-sistemy-dlya-zapuska-bespilotnika> (дата обращения 14.10.2022)
5. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ С БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ[Электронный ресурс]<https://mil.ru/files/morf/Sbornik-konferencii-2017.pdf> (дата обращения 14.10.2022)
6. Посадочная платформа для БПЛА вертикального взлета и посадки[Электронный ресурс]https://yandex.ru/patents/doc/RU2722249C9_20200724(дата обращения 14.10.2022)
7. Домики для дронов: какие посадочные платформы БПЛА бывают, что внутри, чем отличаются, кто делает и как выбрать нужную[Электронный ресурс]<https://habr.com/ru/company/innopolis/blog/521948/> (дата обращения 14.10.2022)
8. Ключевые отличия автономных БПЛА от обычных дронов, проблемы и перспективы[Электронный ресурс]<https://militaryarms.ru/voennaya-texnika/aviaciya/avtonomnye-bpla/> (дата обращения 11.10.2022)

УДК 629.12:62-529

ОЦЕНКА И АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Веревкина Л.С., Тупиченко И.И., Меерович Д.И.

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

В статье рассматривается устройство системы управления автономного необитаемого подводного аппарата (СУ АНПА) для сейсморазведки в океане, работающего в группе. Приведена структура СУ АНПА с дорогостоящим оборудованием, к которому предъявляются высокие требования надежности. Выполнена оценка надежности, дан ее анализ и определены пути обеспечения требуемых параметров. Рассчитана интенсивность отказов СУ АНПА и построены графики вероятности отказов по рассчитанным данным и заданным для ресурса СУ АНПА не менее 10000ч, с учетом выполнения не менее 100 циклов, при погружении на максимальную глубину 200м. Определены комплектующие изделия, входящие в состав СУ РК АНПА, для которых рассчитаны регламентные работы, обеспечивающие заданную надежность, включая сроки службы.

Для проведения сейсморазведки месторождений углеводородов, а также для обеспечения мониторинга процесса разработки месторождений, инженерные изыскания - сейсморазведка 4D - одним из перспективных способов является использование роботизированных комплексов (РК) [1], в которых выполняют построение антенных решеток посредством автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) (рис.1). РК АНПА предполагает круглогодичную эксплуатацию в акваториях арктических морей с тяжелыми гидрометеорологическими условиями, в том числе и под ледовым покровом.

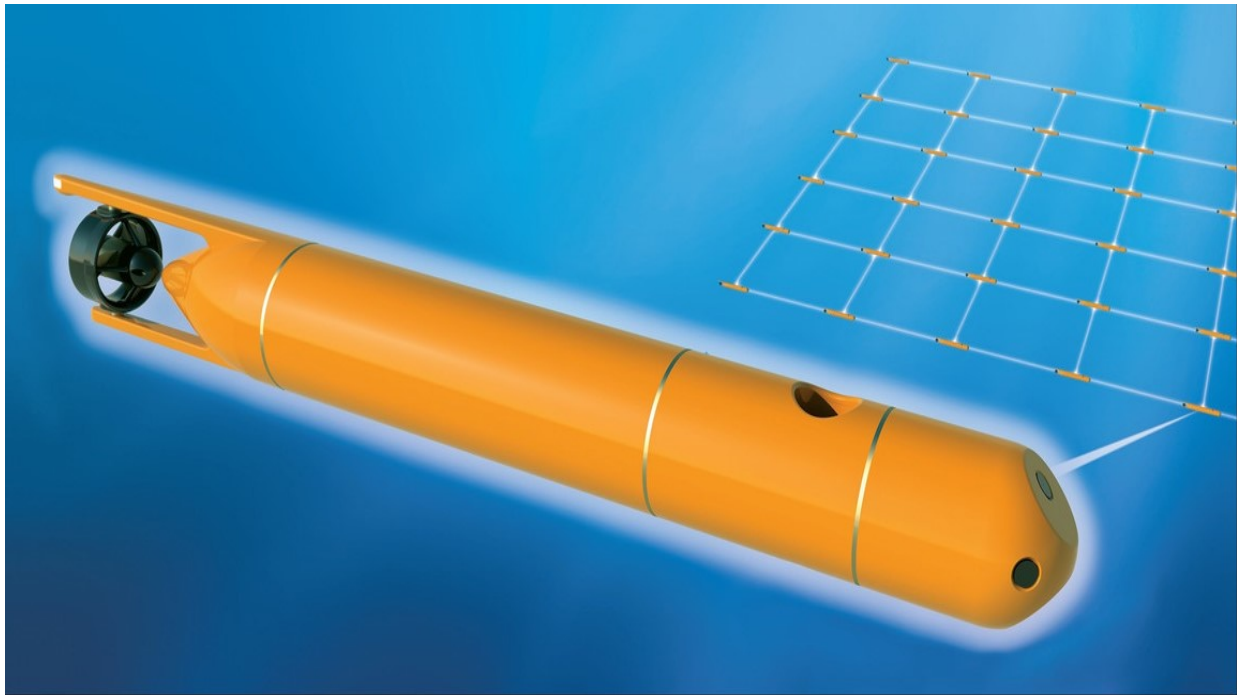


Рис. 1 – Сейсморазведка с использованием АНПА
На рис. 2 представлена структурная схема СУ АНПА.

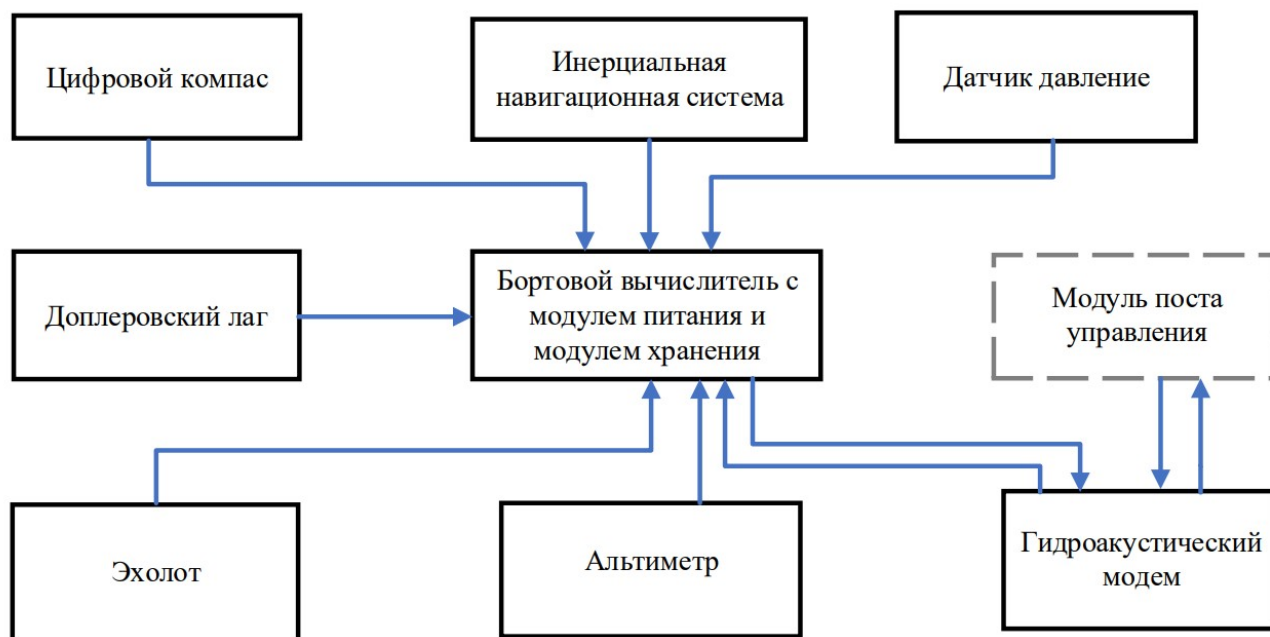


Рис. 2 – Структурная схема СУ АНПА

На первом этапе дана оценка по аналогам интенсивности отказов компонентов СУ АНПА[2]. В табл. 1 приведен расчет надежности оборудования СУ АНПА.

