



СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

Выпуск XVIII



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 XVIII

Таганрог
2025

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, 2025. – 88 с.

ISBN 978-5-6048755-9-7

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 978-5-6048755-9-7

УДК 681.51(06)
© Коллектив авторов, 2025

УДК 621.396.62

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К ПОМЕХАМ МЕТОДОВ РАЗДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ С КОГЕРЕНТНОЙ ОБРАБОТКОЙ ПРИ КODOVOM УПЛОТНЕНИИ

Дятлов П.А.

Институт радиотехнических систем и управления ЮФУ, Таганрог

В современных системы связи и навигации широко используется кодовое уплотнение сигналов не только с целью увеличения числа информационных потоков связи, а также для повышения помехозащищенности системы [1]. Кроме того, на основе кодового уплотнения сигналов осуществляется защищенная передача данных. Вскрытие систем связи и навигации, использующих сигналы с кодовым уплотнением, требует применения особых методов радиомониторинга. Целью данной статьи является исследование помехоустойчивости метода разрешения сигналов при их кодовом уплотнении на основе когерентной обработки.

Алгоритм «разрешения n сигналов» заключается в проверке статистических гипотез H_n при $n = 0, 1, 2, \dots, n$, соответствующих условию, что в принимаемой смеси сигналов и шума содержится целое число n сигналов. Для решения поставленной задачи необходимо провести многоэтапную проверку гипотез H_n . На первом этапе при $n = 0$ проверяется гипотеза H_0 . В случае отвержения первой гипотезы значение n инкриминируется ($n = 1$) и проверяется следующая гипотеза (H_1). Проверка гипотез происходит до тех пор, пока на очередной итерации с заданной вероятностью нельзя будет гипотезу H_n отвергнуть.

Обозначим оценку $\hat{n}$ как «разрешенное» (распознанное) число сигналов в смеси $y(t)$. За $\vec{l}$ примем число информативных параметров сигналов (ИПС). В качестве модели радиоэлектронной обстановки рассмотрим пример радиомониторинга фазоманипулированных сигналов L1C/A спутниковой радионавигационной системы GPS. Если в составе аппаратуры системы радиомониторинга задействованы радиопеленгаторы, у которых антенны A_1 с коэффициентом усиления не больше единицы ($G_1 \approx 1$), а шум $n(t)$ сопоставим с внутренним шумом приемника, то тогда исследуемый процесс $y_1(t)$, поступающий на вход аппаратуры потребителя системы GPS, представляет собой смесь сигнала и шума [3], описываемый соотношением

$$y_1(t) = \sum_{i=1}^{n_1} S_{1i}(t) + \sum_{j=1}^{n_2} S_{2j}(t) + n(t); n = n_1; n_1 \geq n_2,$$

где $S_{1i}(t)$, $S_{2j}(t)$ – бинарные фазоманипулированные сигналы (БФМС) с однократной манипуляцией, изучаемые i -м спутником GPS, видимым системой радиомониторинга; n_1 , n_2 — количество БФМС $S_{1i}(t)$, $S_{2j}(t)$ на входе системы радиомониторинга.

В рассматриваемой модели радиообстановки в качестве полезных сигналов анализируются сигналы БФМС $S_{1i}(t)$ и $S_{2j}(t)$ с кодовым уплотнением.

Формирование сигналов $S_{1i}(t)$ осуществляется на основе C/A-кодирования, а для сигналов $S_{2i}(t)$ используется P-код. Гауссовский шум $n(t)$ представляет собой стационарную помеху с известной автокорреляционной функцией [1], равной

$$R_n(\tau) = \sigma_n^2 \operatorname{sinc}(\pi \Delta f_n \tau) \cos(\omega_n \tau); \quad \sigma_n^2 = N_n \Delta f_n; \quad N_n = k T_0 N_{\text{ш}}; \quad \omega_n = 2\pi f_n,$$

где σ_n^2 , N_n – дисперсия и спектральная плотность помехи $n(t)$; f_n , Δf_n – центральная частота и полоса системы радиомониторинга ($f_n = L1 = 1575,42$ МГц); $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; T_0 – температура градусов Кельвина.

Если в составе системы радиомониторинга используются радиопеленгаторы с остронаправленной антенной A_2 , с коэффициентом усиления больше единицы, то исследуемый процесс $y_2(t)$, поступающий на вход аппаратуры потребителя системы GPS, сокращается до трехкомпонентного вида

$$y_2(t) = S_{1i}(t) + S_{2j}(t) + n(t).$$

Входные сигналы системы радиомониторинга $S_{1i}(t)$, $S_{2j}(t)$, принадлежащие i -м спутникам GPS, определяются, как

$$S_{1i}(t) = U_{1i} \Pi_{1i}(t - \tau_i) \cos[\omega_i(t - \tau_i) + \varphi_{1i}];$$

$$S_{2i}(t) = U_{2i} \Pi_{2i}(t - \tau_i) \cos[\omega_i(t - \tau_i) + \varphi_{2i}];$$

где $\omega_i = 2\pi f_i$ — циклическая частота;

$f_i = L1 + f_{di}$; $L1 = f_n$ — несущая частота f_i , и i доплеровский сдвиг f_d излучений i -го спутника GPS с частотой $L1$ на входе системы радиомониторинга;

$\Pi_{1i}(t) \in [-1; +1]$ при $t_0 + (i - 1)T_{01} \leq t \leq t_0 + iT_{01}$; $i \in [1; T_c/T_{01}]$ — псевдослучайная последовательность (ПСП) при передаче данных с помощью C/A-кода;

U_{1i} , φ_{1i} , — амплитуда и начальная фаза при передаче данных с помощью C/A-кода;

$\Pi_{2i}(t) \in [-1; +1]$ при $t_0 + (j - 1)T_{02} \leq t \leq t_0 + jT_{02}$; $j \in [1; T_c/T_{02}]$ — ПСП при передаче данных P-кодом;

U_{2i} , φ_{2i} , — амплитуда и начальная фаза при передаче данных P-кодом;

$F_1 = 1/T_{01}$; $F_2 = 1/T_{02}$ — тактовые частоты при использовании C/A и P кодов;

τ_i — временный сдвиг сигналов $S_{1i}(t)$ и $S_{2i}(t)$, соответствующий расстоянию между i -м спутником GPS и техническими средствами системы радиомониторинга;

t_0 , T_c — момент начала и длительность сеанса экспресс-анализа;

T_{01} , T_{02} — длительность элементарной посылки ПСП $\Pi_1(t)$ и $\Pi_2(t)$.

Априорно известно, что в GPS используются бинарные фазоманипулированные сигналы $S_{1i}(t)$, $S_{2j}(t)$ с манипулирующей функцией в виде 10-разрядной ПСП, сформированной по закону Голда на основе образующего полинома. Каждый спутник системы GPS излучает эти сигналы на несущей частоте $L1 = 1575,42$ МГц. C/A-код («короткий» код) пониженной точности имеет тактовую частоту 1,023 МГц, а P-код (точный код),

представляющий собой ПСП с тактовой частотой 10,23 МГц. Для формирования БФМС $S_{1i}(t, l, \vec{\alpha})$ применяется инверсная модуляция $(0, \pi)$, а для БФМС $S_{2i}(t, l, \vec{\alpha})$ используется ортогональная модуляция $(-\pi/2, \pm\pi/2)$. При коэффициенте усиления антенны G_1 стремящимся к единице отношение сигнал-помеха, поступающих на вход системы радиомониторинга радиоизлучений, удовлетворяет условию $g_{\text{вх}i}^2 \ll 1$, а отношение мощностей БФМС $S_{1i}(t)$ и $S_{2i}(t)$ будет равно $P_{s1i}/P_{s2i} = 2$.

Априорно неизвестными являются следующие параметров сигналов: U_{1i} , U_{2i} , f_{di} , τ_i , φ_{1i} , φ_{2i} , а также количество радиоизлучений n , формируемые спутниками GPS в зоне наблюдения системы радиомониторинга и параметры реализации манипулирующих функций $\Pi_1(t)$ и $\Pi_2(t)$.

Использование метода когерентной обработки для разделения сигналов при кодовом уплотнении возможно при наличии внешних целеуказаний для каждого принимаемого радиоизлучения. В частности, информация о величине доплеровского сдвига f_{di} , временного сдвига сигналов $S_{1i}(t)$ и $S_{2i}(t)$ τ_i , начальной фазе φ_{1i} и φ_{2i} и закона реализации манипулирующих последовательностей $\Pi_{1i}(t)$ и $\Pi_{2i}(t)$ [1].

Одним из возможных вариантов реализации устройства разделения сигналов при кодовом уплотнении на основе использования когерентной обработки [1] является структура представленная на рис. 1 а, б, где A_1 — ненаправленная антенна; КОБн_{1...n} — n -е число когерентных обнаружителей; МКОБн — многоканальный когерентный обнаружитель; $\times$ — перемножитель; ГКС _{$i(j)$} — генератор копии сигналов $S_{1i}(t)$ и $S_{2i}(t)$; $\approx$ — фильтр нижних частот; ЦУ — внешние целеуказания по f_{di} , τ_i , φ_{1i} , $\Pi_{1i}(t)$, φ_{2i} , $\Pi_{2i}(t)$; ПУ — пороговое устройство.