Табл. 1 – Расчет надежности оборудования СУ АНПА [3-5]

Оборудование, комплектующие	Наработка на отказ [3, 4], час.	Интенсивность отказов 1 шт. $\lambda \cdot 10^{-6}$, 1/час.	Количество, шт. п, шт.	Итого $\lambda \cdot 10^{-6}$ 1/час. *
1.1 Бортовой вычислитель с модулем питания и модулем хранения	80000	12,5	1	12,5
1.2 Инерциальная навигационная система	80000	12,50	1	12,50
1.3 Доплеровский лаг	2500	400,00	1	400,00
1.4 Альтиметр	8760	114,00	1	114,00
1.5 Эхолот	1500	666,67	1	666,67
1.6 Цифровой компас	40000	25,00	1	25,00
1.7 Датчик давления	200000	5,00		5,00
1.8 Гидроакустический модем	50000	20,00	1	20,00
				1242,17

Из расчета надежности оборудования СУ АНПА табл. 1 можно определить структурные части СУ АНПА, у которых наработка на отказ меньше требуемой 10000 часов - это эхолот, альтиметр и доплеровский лаг.

Рассчитанная интенсивность отказов СУ АНПА по исходным данным приведенным в табл.1 составила $\lambda = 1242,17 \cdot 10^{-6} 1/\text{час}$. Определяем наработку на отказ СУ АНПА

$$T = 1/\lambda, \quad T = 1/(1242,17 \cdot 10^{-6}) = 805 \text{ час.}$$

На рис.3, рис.4 приводятся графики вероятности отказов $P(t) = e^{-t/T}$, СУ АНПА и проблемных модулей: эхолота и доплеровского лага.

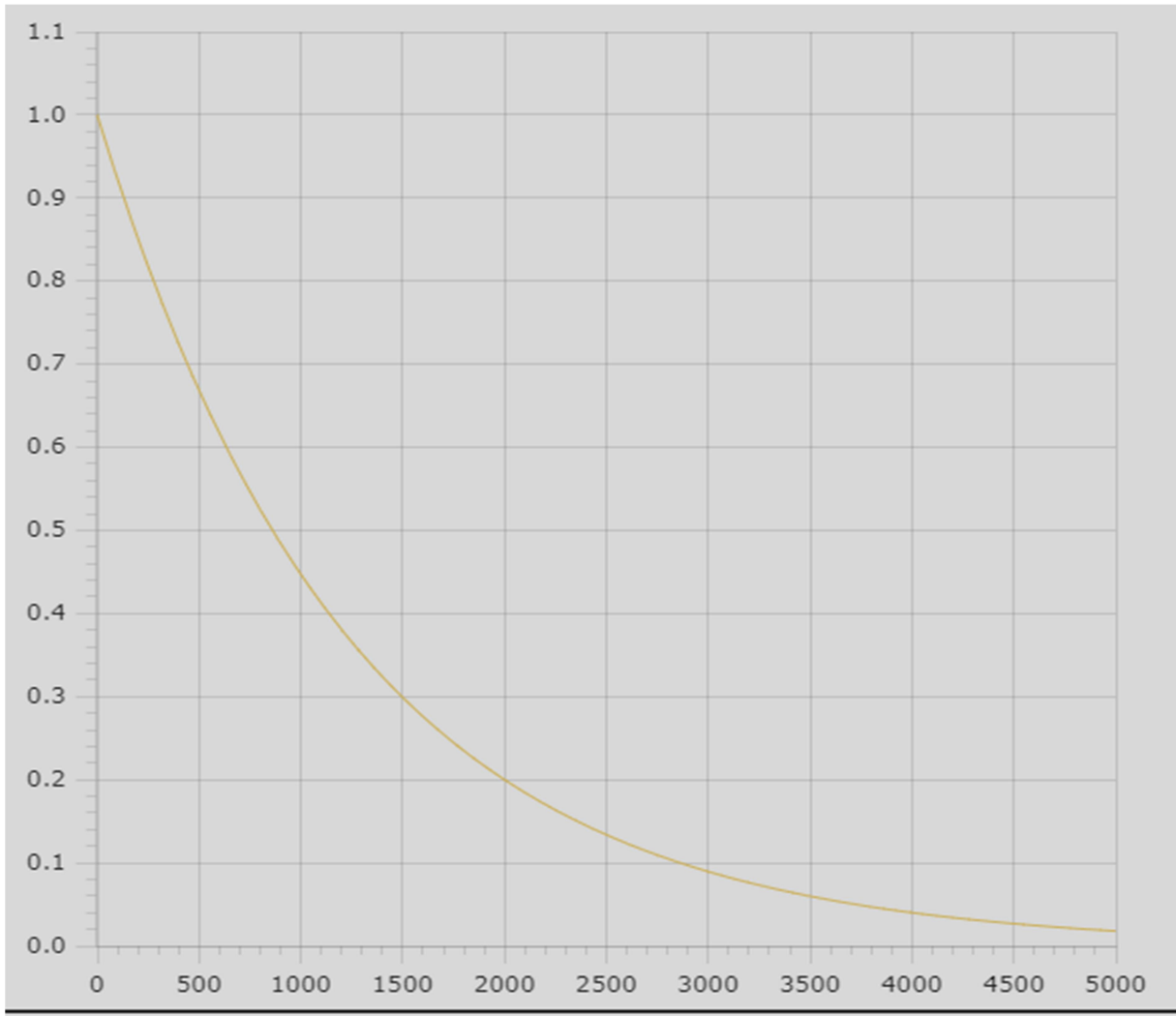


Рис.3 – Графики вероятности безотказной работы СУ АНПА

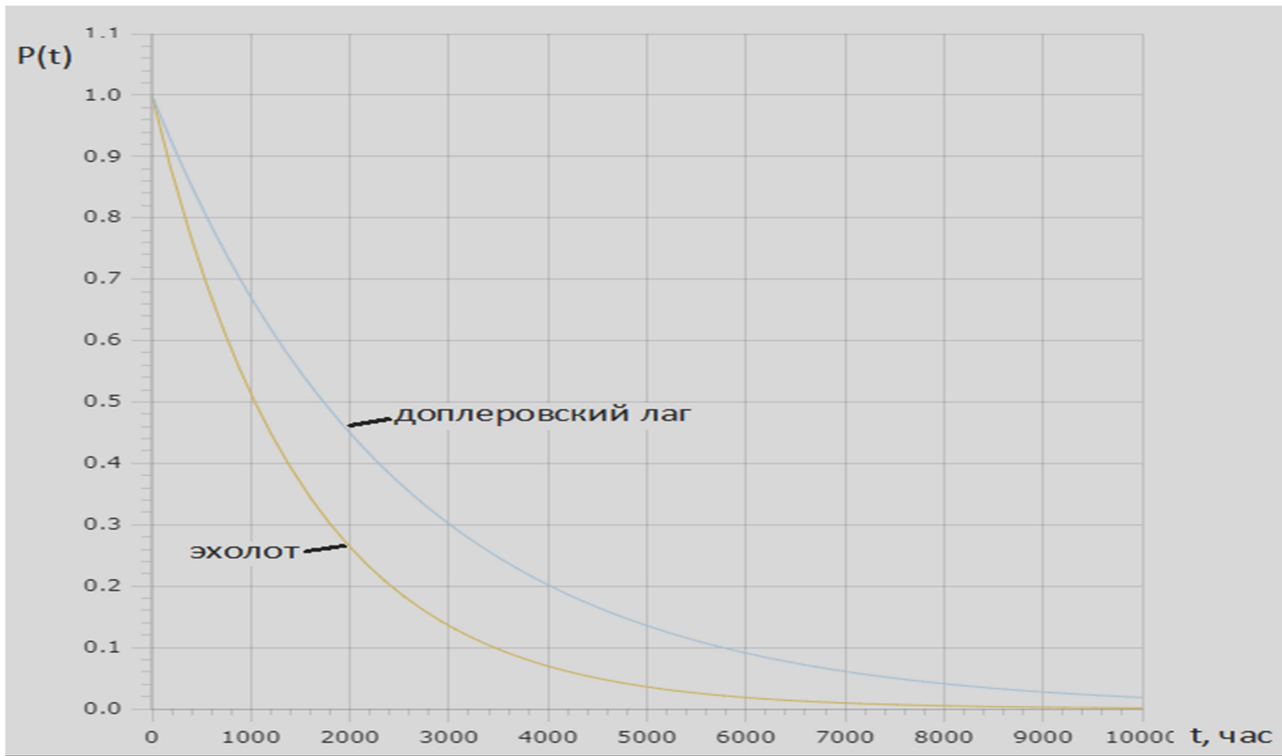


Рис.4 – Графики вероятности безотказной работы эхолота и доплеровского лага

Заключение. Следует отметить, что в результате анализа надежности СУ АНПА определена необходимость планового технического обслуживания структурных частей СУ АНПА, у которых наработка на отказ меньше 10000 часов - это эхолот, альтиметр и доплеровский лаг для обеспечения требуемых показателей надежности. При применении в составе СУ АНПА комплектующих изделий с меньшим сроком службы или ресурсом, чем установлено для СУ АНПА в целом, должен быть одиночный комплект ЗИП, а также приняты конструктивные меры, обеспечивающие возможность замены таких изделий, силами личного состава для проведения планового технического обслуживания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Ю.В. Матвиенко, В.А. Воронин, С.П. Тарасов, А.В. Скнар, Е.В. Тутынин. Пути совершенствования гидроакустических технологий обследования морского дна с использованием автономных необитаемых подводных аппаратов. Ростов-на-Дону: Подводные исследования и робототехника, 2009. стр. 11

2 *Вережкина Л.С., Алпатова О.В., Вережкин А.Л.* Стадии разработки и уровни расчета надежности. // Всемирный технологический университет ЮНЕСКО. Московский технологический институт. Материалы международного форума. Выпуск 2. «Человек в современном мире». Ростов н/Д: Гинго, 2014, с. 308-312.

3 Вережкин А.Л. общая редакция и др. Учебное пособие «База данных. Надежность компонентов многофункциональных, многоканальных и групповых систем» – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2019г.-36с.

4 База для ЭВМ – Надежность компонентов многофункциональных, робототехнических и автоматизированных систем Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2019621637 / Болдырев А.С., Веревкина Л.С., Веревкин А.Л. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 09 сентября 2019г

УДК 629.12:62-529

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АНПА КОМПЛЕКСА СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Мальков Д.С., Пшихопова К.В., Веревкина А.С.

*НИИ Робототехники и процессов управления Южного федерального
университета,*

Таганрогский институт экономики и управления, г. Таганрог

В статье рассматривается проблема обеспечения эффективного функционирования и надежности систем управления автономных необитаемых подводных аппаратов (СУ АНПА) роботизированного комплекса сейсморазведки. Для обеспечения эксплуатационной надежности одновременной работы 200 штук СУ АНПА рассчитано плановое техническое обслуживание (ПТО) устройств с надежностью компонентов меньше заданной. Построен график вероятности отказов согласно заданной наработке на отказ не менее 10000ч, с учетом выполнения не менее 100 циклов, при погружении на максимальную глубину 200м и определено требуемое время без ПТО. Для устройств, входящих в состав СУ АНПА, рассчитано количество ПТО и их трудоемкость, что позволяет СУ АНПА, обеспечивать заданную эксплуатационную надежность в течение круглогодичной эксплуатации.

Для проведения сейсморазведки месторождений углеводородов, а также для обеспечения мониторинга процесса разработки месторождений выполняют инженерные изыскания - сейсморазведку 4D -одним из перспективных способов является использование роботизированных комплексов (РК), в которых выполняют построение антенных решеток посредством автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) (рис.1). РК АНПА предполагает круглогодичную эксплуатацию в акваториях арктических морей с тяжелыми гидрометеорологическими условиями, в том числе и под ледовым покровом. Робототехнический комплекс обеспечения сейсморазведочных работ состоит из группы АНПА приемников в количестве 200 штук и АНПА - излучателя.



Рис. 1 – Регламентные работы с АНПА

Плановое техническое обслуживание ПТО позволяет обеспечить эффективное функционирование надежную работу в исправном состоянии оборудования РК АНПА. Исходными данными являются требования к надёжности - заданного ресурса СУ АНПА не менее $T = 10000$ ч, при 100 циклах погружения на максимальную глубину 200 м.

Из расчетов [1] можно сделать вывод, что ПТО необходимо элементам блока СУ АНПА, у которых наработка на отказ меньше 10000 часов - это эхолот, альтиметр и доплеровский лаг.

Рассчитаем λ интенсивность отказов СУ АНПА для заданного ресурса $T=10000$ часов:

$$\lambda = 1/T, \quad \lambda = 1/10000 = 10^{-4} \text{1/ч.}$$

Для заданного ресурса СУ РК АНПА не менее $T = 10000$ ч, при 100 циклах погружения на максимальную глубину 200 м, определим время без технического обслуживания. Для заданной вероятностей $P=0,98$ (рис.3) безотказной работы СУ АНПА определяем из графика время $t_{б,р}=518$ ч.

Рассчитана интенсивность отказов СУ АНПА по исходным данным, приведенным в табл.1. На рис.3 приводится график вероятности отказов $P(t)=e^{-t/T}$, по рассчитанным данным и заданным требованиям для ресурса СУ АНПА не менее 10000ч,

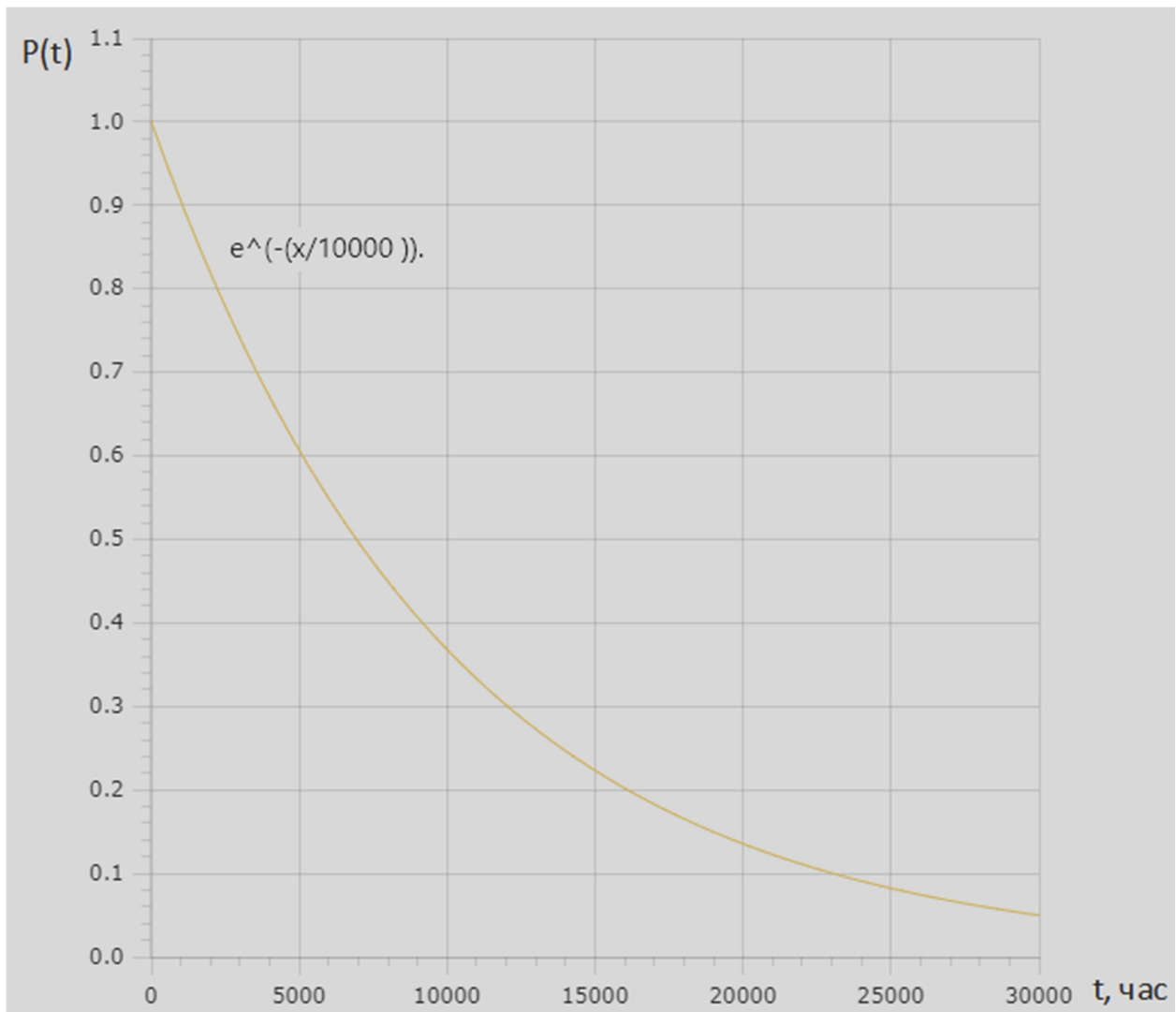


Рис.3 – График вероятности безотказной работы СУ АНПА

При требовании нахождения в готовности к работе в течение периода равного $T_{п}=2400$ часов. Также должна обеспечиваться деятельность периодами до 15 часов без планового технического обслуживания (ПТО). Для равномерного распределения регламентных работ, при длительности одного погружения 15 часов, определено требуемое максимально возможное количество погружений без технического обслуживания не более $518ч/15=34$ погружений. Рассчитаем P -количество ПТО СУ АНПА по формуле