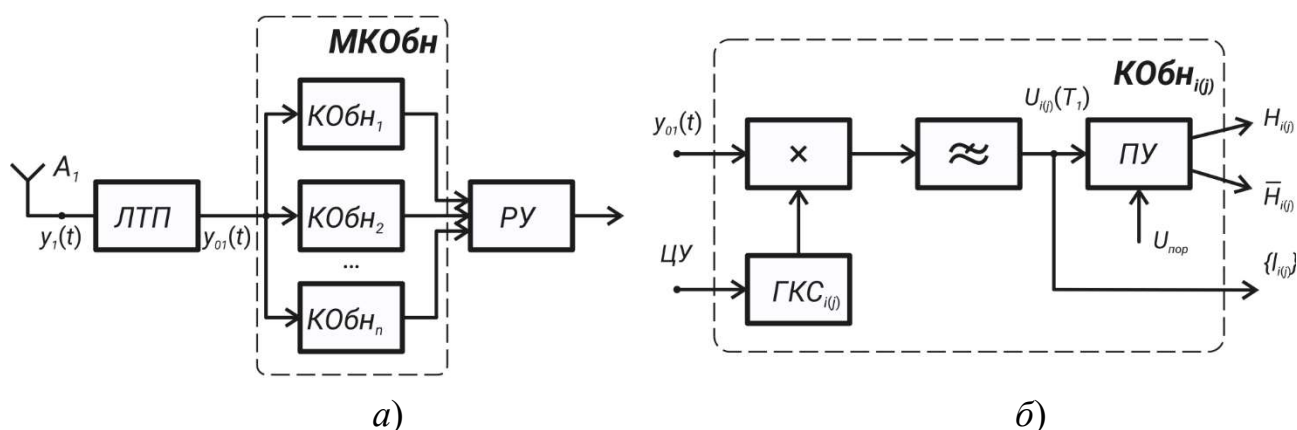


Рис. 1. Устройство разделения сигналов при кодовом уплотнении на основе когерентной обработки

Ключевым критерием анализа оценки эффективности разделения сигналов GPS с использованием когерентных методов выбрана вероятность ошибочных решений ($P_{\text{ош}}$), возникающих при определении числа сигналов. Количество принимаемых спутниковых радиоизлучений (n) варьируется в

зависимости от конфигурации орбитальной группировки и диаграммы направленности антенных систем.

Методология оценки количества сигналов $S_1(t)$ и $S_2(t)$ базируется на проверке параметрических гипотез $\{H_i; H_j\}$ через анализ результатов обнаружения в каналах разделяющих устройств [2]. При условии статистической независимости ошибок в каналах вероятность возникновения от 1 до n ошибок описывается биномиальным распределением:

$$P_{\text{оск}} = \sum_{i=\tau+1}^m C_m^i P_{\text{олск}}^i (1 - P_{\text{олск}})^{m-i}; C_m^i = \frac{m!}{i!(m-i)!};$$

$$P_{\text{олск}} = 0,5(\alpha_{\text{ск}} + \beta_{\text{ск}});$$

$$P_{\text{орк}} = \sum_{i=\tau+1}^m C_m^i P_{\text{олрк}}^i (1 - P_{\text{олрк}})^{m-i}; P_{\text{олрк}} = 0,5(\alpha_{\text{рк}} + \beta_{\text{рк}}),$$

где $P_{\text{олск}}$ – вероятность ошибок в каналах для $S_1(t)/S_2(t)$;

$\alpha_{\text{ск}}, \alpha_{\text{рк}}$ – вероятности ложных тревог;

$\beta_{\text{ск}}, \beta_{\text{рк}}$ – вероятности пропуска сигналов.

Вероятности ложной тревоги α и пропуска сигналов β вычисляются по методике [3] через интеграл Лапласа:

$$\beta_{\text{ск}} = \Phi[g_{\text{ск}} - \arcsin \Phi(1 - \alpha_{\text{ск}})]; \alpha_{\text{ск}} = 1 - \Phi(g_{\text{пор}});$$

$$\beta_{\text{рк}} = \Phi[g_{\text{рк}} - \arcsin \Phi(1 - \alpha_{\text{рк}})]; \alpha_{\text{рк}} = 1 - \Phi(g_{\text{пор}}),$$

где $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$; $g_{\text{пор}}$ – пороговое отношение сигнал-шум.

Среднеквадратичные погрешности определяются как: $\sigma U_m/U_m = 1/g$; $\sigma f = \Delta f_k^2/\sqrt{3}$; $\sigma F/F = 1/g$, где g – отношение сигнал-шум на выходе. Расчет отношений сигнал-помеха по напряжению для каналов устройств разделения сигналов $S_1(t)$ и $S_2(t)$ производится на основе следующих соотношений [3]:

$$g_{\text{ск}} = g_c \sqrt{\Delta f_n T_{1c}}; \Delta f_n = 2F_2 = 2/T_{02}; g_c^2 = \frac{P_{s1i}}{\sigma_n^2 + P_{\text{вп1}}}; \sigma_n^2 = kT_0 N_{\text{ш}} \Delta f_n; g_{s1}^2 = \frac{P_{s1i}}{\sigma_n^2};$$

$$P_{\text{вп1}} = \sum_{j=1}^m P_{s1j} + \sum_{j=1}^m P_{s2j};$$

$$kT_0 = 4 \cdot 10^{-21} \text{ Вт/Гц}; g_{\text{рк}} = g_p \sqrt{\Delta f_n T_{1p}}; g_p = \frac{P_{s2i}}{\sigma_n^2 + P_{\text{вп2}}};$$

$$P_{\text{вп2}} = \sum_{j=1}^m P_{s1j} + \sum_{j=1}^m P_{s2j}; g_{s2}^2 = \frac{P_{s2i}}{\sigma_n^2},$$

где g_c, g_p – входное отношение сигнал/помеха по напряжению при выделении сигнала $S_1(t)$ или $S_2(t)$ на фоне шума $n(t)$ и взаимной помехи;

g_{s1}, g_{s2} – входное отношение сигнал/помеха по напряжению при выделении сигнала $S_1(t)$ или $S_2(t)$ на фоне шума;

$P_{\text{вп1}}, P_{\text{вп2}}$ – мощность взаимной помехи при выделении сигнала $S_1(t)$ или $S_2(t)$;

σ_n^2 – дисперсия шума на входе ЛТП;

$N_{\text{ш}}$ – коэффициент шума ЛТП;

T_{1c}, T_{1p} – постоянная интегрирования на входах каналов МКО при обработке сигнала $S_1(t)$ или $S_2(t)$.

Рассмотрим практический пример для GPS-мониторинга при использовании ненаправленных антенн при коэффициенте усиления антенн меньше или равному единицы, входному отношению сигнал-помеха по

напряжению при выделении сигнала $S_1(t)$ или $S_2(t)$ на фоне шума $g_{si} = 10^{-3}$; и отношению $P_{ci}/P_{pi} = 2$ при $F_2/F_1 = 10$ и количестве видимых спутников GPS $n = 4 \dots 8$ выражения для отношения сигнал-помеха по напряжению на выходе устройств разделения сигналов имеем

$$g_{kc} = g_{s1} \sqrt{\Delta f_n T_{1c}}; \quad g_{kp} = g_{s2} \sqrt{\Delta f_n T_{1p}}.$$

Исходные данные для аппаратуры GPS [3]: $n = 8$; $\alpha = 10^{-5}$; $\beta = 10^{-3}$; $F_1 = 10^6$ Гц; $F_2 = 10^7$ Гц; $N_{ш} = 2,5$; $g_{s1}^2 = 2 \cdot 10^{-3}$; $g_{s2}^2 = 10^{-3}$; $\Delta f_n = 2 \cdot 10^7$ Гц; $g_{s10}^2 = 2 \cdot 10^{-2}$; $\Delta f_{n1} = 2 \cdot 10^6$ Гц; $\Delta f_d = 10^4$ Гц; $\Delta f_p \leq \Delta f_d / n_k = 1250$ Гц.

Вероятность ошибочных решений в каналах всех устройств разделения сигналов составляет $P_{ош1} = 0,5(\alpha + \beta) = 5 \cdot 10^{-3}$ и обеспечивается при выходном отношении сигнал-помеха по напряжению $g = 7,36$ и нормированном пороге $g_{пор} = 4,26$.

Постоянные интегрирования ($T_{1C/A}$, T_{1P}) для требуемых выходного отношения сигнал-помеха g и порогового отношения сигнал-помеха $g_{пор}$ равны

$$T_{1C/A} = g^2 / (g_{s1}^2 \Delta f_n) = 1,35 \text{ мс}; \quad T_{1P} = g^2 / (g_{s2}^2 \Delta f_n) = 2,7 \text{ мс}.$$

При использовании восьми каналов ($n_k = 8$) каналов вероятность ошибки оценки числа сигналов равна $P_{ошк} \approx n_k P_{ош1} = 4 \cdot 10^{-3}$.

Несмотря на большой объем априорной известной информации о радиоизлучениях GPS проведение радиомониторинга вызывает большой интерес для выявления внештатных ситуаций в работе спутниковой радионавигационной системы, связанных с увеличением количества спутников в группировках и переходом от использования глобального луча к многолучевым антеннам с целью улучшения тактико-технических характеристик спутниковой радионавигационной системы при решении навигационных задач на определенных территориях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дятлов А.П. и др. Радиоэлектронная борьба со спутниковыми радионавигационными системами. – М.: Радио и связь, 2004.
2. Аганин А.Г. Метод разрешения сигналов по доплеровской частоте. – Радиотехника, №5, 2000.
3. Дятлов А.П., Кульбикаян Б.Х. Корреляционная обработка широкополосных сигналов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013.

УДК 681.883.46

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИЕМНЫХ ТРАКТОВ В ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Еремейчук М.В.

Южный федеральный университет, Таганрог

Гидроакустические системы находят широкое применение в военных, научных и промышленных задачах: от обнаружения подводных лодок до

исследования морского дна и разведки полезных ископаемых. Эффективность таких систем зависит не только от параметров антенны, но и от качества обработки принимаемого сигнала, где ключевую роль играют приёмные тракты. В данной работе рассматриваются особенности функционирования приёмных трактов в сложных условиях подводной среды, а также современные подходы к миниатюризации и повышению помехоустойчивости аппаратуры. [1]

Гидроакустика как наука изучает распространение звуковых волн в водной среде и их взаимодействие с различными объектами, рис.1. На основе этих принципов строятся современные гидроакустические системы, используемые для решения задач подводного наблюдения, навигации, связи и разведки. Одним из важнейших компонентов таких систем является приёмный тракт, обеспечивающий первичную обработку сигналов, принятых от гидроакустических антенн.

Приёмный тракт представляет собой совокупность устройств, предназначенных для усиления слабых сигналов, фильтрации шума, преобразования аналогового сигнала в цифровую форму и последующей передачи его на дальнейшую обработку. От характеристик этого тракта напрямую зависит точность и достоверность получаемой информации. Однако работа в подводной среде связана с рядом технических трудностей, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации оборудования.

Особенности распространения звука в водной среде.

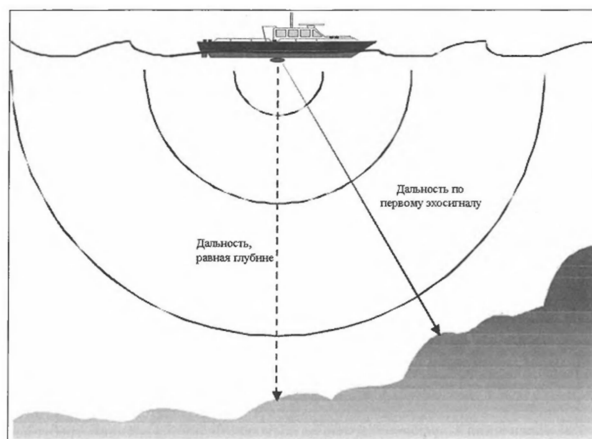


Рисунок 1. Распространение звуковых волн

Распространение звука в воде существенно отличается от воздушной среды. Скорость звука в морской воде составляет около 1500 м/с, однако она зависит от ряда факторов, таких как температура, солёность и давление. Например, с увеличением глубины давление возрастает, что влияет на плотность воды и, соответственно, на скорость звуковой волны. Эти изменения могут вызывать рефракцию (искривление траектории) звуковых лучей, что затрудняет точное определение местоположения источника сигнала. [1]

Кроме того, в водной среде наблюдается значительное затухание сигнала, особенно на высоких частотах. Так, выше 100 кГц происходит быстрое

ослабление сигнала из-за поглощения энергии водой. Это ограничивает дальность действия гидроакустических систем и требует применения специальных методов усиления и коррекции сигналов в приёмном тракте. [5]

Конструктивные особенности приёмного тракта. Приёмный тракт состоит из нескольких ключевых компонентов:

1. Предварительный усилитель.

Первым элементом приёмного тракта является предварительный усилитель, предназначенный для усиления слабых сигналов, принимаемых от гидроакустических преобразователей. Поскольку уровень полезного сигнала может быть крайне низким из-за затухания звука в воде, особенно на больших расстояниях или на высоких частотах, предварительный усилитель должен обеспечивать высокий коэффициент усиления при минимальном уровне собственных шумов.

Для снижения влияния внешних помех и повышения отношения сигнал/шум, предварительный усилитель размещается максимально близко к антенне, что позволяет минимизировать потери сигнала в соединительных линиях. Также важным параметром является полоса пропускания усилителя, которая должна соответствовать рабочему диапазону частот гидроакустической системы. Современные усилители строятся на основе малошумящих полевых транзисторов (LNA — Low Noise Amplifier), которые обеспечивают минимальное тепловое шумовое излучение и высокую стабильность характеристик при изменении температуры и давления. [3]

2. Фильтр.

Следующим этапом обработки сигнала является фильтрация, направленная на подавление нежелательных шумов и помех, находящихся вне рабочего диапазона частот. Для этих целей используются полосовые, режекторные, фильтры нижних или верхних частот, выбор которых зависит от конкретной задачи и спектрального состава ожидаемого сигнала.

Например, если система работает на низких частотах, то применяются фильтры нижних частот, которые блокируют высокочастотные помехи от морской фауны, судовых шумов или других источников. Наоборот, при работе на высоких частотах могут использоваться фильтры верхних частот, чтобы исключить низкочастотные артефакты, такие как фоновые шумы морского течения.

Фильтры выполняются как на дискретных электронных компонентах (катушках индуктивности, конденсаторах, операционных усилителях), так и в виде интегральных микросхем, что позволяет уменьшить размеры и повысить надёжность. Особое внимание уделяется согласованию импеданса между фильтром и предыдущими/последующими каскадами, чтобы избежать отражений сигнала и потерь мощности. [2]

3. Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП).

После фильтрации аналоговый сигнал поступает на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), который выполняет дискретизацию и квантование сигнала по уровню. Этот этап играет ключевую роль в дальнейшей обработке сигнала с помощью вычислительных средств. [4]

Важнейшими параметрами АЦП являются:

- Разрядность (точность представления сигнала),
- Частота дискретизации (должна удовлетворять теореме Котельникова),
- Динамический диапазон (способность различать как слабые, так и сильные сигналы).

Высокая точность преобразования особенно важна в условиях подводной среды, где уровень полезного сигнала может быть близок к уровню шума. Кроме того, АЦП должен обладать высокой скоростью работы, поскольку современные гидроакустические системы работают на частотах до нескольких сотен килогерц.

Для снижения влияния паразитных эффектов (например, дрожания фазы) и повышения точности преобразования АЦП часто сопровождается опорным источником напряжения и системой термостабилизации.

4. Микропроцессор.

После преобразования сигнала в цифровую форму данные передаются на цифровой процессор, который выполняет ряд функций, таких как:

- Цифровая фильтрация (в том числе адаптивная),
- Корреляционный анализ,
- Распознавание целей и классификация объектов,
- Обнаружение сигнала на фоне шума,
- Вычисление направления прихода сигнала (DOA — Direction of Arrival).

Обработка производится с использованием алгоритмов цифровой обработки сигналов (DSP), реализуемых либо на базе специализированных DSP-процессоров, либо на программируемых логических интегральных схемах (FPGA). Эти устройства позволяют выполнять сложные вычисления в реальном времени, что критически важно для задач обнаружения и сопровождения подводных объектов. [4]

Кроме того, цифровой процессор может взаимодействовать с другими модулями системы, такими как модуль связи, памяти, датчики глубины и ориентации, что позволяет формировать комплексную картину обстановки. [4]

Структурная схема типового приемного тракта приведена на рисунке 2.

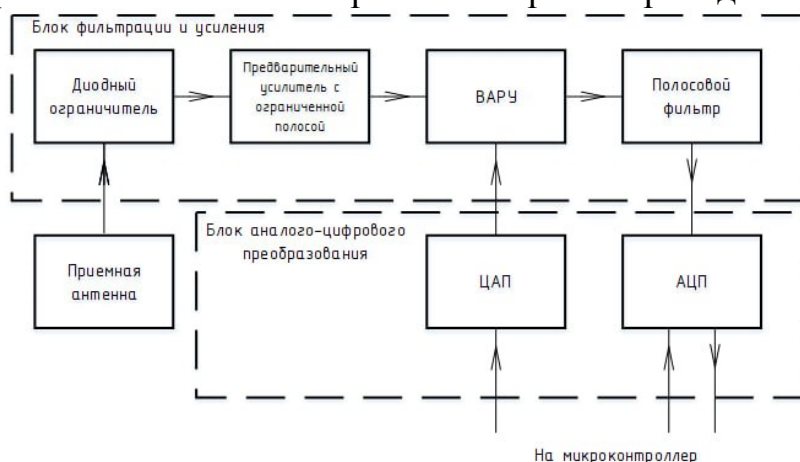


Рисунок 2. Структурная схема приемного тракта

Особое внимание уделяется миниатюризации электронных плат, которая позволяет уменьшить габариты оборудования и повысить надёжность работы в экстремальных условиях. Современные технологии поверхностного монтажа (SMD), использование многослойных печатных плат и интегральных микросхем позволяют создавать компактные и функциональные устройства, способные работать в ограниченном пространстве подводных аппаратов и датчиков.

Вызовы и помехи в подводной среде. Работа приёмных трактов в подводной среде сопряжена с рядом серьёзных проблем. Во-первых, наличие внешних акустических помех, таких как шумы судов, активность морской фауны и гидродинамические возмущения, может значительно снижать качество принимаемого сигнала. Во-вторых, паразитные ёмкости и индуктивности на высокочастотных участках схемы создают дополнительные трудности при проектировании усилителей и фильтров. В-третьих, тепловой шум, возникающий в усилителях на высоких частотах, ухудшает отношение сигнал/шум, что требует использования компонентов с низким энергопотреблением и эффективных систем охлаждения.