$$P = T_{п}/T_{б.р.}, P=2400/518 = 5.$$

За время работы в течение $T_{п} = 2400$ часов потребуется 5 ПТО для обеспечения заданной вероятности и параметров надежности СУ АНПА. Для ПТО необходимо предусмотреть с использованием одиночного комплекта ЗИП.

В статье [1] дана оценка и анализ надежности системы управления автономного необитаемого подводного аппарата для сейсморазведки в океане и определены устройства СУАНПА, для которых требуется ПТО. Параметры надежности устройств СУ АНПА для партии из 200 АНПА приведены в табл.1

Табл. 1 –Параметры надежности устройств СУ АНПА для партии из 200 АНПА [2, 3]

Наименование компонентов	Наработка на отказ, час.	Интенсивность отказов 1шт.λ, 1/час.	Количество, шт п, шт.	Итого п* λ,1/час.
1.3 Доплеровский лаг	2500.	0,0004	200	0,08
1.4 Альтиметр	8760	0,00014	200	0,028
1.5 Эхолот	1500	0,00067	200	0,134

Количество ПТО СУ АНПА зависит от числа компонентов, их интенсивности отказов (табл.1) и заданного времени 2500 часов работы. Для партии 200 АНПА в течение 2500 часов рассчитывается число отказов, как $n*\lambda*2500$:

- для доплеровского лага, $0,08*2500=200$ отказов;
- для альтиметра, за $0,028*2500=70$ отказов;
- для эхолота, за $0,134*2500=334$ отказа.

Для комплекта 200 АНПА в течение 2500 часов необходимо предусмотреть 5 технических обслуживаний, при каждом из которых предусмотреть программу тех. обслуживания:

- $200/5=40$ доплеровских лагов;
- $70/5=14$ альтиметров;
- $334/5=67$ эхолотов.

Стоимость компонентов, техническое обслуживание, которых предусматривается для обеспечения надежности эффективной работы СУ АНПА, приведена в табл. 2 [4]. Стоимость ПТО рассматриваемых компонентов принимаем, как 5% от стоимости этого оборудования $54173*5/100=2709$ млн. руб.

Табл. 2 – Стоимость компонентов с техническим обслуживанием СУ АНПА

Наименование компонентов	Цена, тыс. руб	Количество, шт.	Стоимость, изделий, млн.руб	Стоимость ремонта 5%, млн.руб
Доплеровский лаг	1108065	40	44 322	2216,1
Альтиметр	388300	14	5 436	271,8
Эхолот	65 880	67	4 414	220,7
Всего	1562245	121	54 173	2708,6

Таким образом, необходимо предусмотреть 5 ПТО для 121 устройств для обеспечения эффективной надежной работы 200 СУ АНПА в течение 2500 часов

При заработной плате обслуживающего персонала 1 чел.дня 4тыс. руб. трудоемкость одного ПТО составит $2708600 / 4000 = 541$ чел. дней. Фонд годового времени 8 760 три цикла 2500 составят 7500 часов необходимо 15 ПТО, на которые отводим $8\ 760 - 7500 = 1260$ час. Количество работников для ПТО в промежутках между эксплуатацией СУ АНПА необходимо постоянных работников $541 * 8 / 1260 = 4$ чел.

Мероприятия, обеспечивающие надежность Перечень комплектующих изделий, сборочных единиц и материалов с меньшим сроком службы или ресурсом, чем установлено для СУ АНПА, должен быть приведен в эксплуатационной документации с указанием периодичности и трудоемкости их замены.

Требования к надежности должны обеспечиваться и подтверждаться программой обеспечения надежности (ПОН) разработанной в соответствии с ГОСТ Р 27.001, согласованной с заказчиком. В ПОН должны быть предусмотрены мероприятия по обоснованию и подтверждению заданных показателей надежности СУ АНПА расчетным методом в соответствии с ГОСТ 27.301-95.

Статья выполнена по тематике СЧ НИР «Система управления робототехнического комплекса для проведения сейсморазведочных работ с использованием группы автономных необитаемых подводных аппаратов», Шифр СЧ НИР «СУ-РК» в НИИ Робототехники и процессов управления ЮФУ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Веревкина Л.С., Тупиченко И.И.* Оценка и анализ надежности системы управления автономного необитаемого подводного аппарата для сейсморазведки в океане ЮФУ, 2022.

2. *Вережкин А.Л. общая редакция и др.* Учебное пособие ««База данных. Надежность компонентов многофункциональных, многоканальных и групповых систем» – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2019г.-36с.

3. *Болдырев А.С., Веревкина Л.С., Вережкин А.Л.* База для ЭВМ – Надежность компонентов многофункциональных ,робототехнических и автоматизированных систем Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2019621637 /– Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 09 сентября 2019г.

4. https://sonarhd.ru/collection/eholoty-garmin?_openstat=ZGlyZWN0LnlnbhmRleC5ydTs2NzY4MTZlZjYxMTQxNzY1MzMTt5YW5kZXgucnU6cHJlbW11bQ&yclid=2366015486633967615

АЛГОРИТМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГРУПП РАЗЛИЧНОЙ ЧИСЛЕННОСТИ АНПА КОМПЛЕКСА СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ОКЕАНА

Веровкин А.Л.

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

Для обеспечения морской сейсморазведки в ледовых условиях используются суда ледового класса, позволяющие организовать развертывание сейсмокос под ледовым покровом. -одним из перспективных способов является использование роботизированных комплексов (РК), в которых выполняют построение антенных решеток посредством автономных обитаемых подводных аппаратов(АНПА). или буксируемых подводных аппаратов.Предполагается круглогодичная эксплуатацияРК АНПА в акваториях арктических морей с тяжелыми гидрометеорологическими условиями, что требует холодного или горячего резервирования АНПА, а с учетом возможности различных конфигураций их построения порождает парадигму оценки надежности РК АНПА. В статье предложена методика и алгоритм, позволяющие одновременно рассчитывать надежностьна ЭВМ нескольких конфигураций РК АНПА, что позволяет повысить эффективность эксплуатации таких комплексов.

Для обеспечения морской сейсморазведки в ледовых условиях используются суда ледового класса, позволяющего организовать развертывание сейсмокос под ледовым покровом.Длительность рабочего сезона для замерзающих акваторий составляет от 2 до 5 месяцев. В высоких широтах Арктикипромышленная сейсморазведка не проводилась и является насущной проблемой современности.

Разработка и создание системы управления робототехнического комплекса для сейсморазведочных работ с использованием группы автономных обитаемых подводных аппаратов (СУ РК АНПА), обеспечивающей управление робототехническим комплексом в целом, управление каждым из множества АНПА при выполнении сейсморазведочных работ

Для условий замерзающих морей ЦКБ МТ "Рубин" разработана технология роботизированной сейсморазведки с использованием группы автономных обитаемых подводных аппаратов (АНПА), показанный на рис.1[1].



Рис. 1 – Сейсморазведка с использованием группы АНПА

СУ РК АНПА должна обеспечивать групповое управление следующим количеством АНПА - приемников:

- для РК АНПА от 200 до 1000 шт.;

СУ РК АНПА должна обеспечивать различные варианты построения группы АНПА - приемников в толще воды, для сейсмических исследований:

- в одну или несколько линий с заданным шагом между АНПА в одной горизонтальной плоскости;
- от 2 до 8 линий в разбежку по глубине с заданным шагом по ходу движения группы АНПА, создавая наклонную ось их положения в толще воды.