Ещё одной сложностью является калибровка оборудования в реальных условиях, поскольку невозможно полностью контролировать внешние факторы под водой. Для решения этих проблем применяются различные методы, включая математическое моделирование распространения звука, цифровую обработку сигналов (ЦОС) в реальном времени и автоматические системы самонастройки.

Методы компенсации и улучшения качества сигналов. Для повышения эффективности приёмных трактов используются следующие подходы:

1. Математическое моделирование — позволяет предсказывать поведение звуковых волн в различных условиях и корректировать искажения сигнала.
2. Цифровая обработка сигналов (ЦОС) — включает фильтрацию, спектральный анализ и адаптивную фильтрацию, что позволяет устранять шумы и восстанавливать искажённые данные.
3. Автоматическая самонастройка — обеспечивает адаптацию параметров тракта к изменяющимся условиям окружающей среды без необходимости ручной корректировки.

Эти методы позволяют повысить качество принимаемой информации и увеличить дальность действия гидроакустических систем, особенно в сложных условиях с высоким уровнем помех.

Перспективы развития приёмных трактов. В ближайшие годы развитие приёмных трактов будет направлено на:

- Интеграцию с автономными подводными аппаратами и беспилотными системами;
- Применение нейросетевых алгоритмов для автоматического анализа сигналов и классификации целей;
- Создание беспроводных систем передачи данных, работающих в подводной среде;

- Повышение энергоэффективности и устойчивости к внешним воздействиям.

Также ожидается дальнейшее развитие технологий миниатюризации, что позволит создавать более компактные и функциональные устройства, например, приёмный тракт многолучевого эхолота и гидроакустической системы ГБО/Эхолот, разработанный на базе СКБ «Акустика», представленный на рисунке 3.

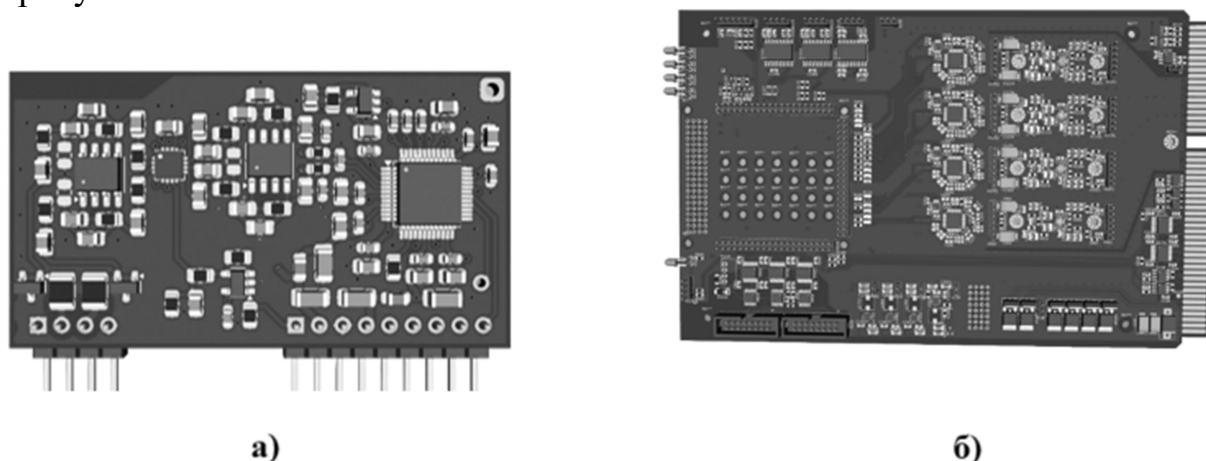


Рисунок 3. Приёмный тракт многолучевого эхолота – а);
приёмный тракт гидроакустической системы ГБО/Эхолот– б)

Заключение. Приёмные тракты являются неотъемлемой частью современных гидроакустических систем. Их эффективная работа обеспечивает высокую точность и надёжность при решении сложных задач в подводной среде. Несмотря на ряд технических трудностей, развитие микроэлектроники, цифровой обработки сигналов и автоматизации открывает новые возможности для совершенствования этих устройств. В будущем можно ожидать дальнейшего прогресса в направлении миниатюризации, повышения чувствительности и интеллектуализации приёмных трактов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фирсов, А. А.* Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров / А. А. Фирсов. — Спб.: Нестор-История, 2010. — 348 с.
2. *Попов, О.В.* Цифровая обработка сигналов в трактах звукового вещания / О.В. Попов. - М.: Горячая линия -Телеком, 2012. - 341 с
3. *Карабанов И. В., Миронов А. С.* Алгоритмы обработки гидроакустических сигналов. Хабаровск: ТОГУ, 2018. С. 140.
4. *Айфичер Э., Джервис Б.* Цифровая обработка сигналов. Практический подход. - М., Вильямс, 2008. С. 287.
5. *Нерук В.Ю.* Гидролокатор бокового обзора для экологического мониторинга акватории // Сборник XIII Всероссийской школы-семинара молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников «Исследования и творческие проекты для развития и освоения прибрежно-шельфовых зон юга

России». - Ростов-на-Дону Таганрог: Издательство Южного Федерального Университета, 2022 с.110-114

УДК 51-74:519.6:004.021

СОЗДАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА АВТОПИЛОТА ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

Зонтов А.А., Летов В.В., Косенко Е.Ю.

Южный Федеральный Университет, ИРТСУ, г. Таганрог

В современной мире быстроразвивающихся технологий создания автономных роботизированных подвижных объектов и развития машинного обучения появилась возможность объединить данные сферы в одну – автопилот со встроенной в него нейросетью.

Развитие данной технологии позволит автоматизировать процесс управления автономными роботизированным комплексами при их перемещении до пункта назначения в заранее неопределенной среде с динамическими препятствиями, так как в предлагаемом подходе построение маршрута происходит динамически при обнаружении ил отсутствии препятствий на пути следования.

В данной работе представлен алгоритм определения контуров препятствия с помощью нейронной сети, которая при помощи бинарной маски фона будет определять координаты верхнего левого угла рамки препятствия, которые затем будут переданы на систему определения реальных координат подвижного объекта [1]. Основные этапы обработки видеопотока при детектировании препятствий представлены на рис. 1 и включают:

1)Предобработку видеопотока для оптимизации получаемого изображения (размеры, формат и подавление шумов).

2) Свёртку и последовательную обработку изображения по слоям для определения наличия препятствия в CNN (свёрточной нейросети).

3) Определение выходного результата классификации текущего изображения в блоке «условие»:

- если изображение классифицировано как «с препятствием» - переход на алгоритм выделения препятствия;

- если изображение классифицировано как «без препятствия» - возврат на часть с получением нового кадра с видеопотока.

4) Сегментацию фона изображения в блоке нейросетевого алгоритма, осуществляющего создание бинарной маски для объектов отличных фона.

5) Выделение контура препятствия путем накладывания полученной бинарной маски на изначальное изображение.

6) Определение реальных координат [2].

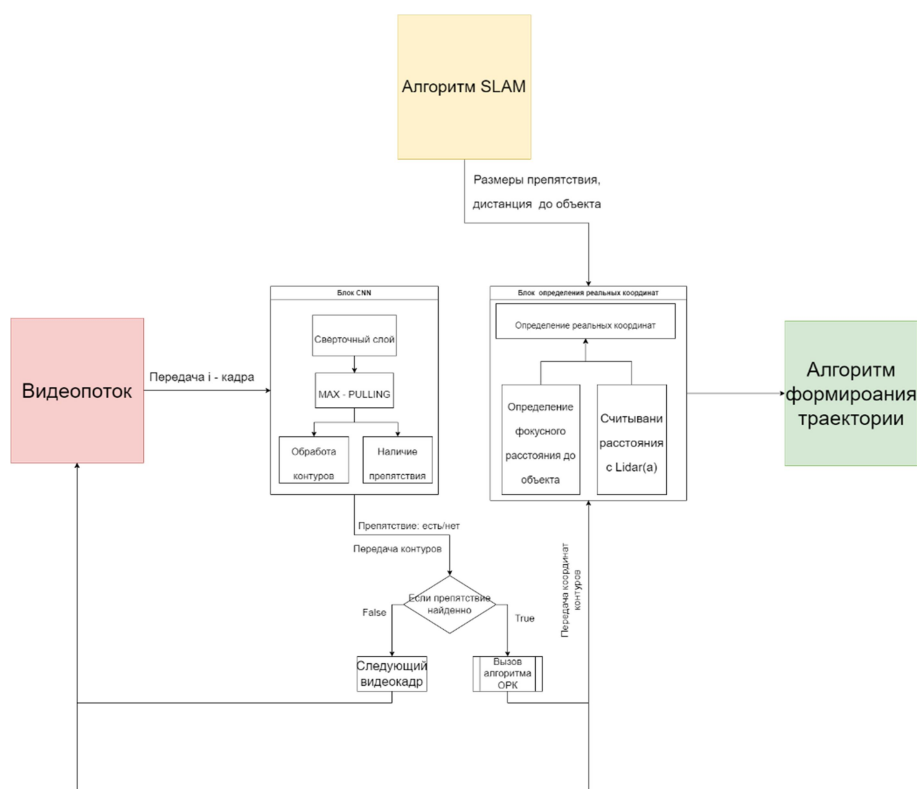


Рисунок 1. Алгоритм обработки видеопотока

Реальные параметры: размеры и дистанция – считываются с лидара [3].