СУ РК АНПА должна обеспечивать различные шаги построения АНПА. Шаг расстановки группы АНПА-приемников, двигающихся в подводном положении в толще воды, формирующих плоскую площадную сейсморегистрирующую решетку разных размеров.

Для организации расстановки группы АНПА-приемников в сейсморегистрирующую решетку на морском дне СУ РК АНПА должна обеспечивать изменение шага между АНПА.

Сейсморазведка с использованием группы автономных необитаемых подводных аппаратов дает возможность круглогодичной эксплуатации в тяжелых ледовых или экстремальных волновых условиях и возможность использования, как традиционных (отработанных) методик обработки результатов сейсмических исследований, так и применение альтернативных методик, учитывающих специфические особенности геологической структуры земной коры.

Основные особенности комплекса:

- размещение групп АНПА-приемников и АНПА-излучателя в стандартных транспортных контейнерах, с обеспечением условий для их хранения, обслуживания, подзарядки аккумуляторных батарей и закладки миссий сейсморазведочных работ;

– один комплект содержит до 200 единиц АНПА-приемников размещаемых в транспортном контейнере и один АНПА-излучатель, размещенный в отдельном транспортном контейнере;

– управление комплектами технических средств сейсморазведки запуска/приема аппаратов осуществляется с поста управления сейсморазведкой, размещаемого на судне-носителе комплекса.

СУ РК АНПА предназначена для управления АНПА реализующим технологию сейсморазведочных работ с использованием группы АНПА.

СУ РК АНПА должна обеспечивать групповое управление АНПА с разным количеством 10, 200 -1000 штук. Так как при эксплуатации требуется ПТО для разного количества АНПА то и надежность СУ РК АНПА необходимо рассчитывать с учетом конфигураций различного числа АНПА их способов резервирования.

Методика расчёта надёжности СУ РК АНПА. Для расчёта надёжности СУ РК АНПА без резервирования используется структурный метод, а с холодным и горячим резервированием АНПА от 1 до N – вероятностный метод. Особенностью методики является то, что используются матрицы для одновременного моделирования надежности различным числом АНПА.

Так, как СУ АНПА равно надёжны, полагаем, что вероятность отказа каждого носит экспоненциальный характер[2]:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Классическим структурным методом для расчленённой распределенной СУ строится структурная схема расчёта надёжности, элементы объединяются в группы исходя из принципов:

– для каждой группы элементов можно определить показатели надёжности;

– в группе $S=0$ элементы, которые находятся в рабочем состоянии, не зависимо от числа работающих АНПА,

– в группе $S=R$ элементы АНПА для $R=1 \dots N$ порядковым номером СУ АНПА.

Рассчитывается интенсивность отказов элементов: групп $S=0; S=1$ одного АНПА по формуле [3]:

$$\lambda_S = \sum_{i=1}^k p_i \lambda_i,$$

где p_i – число однотипных элементов в группе; λ_i – интенсивность отказов i элемента; k – всего элементов; S – номер группы элементов.

1. Для расчёта надёжности СУ РК АНПА без резервирования с разным числом АНПА предлагается, составить матрицу Λ_{OR} интенсивностей отказов задействованных групп элементов СУ АНПА при работе их в количестве от 1 до R . Умножив Λ_{OR} матрицу на единичную матрицу $|1|$ с числом строк равным числу столбцов Λ_{OR} , получим матрицу столбец строки, которой интенсивности отказов соответствуют числу работающих СУ АНПА:

$$\Lambda_{0R} = \begin{vmatrix} \lambda_0 & \lambda_1 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \lambda_0 & \lambda_1 & \lambda_2 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \lambda_0 & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_0 & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & \dots & \dots & \lambda_{R-1} & 0 \\ \lambda_0 & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 & \dots & \dots & \lambda_{R-1} & \lambda_R \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{vmatrix}, = \begin{vmatrix} \lambda_{01} \\ \lambda_{02} \\ \lambda_{03} \\ \dots \\ \lambda_{R-1} \\ \lambda_R \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где λ_0 – интенсивность отказов элементов СУ $S=0$; $\lambda_1 \dots \lambda_R$ – интенсивность отказов СУ АНПА в количестве от 1 до R.

Наработку на отказ, в виде матрицы T_R , находим путём возведения в минус первую степень матрицу столбец (2):

$$T_{0R} = \begin{vmatrix} \lambda_{01} \\ \lambda_{02} \\ \lambda_{03} \\ \dots \\ \lambda_{R-1} \\ \lambda_R \end{vmatrix}^{-1} = \begin{vmatrix} T_{01} \\ T_{02} \\ T_{03} \\ \dots \\ T_{R-1} \\ T_R \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Графики вероятности безотказной работы $P_{0R}(t)$ строятся в ПО MathCad.

2. Расчёт надёжности СУ РК АНПА с холодным резервированием АНПА:

1) при целочисленном холодном резервировании АНПА, наработку на отказ T_N для схем $N=(n+m): N=1+1; 2+2; 1+2; 1+3$, определяют вероятностным методом по формуле [4]:

$$T_N = (n+m) * T_1, \quad (4)$$

где n – основных АНПА; m – резервируемых АНПА; $T_1 = 1/\lambda_1$ – наработка на отказ одной СУ АНПА.

Интенсивность отказов СУ АНПА при холодном целочисленном и избыточном резервировании АНПА рассчитывается по формуле:

$$\lambda_N = 1/T_N; \quad (5)$$

2) при скользящем холодном резервировании, когда резервных АНПА меньше числа основных, и они находятся в выключенном состоянии. Резервный АНПА включается взамену любого из отказавших АНПА. Для

схем резервирования $N=n+m$ для $m < n$ интенсивность отказов равна $n \cdot \lambda_1$, а средняя наработка на отказ для каждой схемы резервирования, полученная вероятностным методом, определяются по формуле [4]:

$$T_N = (m+1) n \lambda_1,$$

где T_N – наработка на отказ схем резервирования АНПА $N=3+1; 2+1; \dots; (m+1)$ λ_1 – интенсивность отказов одной СУ АНПА;

Интенсивность отказов каждой схемы скользящего холодного резервирования АНПА рассчитывается по формуле (5);

3) интенсивность отказов Λ_{0N} РК АНПА в целом, при холодном резервировании АНПА, определяется в виде суммы интенсивности отказов λ_0 группы элементов S_0 , и интенсивности отказов измерительных каналов λ_N схем холодного резервирования для N

$$\Lambda_{0N} = \lambda_0 + \lambda_N; \quad (6)$$

4) наработка на отказ РК АНПА при холодном резервировании АНПА рассчитывается по формуле $T_{0N} = 1/\Lambda_{0N}$, для каждой схемы резервирования АНПА.

3. Далее выполняется расчёт надёжности при горячем резервировании АНПА вероятностным методом и преобразований с матрицами:

1) наработку на отказ целочисленного резервирования схемы $N=n+m$, при $m=n$ в частности при $N=1+1; 2+2, \dots, n+m$ определяют по формуле:

$$T_{2+2} = T_2 * \sum_{j=0}^m \frac{1}{1+m!},$$

где $T_2 = 1/2 * \lambda_1$ – наработка на отказ двух СУ АНПА.

Интенсивность отказов СУ АНПА при горячем резервировании схемы определяют по формуле (5).

2) наработка на отказ избыточного горячего резервирования АНПА схем: $N=1+1; 1+2; 1+3, N=n+m$, при $m > n$ определяется посредством матрицы $|T_N|$, умноженной на T_1 – наработку на отказ одной СУ АНПА. Каждая строка матрицы соответствует схеме резервирования:

$$T_N = \begin{vmatrix} \frac{1}{1+0} & \frac{1}{1+1} & 0 & \dots & 0 \\ \frac{1}{1+0} & \frac{1}{1+1} & \frac{1}{1+2} & 0 & \dots & 0 \\ & & \dots & & & \\ \frac{1}{1+0} & \frac{1}{1+1} & \frac{1}{1+2} & \dots & \frac{1}{n+m} & 0 \end{vmatrix} * T_1 = \begin{vmatrix} T_{1+1} \\ T_{1+2} \\ \dots \\ T_{n+m} \end{vmatrix} \quad (7)$$

Интенсивности отказов схем $N=1+1; 1+2; 1+3$ избыточного горячего резервирования АНПА, определяются как:

$$\Lambda_N = \begin{bmatrix} T_{1+1} \\ T_{1+2} \\ \dots \\ T_{n+m} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} \lambda_{1+1} \\ \lambda_{1+2} \\ \dots \\ \lambda_{n+m} \end{bmatrix}; \quad (8)$$

3) наработку на отказ при горячем скользящем резервировании АНПА $N=3+1; 2+1$ и т.д. рассчитывают по формуле[5]:

$$T_N = \frac{1}{n * \lambda_1} + \frac{1}{(n + 1)\lambda_1} + \dots + \frac{1}{(n + m)\lambda_1}$$

где T_N – средняя наработка, при горячем скользящем резервировании АНПА; λ_1 – интенсивность отказов одной СУ АНПА; n – основных АНПА 2 или 3; m – резервных АНПА, при $m < n$.

Результаты расчётов записывают в виде матрицы:

$$T_N = \begin{bmatrix} T_{2+1} \\ T_{3+1} \\ \dots \\ T_{n+m} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Интенсивности отказов СУ АНПА, при горячем скользящем резервировании АНПА, определяются в виде матрицы столбца:

$$\Lambda_N = \begin{bmatrix} T_{2+1} \\ T_{3+1} \\ \dots \\ T_{n+m} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} \lambda_{2+1} \\ \lambda_{3+1} \\ \dots \\ \lambda_{n+m} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

4. Для РК АНПА с горячим резервированием АНПА. интенсивности отказов Λ_{0N} определяют по формуле (6), наработку на отказ рассчитывают по формуле $T_{0N} = 1/\Lambda_{0N}$, графики вероятности безотказной работы $P_{0N}(t)$ строят в ПО MathCad для каждой схемы резервирования АНПА.

5. Формируют сводную таблицу параметров надёжности РК АНПА.

Укрупненный алгоритм расчёта надёжности РК АНПА с разным числом АНПА и способов их резервирования. Согласно представленной методике синтезирован укрупненный алгоритм представленный на рис.2.

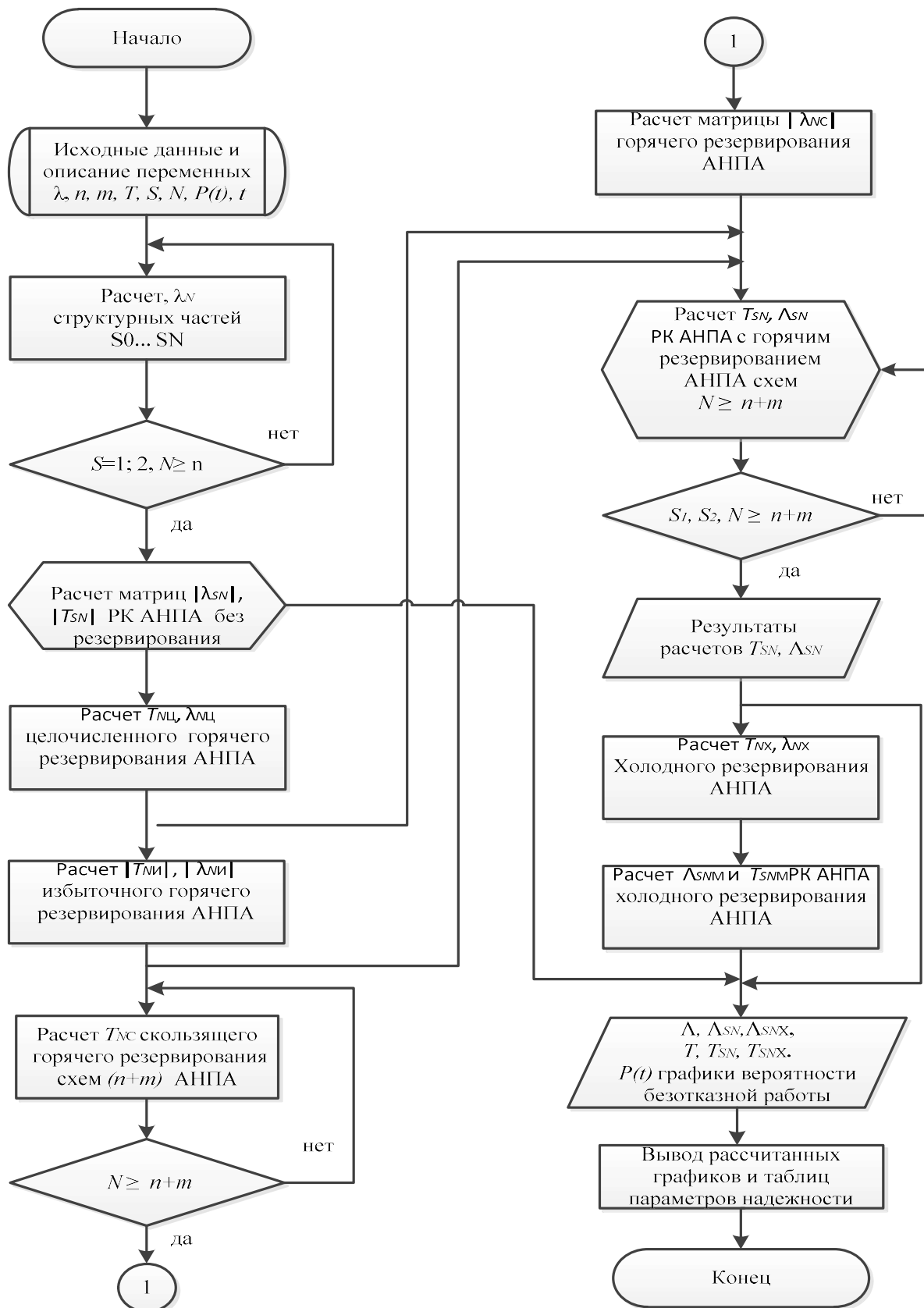


Рис.2–Укрупненный алгоритм расчёта надёжности РК АНПА

Входными данными для алгоритма расчёта являются:

- описание переменных и структурных схем надёжности:
- интенсивности отказов элементов.

Последовательность расчётов:

- 1) интенсивности отказов и наработки на отказ без резервирования, для разного числа работающих АНПА от 1 до R;
- 2) интенсивности отказов и наработки на отказ при холодном: целочисленном; скользящем; избыточном резервированиях АНПА;
- 3) интенсивности отказов и наработки на отказ при горячем: целочисленном; скользящем; избыточном резервированиях АНПА;
- 4) интенсивности отказов и наработки на отказ РК АНПА с разными схемами резервирования АНПА.

Расчёты выполняются в цикле для однотипных задач:

- составляют схему для расчёта надёжности;
- формируют исходные данные для расчёта и формулы;
- вычисляют паромеры надёжности для заданной схемы;
- рассчитываются графики вероятности безотказной работы;
- выводятся результаты расчётов λ , T и графики вероятности безотказной работы $P(t) = \exp\{-t/T\}$.

Заключение. Предложенный линейный алгоритм с циклическими вложениями и методика позволяют рассчитывать любые конфигурации роботизированного комплекса с разным числом АНПА и схемами их резервирования. Расчетные данные позволят организовать плановое техническое обслуживание и эффективную эксплуатацию оборудования.

Статья выполнена по тематике СЧ НИР «Система управления робототехнического комплекса для проведения сейсморазведочных работ с использованием группы автономных необитаемых подводных аппаратов», Шифр СЧ НИР «СУ-РК» в НИИ Робототехники и процессов управления ЮФУ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. https://ckb-rubin.ru/proekty/robototekhnika/kompleks_obespechenija_seismorazvedki/
2. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. Т. 5. Проектный анализ надежности. – М.: Машиностроение, 1988. – 316 с.
3. *Веревкина Л.С., Алпатова О.В., Веревкин А.Л.* Стадии разработки и уровни расчета надежности. // Всемирный технологический университет ЮНЕСКО. Московский технологический институт. Материалы международного форума. Выпуск 2. «Человек в современном мире». Ростов н/Д: Гинго, 2014, с308-312.
4. <https://cyberpedia.su/15x7d01.html>
5. http://libraryno.ru/5-raschet-harakteristik-nadezhnosti-nevosstanavlivaemyh-rezervirovannyh-izdeliy-teor_nadezhnosti/:

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ ИМ ХОЛМИСТОЙ МЕСТНОСТИ

Матвеев А.И.