Используемая нейросеть представляет классическую сверточную модель – классификатор с технологией Object Detection.

Задачи, выполняемые данной нейросетью: классификация потока изображений на наличие препятствия; обработка контуров изображения и разбиение областей по признакам; выделение контура препятствия.

Модель нейросети состоит из 5-слоёв (рис. 2): слоя предобработки; сверточного; подвыборочного слоя; полносвязного; выходного; классификатора.

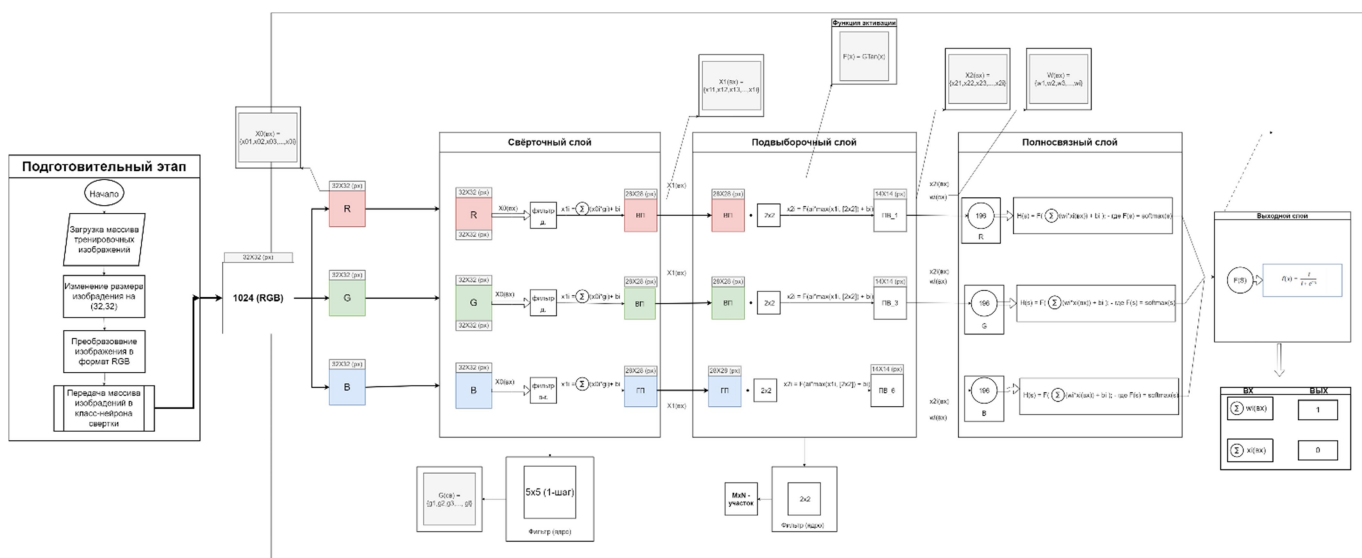


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма прямого прохода нейросети

Обработка контуров происходит параллельно классификации изображения обученной моделью.

На данном этапе реализована нейросеть – классификатор, которая способна определять изображения с препятствиями и без, проводя классическую бинарную классификацию.

Алгоритм обработки контуров представлен на рис. 3.

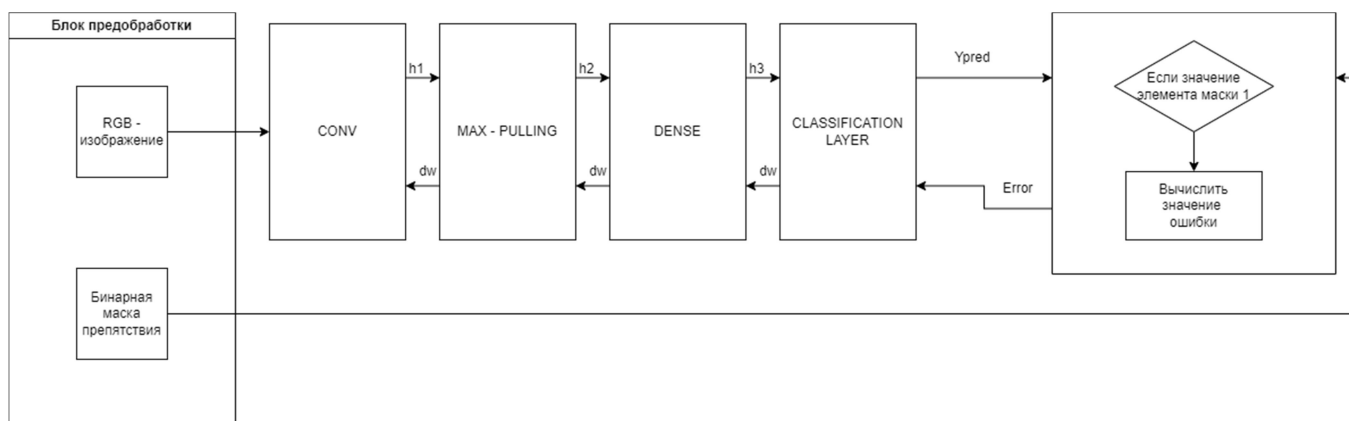


Рисунок 3. Блок-схема дополненной модели CNN

Особенностью данной модели нейросети является изменённый выходной слой, величина ошибки которого рассчитывается следующим образом:

шаг 1: из входного изображения извлекается бинарная маска, которая отделяет фон от препятствия;

шаг 2: на выходном слое происходит вычисление ошибки, принимая за эталонное значение матрицу бинарной маски.

Вычисление выходной ошибки E осуществляется по следующей формуле:

$$E = \frac{\sum (B_{ij} - d_{ij})^2}{n}, \quad (1)$$

где $B_{ij} = 1$ – значение пикселя бинарной маски определения препятствия;
 n – число вычисляемых ошибок.

Формула (1) описывает вычисление средней ошибки между значениями маски и возвращаемыми значениями входного слоя.

После получения необходимой информации по местоположению препятствия: считанные данные с лидара о дистанции до препятствия; координаты изображения препятствия, полученные с выхода нейронной сети данные отправляются в алгоритм определения реальных координат и формирования траектории [4].

После расчета, координаты, возвращаемые данным алгоритмом, отправляются систему управления роботизированного комплекса, где происходит расчёт траектории перемещения подвижного объекта.

На данном этапе разработки были выявлены потенциальные проблемы, связанные с высокими требованиями для бортовых вычислительных устройств,

которые определяются особенностями нейросети, алгоритмом SLAM для лидара и алгоритмом планирования траектории [5].

Возможными решениями данных проблем может стать:

- интеграция системы управления в виртуальную среду Google Colab или другие её аналоги;

- привязка процесса обработки и запуска кода к аппаратному ускорению с помощью графического процессора (GPU), что значительно уменьшит время обработки 1-кадра видеопотока и повысит производительность программы.

Проведенный анализ показал, что помимо ускорения алгоритма работы нейросети, для повышения ее производительности можно добиться путем увеличения объёма данных обучаемой выборки при разных уровнях и условиях освещенности окружающей среды, добавления алгоритма фильтрации солнечных бликов на водной поверхности и фильтрации артефактов, вызванных засветом объектива камеры. Дальнейшее исследование будет направлено на развитие данных подходов [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зонтов, А. А., Летов, В. В. Применение нейросетевого подхода для обнаружения препятствия на морской поверхности / А. А. Зонтов, В. В. Летов [Текст] // Инженерия – XXI. — Новороссийск:, 2025. — С. 186-187 (дата обращения: 12.05.2025).

2. Зонтов А.А., Косенко Е.Ю. Разработка алгоритма определения реального положения объектов при помощи технологии компьютерного зрения / А.А. Зонтов, Е.Ю. Косенко [Текст] // Сборник трудов XX Юбилейной Всероссийской научно-практической конференции и XVI молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах». — Таганрог: Южный федеральный университет, 2025, 2025. — С. 437-440 (дата обращения: 12.05.2025).

3. Летов В.В., Косенко Е.Ю. Анализ подходов к реализации алгоритма slam в современных системах навигации / В.В. Летов, Е.Ю. Косенко [Текст] // Сборник трудов XX Юбилейной Всероссийской научно-практической конференции и XVI молодежной школы-семинара «Управление и обработка информации в технических системах». — Таганрог: Южный федеральный университет, 2025, 2025. — С. 460-464. (дата обращения: 12.05.2025).

4. Алгоритмы поиска пути / [Электронный ресурс] // Искусственный интеллект : [сайт]. — URL: <https://pmg.org.ru/ai/stout.htm> (дата обращения: 13.05.2025).

5. Летов В. В. Программно-технические аспекты реализации алгоритма автономной навигации SLAM / В. В. Летов [Текст] // Инженерия – XXI. — Новороссийск:, 2025. — С. 197-198 (дата обращения: 12.05.2025).

6. Magnus Tech «А можно быстрее?»: разбираем методы ускорения обучения нейронных сетей / Magnus Tech [Электронный ресурс] // Habr : [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/companies/magnus-tech/articles/840902/> (дата обращения: 15.05.2025).

УДК 534.222.2

ШИРОКОПОЛОСНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ

Калюта В.И, Деменчук В.В.

Южный федеральный университет, Таганрог, Россия

В данной работе представлен комплексный анализ применения технологий широкополосного зондирования (ШПЗ) для обнаружения малоразмерных объектов в донных осадках. Рассмотрены физические принципы взаимодействия широкополосных сигналов с неоднородными средами, проанализированы преимущества использования многочастотного подхода по сравнению с традиционными методами узкополосной локации. Особое внимание уделено современным алгоритмам обработки данных, включая применение вейвлет-анализа и нейросетевых моделей для повышения эффективности обнаружения объектов размером менее 10 см. Представлены результаты экспериментальных исследований в различных акваториях, демонстрирующие возможность достижения сантиметрового разрешения при глубине проникновения до 5 м в донные осадки. Рассмотрены перспективные направления развития технологии, включая интеграцию с автономными подводными аппаратами и разработку гибридных систем зондирования. Результаты исследования имеют значительный потенциал для применения в археологии, экологическом мониторинге и задачах обеспечения безопасности морских акваторий.

Ключевые слова: широкополосное зондирование, донные осадки, малоразмерные объекты, обработка сигналов, подводная археология, экологический мониторинг, нейросетевые модели, автономные подводные аппараты.

Обнаружение и идентификация малоразмерных объектов в донных осадках представляет собой важную и многоаспектную задачу, затрагивающую различные области науки и практической деятельности. Археологические исследования подводного культурного наследия, экологический мониторинг загрязнений (включая микропластик), поиск и обезвреживание взрывоопасных предметов на морском дне – все эти задачи требуют развития высокоточных методов дистанционного зондирования.

Кроме того, растущая обеспокоенность загрязнением морской среды микропластиком (частицами размером менее 5 мм) стимулирует разработку технологий, способных обнаруживать и картографировать концентрации этих загрязнителей в поверхностном слое донных осадков. По данным последних исследований, концентрация микропластика в некоторых прибрежных районах может достигать 100 частиц на килограмм донных отложений, что представляет серьезную экологическую угрозу [1].

Традиционные методы обследования морского дна сталкиваются с рядом существенных ограничений при решении задач обнаружения малоразмерных объектов в донных осадках. Стандартные гидролокаторы бокового обзора обеспечивают хорошее разрешение для картирования рельефа дна, но имеют ограниченную способность проникновения в донные отложения. Профилографы, работающие на фиксированных частотах 3,5–12 кГц, хотя и обеспечивают проникновение до нескольких десятков метров в мягкие осадки,

имеют недостаточное разрешение для обнаружения объектов размером менее 30–50 см [2].

Магнитометрические методы эффективны только для обнаружения ферромагнитных объектов и существенно ограничены в локализации немагнитных материалов, включая керамику, дерево, стекло и современные композитные материалы. Георадарное профилирование, применяемое в условиях мелководья, сталкивается с проблемой быстрого затухания сигнала в морской воде и высокой чувствительностью к изменению электропроводности среды.

Кроме того, типичным ограничением большинства узкополосных методов является так называемый "компромисс между разрешением и глубиной проникновения": высокочастотные системы обеспечивают лучшее разрешение, но меньшую глубину проникновения, в то время как низкочастотные системы обладают большей проникающей способностью, но худшим разрешением. Это фундаментальное противоречие существенно ограничивает возможности традиционных систем подповерхностного зондирования [3].

Целью настоящего исследования является оценка эффективности широкополосного зондирования (ШПЗ) как метода, способного преодолеть вышеуказанные ограничения традиционных подходов для повышения точности и глубины исследований малоразмерных объектов в донных осадках.

Ключевая особенность широкополосного зондирования заключается в использовании сигналов, покрывающих значительный диапазон частот, в отличие от традиционных систем, работающих на фиксированной частоте или в узком частотном диапазоне. В современных системах ШПЗ применяются различные типы широкополосных сигналов, включая линейно-частотно модулированные (ЛЧМ) сигналы (так называемые "чирпы"), последовательности максимальной длины (М-последовательности) и другие типы сигналов с высокой временной и частотной разрешающей способностью.

Современные акустические системы ШПЗ работают в диапазоне от сотен герц до десятков килогерц, электромагнитные системы – от десятков мегагерц до единиц гигагерц, что обеспечивает возможность получения информации об объектах различных размеров, расположенных на различной глубине в донных осадках. Важным преимуществом использования широкого спектра частот является синергетический эффект, при котором низкочастотные компоненты обеспечивают глубину проникновения, а высокочастотные – детализацию и высокое разрешение [4].

Взаимодействие акустических и электромагнитных волн с гетерогенными средами, такими как донные осадки, характеризуется сложными процессами отражения, рассеяния, преломления и поглощения. Для описания этих процессов используются различные математические модели, включая уравнение Гельмгольца для волновых полей и теорию Ми для рассеяния на сферических неоднородностях.

Затухание сигнала в донных осадках существенно зависит от частоты. В большинстве типов донных отложений коэффициент затухания α может быть аппроксимирован зависимостью:

$$\alpha = k \cdot f^n \quad (1)$$

где f – частота, k – коэффициент, зависящий от типа среды, n – показатель степени, обычно принимающий значения от 1 до 2.

Для акустических волн в морских донных отложениях значение n близко к 1, что соответствует линейному росту затухания с частотой. В случае электромагнитных волн этот показатель ближе к 2, что приводит к более быстрому затуханию высокочастотных компонентов.

Рассеяние волн на малоразмерном объекте может быть описано с использованием функции рассеяния $R(\theta, \varphi, f)$, которая зависит от углов падения и рассеяния (θ, φ) , и частоты сигнала f . Эта функция определяет амплитуду и фазу волны, рассеянной в определенном направлении, и содержит информацию о геометрических и физических свойствах объекта [5].

Разрешающая способность ШПЗ определяется двумя основными составляющими: продольным (по глубине) и поперечным (в плоскости дна) разрешением. Продольное разрешение Δr зависит преимущественно от ширины полосы частот B и может быть приближенно оценено по формуле:

$$\Delta r \approx c/(2B) \quad (2)$$

где c – скорость распространения волны в среде.

Для широкополосных систем с полосой в несколько октав (например, 1–10 кГц для акустических систем) можно достичь теоретически продольного разрешения порядка нескольких сантиметров, что значительно превосходит возможности традиционных узкополосных профилографов.

Поперечное разрешение определяется апертурой приемной антенны и рабочей частотой. Для системы с апертурой D на расстоянии R поперечное разрешение Δl можно оценить как:

$$\Delta l \approx \lambda R/D \quad (3)$$

где λ – длина волны.

Использование высокочастотных компонентов сигнала позволяет улучшить поперечное разрешение, однако сопровождается более быстрым затуханием в среде. Эту проблему частично решает синтезирование апертуры при движении носителя (технология Synthetic Aperture Sonar - SAS для акустических систем или Synthetic Aperture Radar - SAR для радарных), позволяющее увеличить эффективный размер антенны [6].

Глубина проникновения сигнала в донные осадки зависит от типа грунта и существенно различается для разных типов сред. В таблице 1 приведены типичные значения глубины проникновения для систем ШПЗ различной физической природы в основных типах донных осадков [7].

Как видно из таблицы, акустические системы обладают значительно большей проникающей способностью в водонасыщенных донных отложениях по сравнению с георадарными системами, однако последние могут обеспечивать лучшее разрешение для объектов, расположенных вблизи поверхности дна.

Одним из основных вызовов при использовании ШПЗ в морских условиях является наличие различных типов помех, снижающих эффективность обнаружения малоразмерных объектов.

Таблица 1. Глубина проникновения широкополосных систем в различных типах донных осадков

Тип осадка	Акустические системы (1–10 кГц)	Электромагнитные системы (100–1000 МГц)
Ил	до 10 м	до 0.5 м
Песок	до 5 м	до 1 м
Глина	до 3 м	до 0.3 м
Смешанные грунты	до 4 м	до 0.7 м

Основные источники помех включают:

1. Многолучевое распространение – возникает из-за отражений сигнала от поверхности воды, неоднородностей в толще воды и самого дна;
2. Объемное рассеяние – вызывается неоднородностями в структуре донных осадков;
3. Реверберация – продолжительное "послезвучание" среды после прохождения зондирующего импульса;
4. Шумы внешних источников – включая биологические (шумы морских организмов), антропогенные (судоходство, промышленная деятельность) и геофизические (подводная сейсмическая активность) источники.

Для подавления этих помех в современных системах ШПЗ применяются различные методы обработки сигналов:

1. Согласованная фильтрация – оптимальный метод обработки для обнаружения известного сигнала на фоне белого шума. Для широкополосных ЛЧМ-сигналов согласованная фильтрация реализуется через операцию свертки принятого сигнала с комплексно-сопряженной копией излученного сигнала.
2. Адаптивная пространственно-временная фильтрация – учитывает изменение характеристик помех во времени и пространстве. Методы включают адаптивные фильтры Калмана, алгоритмы минимума среднеквадратической ошибки (MMSE) и другие техники адаптивной фильтрации.
3. Разреженная (sparse) декомпозиция сигналов – представление сложного сигнала в виде суперпозиции базисных функций из избыточного словаря. Этот подход эффективен для разделения полезного сигнала и шума, имеющих различную структуру в соответствующем базисе (Blondel et al., 2021).