Южный Федеральный университет, Таганрог

Рассмотрен метод планирования оптимальной траектории подвижных мобильных роботов при движении их по холмистой местности. На основе математической модели холмистой местности и уравнения движения мобильного робота по этой местности вычислен расход энергии мобильного робота, необходимый для преодоления этой местности. Используя метод динамического программирования, найдена оптимальная траектория мобильного робота методом минимизации энергозатрат по всевозможным траекториям мобильного робота при его движении по холмистой местности.

Ключевые слова: оптимальная траектория, уравнения движения робота, функционал энергетических затрат, динамическое программирование.

Для планирования траекторий подвижных объектов используются различные методы: на базе нейросетевых и нейроподобных структур, с использованием генетических алгоритмов, методы потенциальных полей и диаграмм Вороного [1, 2]. Так как методы планирования траекторий подвижных объектов получили широкое распространение в робототехнике, то задачи оптимизации этих траекторий становятся актуальными. Использование методов оптимизации при планировании траектории мобильного робота позволяет уменьшить энергетические затраты в процессе его движения из начальной точки пути в конечную с учетом рельефа местности [3]. Для аналитического описания движения мобильного робота сопоставим реальному рельефу его математическую модель, задаваемую формулой

$$h(x, y) = \int_0^b \int_0^a h(\alpha, \beta) \exp\left(-\frac{(x-\alpha)^2}{v(\alpha, \beta)^2} - \frac{(y-\beta)^2}{\sigma(\alpha, \beta)^2}\right) d\alpha d\beta, \quad (1)$$

где $h(\alpha, \beta)$ – высота некоторой точки возвышенности с координатами α, β , $v(\alpha, \beta), \sigma(\alpha, \beta)$ – постоянные, характеризующие ширину возвышенности с координатами α, β по осям x, y .

Полная сила трения в процессе движения мобильного робота, действующая на склоне холма, складывается из силы трения качения и трения качения Кулона [4]

$$G_{tr} = \eta \frac{T}{r} + \eta_0 \left(1 + \gamma \frac{v^2}{r^2}\right) \frac{T}{r}, \quad (2)$$

где T – сила реакции, направленная перпендикулярно поверхности, r – радиус колеса робота, η, η_0 – постоянные коэффициенты трения-качения, γ – постоянный коэффициент. Работа сил трения качения равна

$$A_d = \frac{mg}{r} \int_L \left(\eta + \eta_0 \left(1 + \gamma \frac{v^2}{r^2}\right) \right) \cos \varphi dl,$$

где L – путь между начальной и конечной точкой, φ – угол между нормалью к поверхности и вертикальной осью. Чтобы учесть полные энергетические затраты в процессе движения робота, добавим к работе сил трения работу

потенциальных сил, которая связана с изменением высоты мобильного робота. При подъеме вверх работа, совершаемая мобильным роботом, с учетом работы силы трения равна

$$A_1 = mg \left(h_1 - h_0 + \frac{1}{r} \int_{L_1} \left(\eta + \eta_0 \left(1 + \gamma \frac{v^2}{r^2} \right) \right) \cos \varphi dl \right), \quad (3)$$

где h_0 - начальная высота подъема, h_1 - максимальная высота подъема, L_1 - путь между начальной и конечной точкой подъема.

При движении вниз потенциальная энергия мобильного робота уменьшается, из-за этого его кинетическая энергия увеличивается. В результате изменение энергии мобильного робота равно

$$A_2 = mg(h_1 - h_2) - \int_{L_2} G_{tr} \cos \varphi dl, \quad (4)$$

где h_2 - конечная высота подъема, L_2 - путь в процессе спуска мобильного робота.

Уравнение движение мобильного робота имеет вид

$$m \frac{dv}{dt} = mg \sin(\varphi) \cos(\vartheta) - \eta \frac{T}{r} - \eta_0 \left(1 + \gamma \frac{v^2}{r^2} \right) \frac{T}{r}, \quad (5)$$

где ϑ - угол между вектором силы скатывания и вектором скорости. Из уравнения следует, что при движении вниз скорость растёт мобильного робота. Однако после достижения максимального значения скорости

$$v = \frac{r}{\sqrt{\gamma}} \left(\frac{r}{\mu_0} \operatorname{tg}(\varphi) \cos(\vartheta) - \frac{\eta}{\eta_0} - 1 \right)^{1/2}$$

на перестает увеличиваться.

В потенциальном поле сил тяжести затраты энергии мобильного робота не зависят от его траектории, расход энергии определяется только начальной и конечной точкой пути. Поэтому чтобы определить оптимальную траекторию, на которой расход энергии мобильного робота минимален, необходимо найти минимум функционала

$$A = m \frac{g}{r} \int_L \left(\eta + \eta_0 \left(1 + \gamma \frac{v^2}{r^2} \right) \right) \cos \varphi dl, \quad (6)$$

по всевозможным путям L мобильного робота из начальной в конечную точку маршрута.

Таким образом, для определения оптимальной траектории мобильного робота необходимо минимизировать работу сил трения при перемещении этого робота из начальной точки в конечную точку пути.

Выразим $\cos \varphi$ через функцию $h(x, y)$. Уравнение прямой, перпендикулярной поверхности в точке x_0, y_0 , имеет вид:

$$\frac{x - x_0}{h'_x(x_0, y_0)} = \frac{y - y_0}{h'_y(x_0, y_0)} = \frac{h - h_0}{-1},$$

где $h'_x(x_0, y_0) = \partial h / \partial x|_{x=x_0, y=y_0}$, $h'_y(x_0, y_0) = \partial h / \partial y|_{x=x_0, y=y_0}$.

Вектор $(h'_x, h'_y, 1)$ направлен из точки с координатами x_0, y_0 вдоль нормали к поверхности. Поэтому единичный вектор нормали к поверхности в точке x_0, y_0 равен

$$\vec{n} = \frac{\left(-\frac{\partial h}{\partial x}; -\frac{\partial h}{\partial y}; 1\right)}{\sqrt{\left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)^2 + 1}}.$$

Откуда следует

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)^2 + 1}}, \\ \sin \vartheta &= \frac{\frac{\partial h}{\partial x}}{\sqrt{\left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)^2 + 1}}. \end{aligned} \quad (7)$$

После подстановки (7) в (6) получим

$$A = m \frac{g}{r} \int_L \left(\eta + \eta_0 \left(1 + \gamma \frac{v^2}{r^2} \right) \right) \frac{dl}{\sqrt{\left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)^2 + 1}}. \quad (8)$$

функционал, величина которого зависит от выбора пути. В формуле (8) скорость v определяется из уравнения (5), коэффициенты η, η_0, γ под знаком интеграла можно считать постоянными.

Задачу поиска оптимальной траектории при движении мобильного робота из начальной в конечную точку маршрута сводится к поиску пути, по которому значение функционала (6) будет минимальным. Задачу минимизации функционала (5) будем решать численно. Перейдем в функционале (6) от непрерывных переменных к дискретным. Координатам местности сопоставим координатную сетку $x \rightarrow i, y \rightarrow j, v \rightarrow v_{i,j}$. Обозначив $\Delta h_i = h_{i+1,j} - h_{i,j}, \Delta h_j = h_{i,j+1} - h_{i,j}$, и полагая $\Delta x = 1, \Delta y = 1$, запишем в дискретной форме

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{\Delta h_i^2 + \Delta h_j^2 + 1}}.$$

Формуле (1), учитывая, что $\sigma \rightarrow \sigma_i, v \rightarrow v_i$, на выбранной сетке сопоставим формулу

$$h_{i,j} = \sum_{i=1}^N h_i \exp \left(-\frac{(x-x_i)^2}{v_i^2} - \frac{(y-y_i)^2}{\sigma_i^2} \right),$$

Функционал (6) в обозначениях $\Delta h_i = h_{i+1,j} - h_{i,j}, \Delta h_j = h_{i,j+1} - h_{i,j}$ принимает вид

$$A_r = \frac{mg}{r} \sum_{L(i,j)} \left(\eta(i,j) + \eta_0(i,j) \left(1 + \frac{v_{i,j}^2}{r^2} \right) \right) \frac{1}{\sqrt{\Delta h_i^2 + \Delta h_j^2 + 1}}, \quad (9)$$

Для поиска оптимального пути воспользуемся методом динамического программирования. В качестве примера определим оптимальную траекторию,

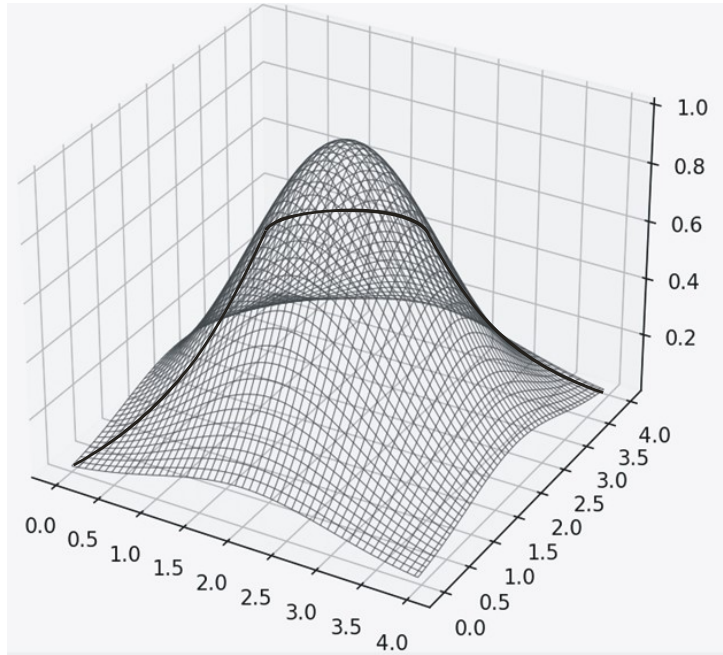


Рис. 1. – Оптимальная траектория мобильного робота при пересечении одиночного холма

в случае, когда мобильный робот пересекает одиночный холм. На рис.1 изображен результат численного расчета для этого случая.

Алгоритм определения оптимальной траектории.

1) Находим координаты максимумов вершин, расположенных на местности.

2) Разбиваем карту местности на квадраты. Центрами квадратов являются точки максимумов вершин. Размер квадрата в длину и ширину пропорционален коэффициентам $\nu(\alpha, \beta)$, $\sigma(\alpha, \beta)$.

3) Построение траектории начинаем с конечной точки пути. В последнем квадрате определяем оптимальную траекторию, тем самым находим начальную точку этой траектории в последнем квадрате. Эта точка является конечной точкой в предпоследнем квадрате.

4) На k -том шаге последовательно, находя в $n-k$ квадрате начальную точку траектории, определяем конечную точку пути в $n-k-1$ квадрате, после чего можно построить оптимальную траекторию в $n-k-1$ квадрате.

5) Соединив все полученные траектории, мы построим полный оптимальный путь.

График оптимального пути, построенный с помощью этого алгоритма приведен на (рис. 2). Оптимальная траектория на этом графике выделена пунктирной линией.

Обсуждение результатов.

Оптимальная траектория мобильного робота определяется только работой сил трения, поэтому для ее нахождения нужно минимизировать функционал работы сил трения. Минимум этого функционала находился методом динамического программирования. Для уменьшения времени вычисления карта местности разбивается на квадраты, продольный и поперечный размеры которых связаны с размерами холмов. В квадрате содержится только одна вершина холма. В каждом квадрате определяется оптимальная траектория мобильного робота, и все траектории сшиваются на границах квадратов.

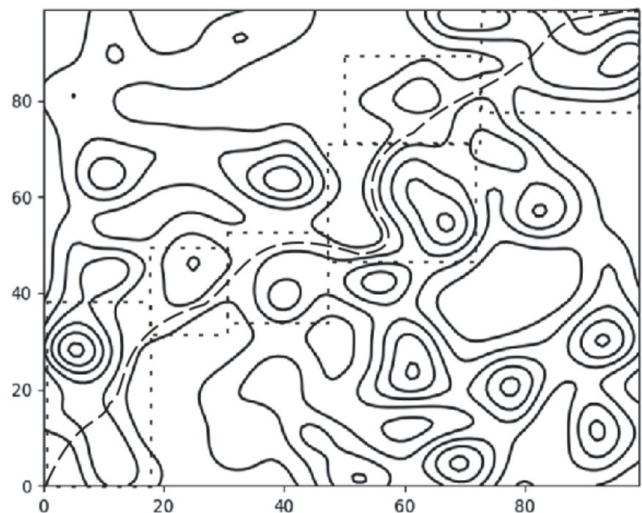


Рис. 2. – Оптимальная траектория (штрих пунктирная линия) мобильного робота. Карта местности разбита на квадраты (изображены пунктиром), в каждом квадрате находится оптимальные траектории, которые сшиваются на границах квадратов

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Интеллектуальное планирование траекторий подвижных объектов в средах с препятствиями./ Под редакцией Пшихопова В.Х. – М.: Физматлит, 2014. – 300 с.

2. *Белоглазов Д.А., Косенко Е.Ю., Соловьев В.В.* Разработка метода планирования траектории перемещения мобильного автономного робота в трехмерной среде на основе аппарата нечеткой логики // Инженерный вестник Дона, 2015, №4. –14 с. URL ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3387

3. *Матвеев А.И.* Оптимальное планирование траектории мобильного робота при его движении по холмистой местности. // Инженерный вестник Дона, 2022, №1. – 11 с. URL ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7828

4. *Иванов А. П.* О трении // ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК. 2019. Т. 485. № 3. С. 295–299.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Дятлов П.А.</i> ОПЕРАТИВНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ СЛАБЫХ ФАЗОМАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ГАУССОВОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ПОМЕХИ.....	3
<i>Зикий А. Н., Кочубей А. С.</i> АВТОГЕНЕРАТОР УКВ ДИАПАЗОНА	14
<i>Лоншаков Д.А., Корниенко В.Т.</i> ВИРТУАЛЬНЫЙ ПРИБОР LABVIEW ДЛЯ АНАЛИЗА ОШИБОК В ЦИФРОВЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ	19
<i>Мальков Д.С. Мальков С.Б.</i> МЕТОДЫ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	26
<i>Воротынцев В.С., Волощенко Ю. П.</i> ВЫБОР НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛОГО ЗАГОРОДНОГО ДОМА	32
<i>Гисцов В. Г., Волощенко Ю. П.</i> МОДЕЛЬ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ОТММ-КОНТРОЛЛЕРОМ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ	38
<i>Денисенко Н. С., Береснев А. Л.</i> ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ТВС НА ПИК ДАВЛЕНИЯ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ. ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ОСЦИЛЛОГРАММ С РЕАЛЬНОГО ОБЪЕКТА	42
<i>Смирнов О.Д., Полуянович Н.К.</i> ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ	46
<i>Шевчун Р.Р., Рассолов М.А., Лященко А.А., Полуянович Н.К.</i> ОБЗОР, КЛАССИФИКАЦИЯ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ТОПЛИВОМ АВТОМОБИЛЯ НА ВОДОРОДНОМ ТОПЛИВЕ	51
<i>Заболотин Д.Ю., Воротников М.И.</i> ОБЗОР РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОХРАНЫ ТЕРРИТОРИИ.....	62
<i>Чернышёв Н.С., Яцишин О.И.</i> УНИВЕРСАЛЬНАЯ КОЛЁСНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ АВТОНОМНОЙ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТАХ	65
<i>Юров Ю.Ю.</i> АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ БПЛА	67
<i>Веревкина Л.С., Тутиченко И.И., Меерович Д.И.</i> ОЦЕНКА И АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА	72
<i>Мальков Д.С., Пишихопова К.В., Веревкина А.С.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АНПА КОМПЛЕКСА СЕЙСМОРАЗВЕДКИ	76

<i>Веревкин А.Л.</i> АЛГОРИТМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ГРУПП РАЗЛИЧНОЙ ЧИСЛЕННОСТИ АНПА КОМПЛЕКСА СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ОКЕАНА	81
<i>Матвеев А.И.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ ИМ ХОЛМИСТОЙ МЕСТНОСТИ.....	89