Для компенсации влияния придонных течений, вызывающих нестационарные помехи, применяются доплеровские методы коррекции с использованием опорных отражателей или инерциальных навигационных систем [8].

Обнаружение малоразмерных объектов в донных осадках требует эффективных алгоритмов выделения слабых сигналов на фоне шумов и помех. Среди наиболее эффективных подходов можно выделить:

1. Вейвлет-анализ – многомасштабный анализ сигналов, позволяющий эффективно выделять локализованные особенности в частотно-временной

плоскости. Для задач ШПЗ особенно эффективны дискретные вейвлет-преобразования с адаптивным выбором базиса (Nguyen et al., 2022).

2. Методы разрешения сверхвысокого разрешения – включая алгоритмы MUSIC (Multiple Signal Classification), ESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) и минимальной дисперсии Кейпона. Эти методы позволяют различать объекты, расположенные на расстояниях меньше классического дифракционного предела (Diamant et al., 2020).

3. Компрессированное восприятие (Compressed Sensing) – подход, основанный на восстановлении разреженных сигналов из неполных измерений, что позволяет существенно уменьшить объем необходимых измерений при сохранении качества реконструкции (Santos et al., 2021).

Машинное обучение, в частности глубокие нейронные сети, играет всё возрастающую роль в обработке данных ШПЗ. Наиболее перспективными архитектурами для обработки данных подповерхностного зондирования являются:

1. Сверточные нейронные сети (CNN) – особенно эффективны для обработки двумерных данных, таких как сонограммы и профилограммы. Архитектуры типа ResNet и DenseNet показывают высокие результаты при классификации объектов в донных осадках (Kim et al., 2020).

2. U-Net и его модификации – архитектура, изначально разработанная для сегментации медицинских изображений, доказала свою эффективность для сегментации гидроакустических и георадарных изображений, позволяя точно выделять границы погребенных объектов различной формы (Qiao et al., 2022).

3. Рекуррентные нейронные сети (RNN) и сети долгой краткосрочной памяти (LSTM) – используются для анализа временных последовательностей, что важно при обработке трехмерных данных последовательных профилей (Cheng et al., 2019).

Важным аспектом применения методов машинного обучения является формирование обучающих наборов данных. Для этого используются как реальные полевые измерения с верифицированными целями, так и синтетические данные, полученные с помощью численного моделирования. Последний подход особенно важен для редких типов объектов или сложных условий съемки, для которых сложно собрать достаточный объем полевых данных [9].

Проведенный анализ показывает, что широкополосное зондирование представляет собой эффективный подход к решению задачи обнаружения малоразмерных объектов в донных осадках, обеспечивая значительные преимущества перед традиционными узкополосными методами. Ключевыми преимуществами ШПЗ являются [10]:

1. Повышенное разрешение при сохранении достаточной глубины проникновения, что позволяет обнаруживать объекты размером от нескольких сантиметров на глубине до нескольких метров в донных осадках;

2. Возможность одновременного получения информации о различных физических свойствах объектов и среды за счет использования сигналов в широком диапазоне частот;

3. Гибкость в выборе параметров зондирования, адаптируемых к конкретным задачам и условиям;

4. Совместимость с современными технологиями автономных подводных аппаратов и методами цифровой обработки сигналов.

Внедрение технологий ШПЗ в практику подводных исследований требует решения ряда технических и методических задач, включая разработку компактных и энергоэффективных датчиков, создание специализированных алгоритмов обработки многомерных данных и подготовку квалифицированных специалистов. Однако потенциальные выгоды от применения этих технологий в археологии, экологическом мониторинге и обеспечении безопасности морских акваторий существенно превышают необходимые инвестиции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пивнев П. П. Особенности применения широкополосных гидроакустических систем для мониторинга мелководных районов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. №6 (200). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-primeneniya-shirokopolosnyh-gidroakusticheskikh-sistem-dlya-monitoringa-melkovodnyh-rayonov> (дата обращения: 14.05.2025). Brennan, M. L., Cantelas, F., & Coleman, D. F. (2021). Underwater cultural heritage in marine protected areas: Challenges and opportunities. *Marine Geophysical Research*, 42(1), 1-18.
2. Пивнев П. П. Параметрические широкополосные системы мониторинга и связи в гидроакустике // ИВД. 2019. №2 (53). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/parametricheskie-shirokopolosnye-sistemy-monitoringa-i-svyazi-v-gidroakustike> (дата обращения: 14.05.2025).
3. Пивнев П. П. ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОДОЕМОВ // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. №8 (210). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/shirokopolosnye-gidroakusticheskie-sistemy-ekologicheskogo-monitoringa-vodoevov> (дата обращения: 14.05.2025).
4. Каевицер В.И., Кривцов А.П., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В. «Возможность обнаружения звукорассеивающих слоев интерферометрическим гидролокатором бокового обзора» Том 69, с. 528-533 (2023) DOI: 10.31857/S0320791923600439
5. А. А. Ярошенко, А.Д. Дегтяр Затухание звука в морской среде (обзор) // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества - 2023. - №20. - С. 70–81. doi:10.31429/vestnik-20-2-70-81
6. Abu, A., & Diamant, R. (2019). Automatic Detection of Underwater Objects in Sonar Imagery. 1–5. <https://doi.org/10.1109/OCEANSE.2019.8867489>.
7. Yang, Y., Yang, S., & Ding, Y. (2021). Research on Active Sonar Object Echo Signal Enhancement Technology in the Spatial Fractional Fourier Domain. *Acoustics Australia*, 49(3), 1–10. <https://doi.org/10.1007/S40857-021-00244-3>
8. Saenko, A., Mironov, A. S., & Фомина, Е. (2024). Methods for Improving the Efficiency of Object Detection in Sonar Images. 578–582. <https://doi.org/10.1109/rusautocon61949.2024.10694046>

9. Xi, J., Ye, X., & Li, C. (2022). Sonar Image Target Detection Based on Style Transfer Learning and Random Shape of Noise under Zero Shot Target. *Remote Sensing*, 14(24), 6260. <https://doi.org/10.3390/rs14246260>

10. Karimanzira, D., Renkewitz, H., Shea, D., & Albiez, J. (2020). Object Detection in Sonar Images. *Electronics*, 9(7), 1180. <https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS9071180>

УДК 51-74:519.6:004.021

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА SLAM В МОБИЛЬНЫХ РОБОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Летов В.В., Зонтов А.А., Косенко Е.Ю.

Южный Федеральный Университет, ИРТСУ, г. Таганрог

Одной из немаловажных функций каждой подвижной беспилотной системы (далее - системы), несомненно, является реализация автономной навигации. Она способствует передвижению системы в неизвестной среде благодаря анализу окружающей среды, обозначению препятствий и, соответственно, построению карты данной местности, а зная местность, можно в ней без труда ориентироваться. С данной задачей превосходно справляется алгоритм одновременной локализации и картирования – SLAM (англ. Simultaneous Localization And Mapping)[1].

Внедрение алгоритма SLAM позволит автоматизировать процесс перемещения и работы систем без непосредственного участия оператора. На основе полученной карты местности с обозначенными на ней препятствиями роботизированная платформа сможет выполнять задачи различного типа, начиная от уборки полов (роботы-пылесосы), заканчивая спасательными операциями.

В данной работе рассматривается алгоритм определения препятствий и построения 2D-карты местности с использованием средств измерения времени прохождения сигнала до и после отражения от поверхности. Будут рассмотрены два наиболее распространенных варианта технической реализации алгоритма SLAM: при помощи лазерных лидаров (LiDAR) и RGB-D камер с возможностью измерения глубины изображений [2].

Обобщенно, принцип работы SLAM можно описать следующим образом. Первоначально происходит сбор данных с камер, сенсоров и вспомогательных устройств, например, инерциального измерительного блока (IMU), компонента, который представляет собой комбинацию трех типов датчиков: акселерометров, гироскопов и магнитометров, предоставляющих информацию о положении системы в пространстве. По полученным данным производится построение начальной карты среды. По мере того как система перемещается в окружающей среде, она продолжает выстраивать карту, учитывая препятствия в данной среде (Рис. 1).

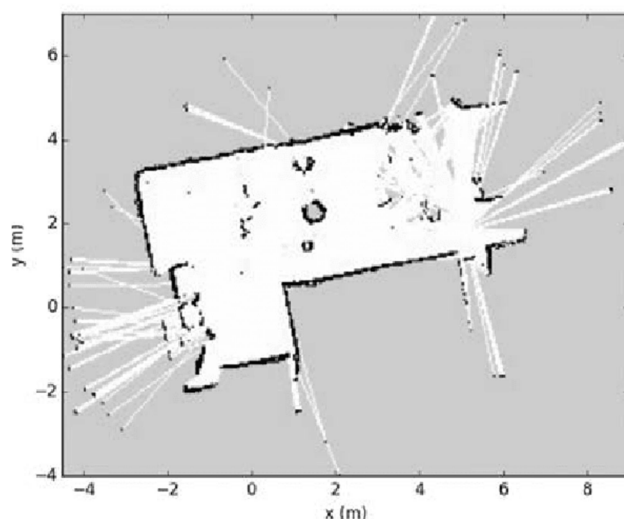


Рисунок 1. Построенная карта из множества ориентиров в Rtabmap

На каждом шаге у системы есть набор прежних и новых ориентиров - точек, полученных при измерении расстояния до объектов. При сопоставлении данных ориентиров, заносащихся в матрицу ковариации - структуры для хранения информации о траектории движения системы, алгоритм достраивает карту и исключает повторное занесение уже известных ориентиров. Таким образом, на основе оценки разницы между двумя позициями системы, обновляются все ориентиры и корректируется карта местности (ссылка на тот файл, стр – 386-387).

С математической точки зрения, SLAM оценивает весь путь, пройденную системой и построенную карту. Графически модель реализации SLAM можно изобразить следующим образом (Рис. 2) [3].

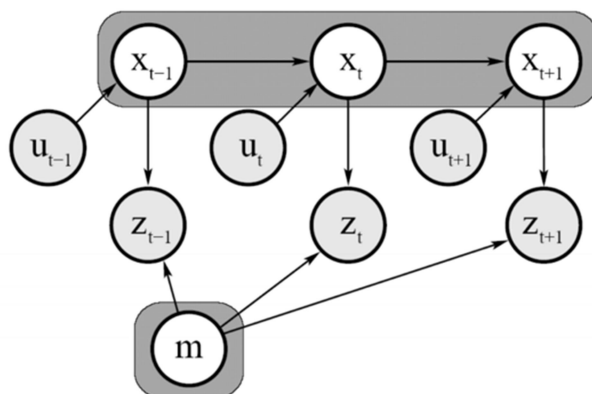


Рисунок 2. Графическая модель алгоритма SLAM

Для расчета траектории роботизированной системы, можно воспользоваться следующей формулой:

$$p(x_{1:t}, m | z_{1:t}, u_{1:t}) \quad (1)$$

где u - управление системой в момент времени t и определяется как:

$$u_{1:t} = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_t\} \quad (2)$$

z - информация об окружающей среде в момент времени t и определяется как:

$$z_{\{1:t\}} = \{z_1, z_2, z_3, \dots, z_t\} \quad (3)$$

x - полученное местоположение робота в момент времени t и определяется как:

$$x_{\{1:t\}} = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_t\} \quad (4)$$

m - построенная карта;

Наиболее используемыми устройствами в реализации алгоритма SLAM являются датчики определения дальности с помощью световых сигналов LiDAR, на основе (L-SLAM) и камеры с функцией измерения глубины (V-SLAM). У каждого из них свои преимущества и недостатки, рассмотрим каждый из них.

Устройства LiDAR рассчитывают расстояние до объектов при помощи определения времени между отправкой и получением отраженного светового импульса. Полученное облако точек (ориентиров) обеспечивает высокоточные измерения расстояния, что способствует эффективному построению карт при помощи SLAM. LiDAR предназначены для построения карты не только в 2D, но и в 3D пространстве. На рисунке 3 изображена карта помещения, построенного алгоритмом SLAM при помощи 2D лидара.

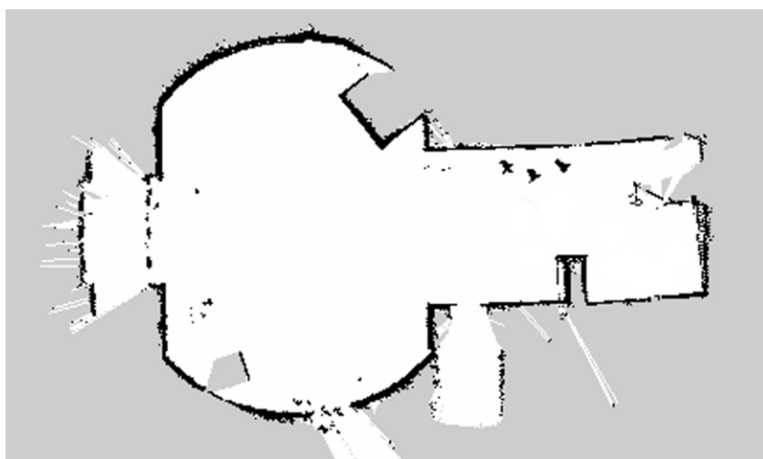


Рисунок 3. Построенная карта помещения при помощи 2D LiDAR

Проведя симуляцию 3D LiDAR в симуляторе «LidarSimulator» была продемонстрирована работа данного устройства и показано построение 3D карты окружающего пространства (Рис. 4-5).

По рисункам 4-5 видим, что объекты, попадающие в радиус действия определенных зон начинают помечаться соответствующим цветом в зависимости от дальности до данных объектов. Данный симулятор демонстрирует принцип работы алгоритма SLAM в режиме реального времени.

Визуальный SLAM (V-SLAM) может быть реализован несколькими видами камер: стереокамера и RGB-D камера (Рис. 6).

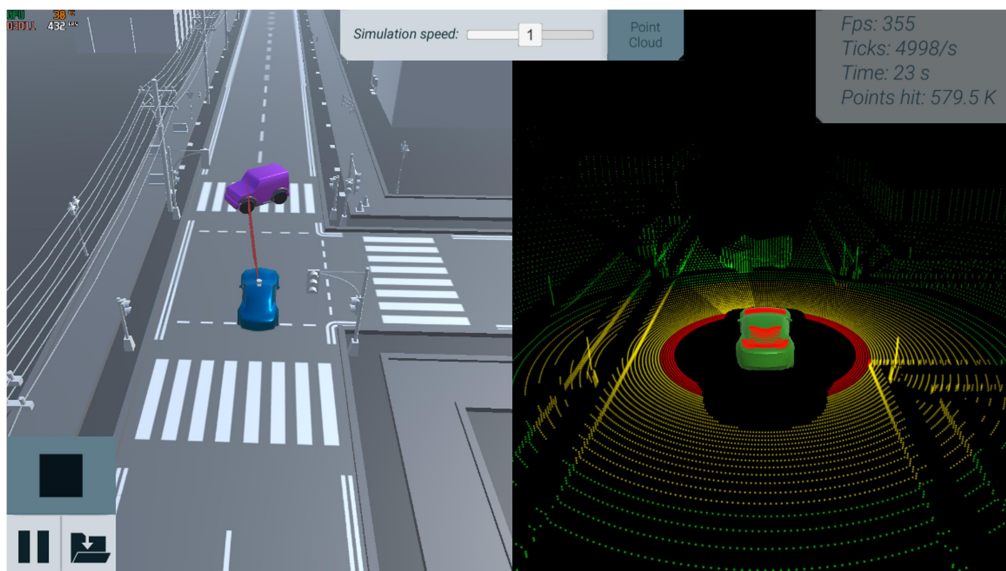


Рисунок 4. Карта местности до сближения с препятствием

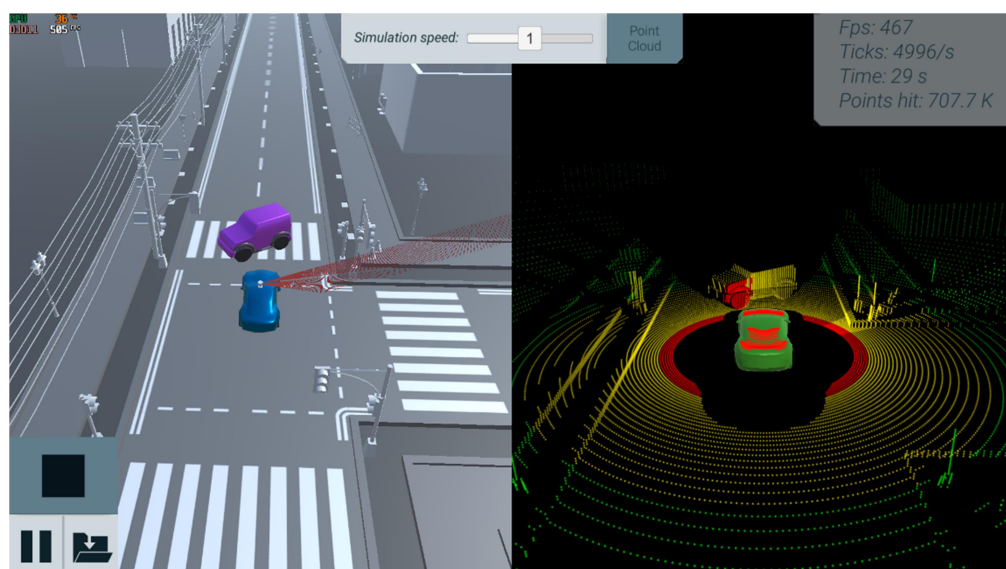


Рисунок 5. Карта местности после приближения к препятствию



Рисунок 6. Камеры для V-SLAM (стереокамера, RGB-D камера)

Со стереокамеры получается два изображения. За счет того, что они сделаны одновременно на небольшом расстоянии (база камеры), возможно определение глубины на результирующем изображении. Трехмерное изображение получается следующим образом: устройство сопоставляет пиксели с двух изображений и вычисляет смещение каждого пикселя. Тогда,

зная базу камеры и смещение пикселей, можно легко определить расстояние до каждого пикселя на изображении.

RGB-D камеры помимо обычной цветовой картинке (RGB) также получают канал глубины (-D). Карта глубины - двумерный массив чисел, размер которого либо может совпадать, либо не совпадать с размером RGB изображения. Каждое число показывает расстояние от камеры до точки в пространстве, которая была спроецирована на плоскость камеры. Сопоставив изображение и карту глубины, получается следующее изображение (Рис. 7).

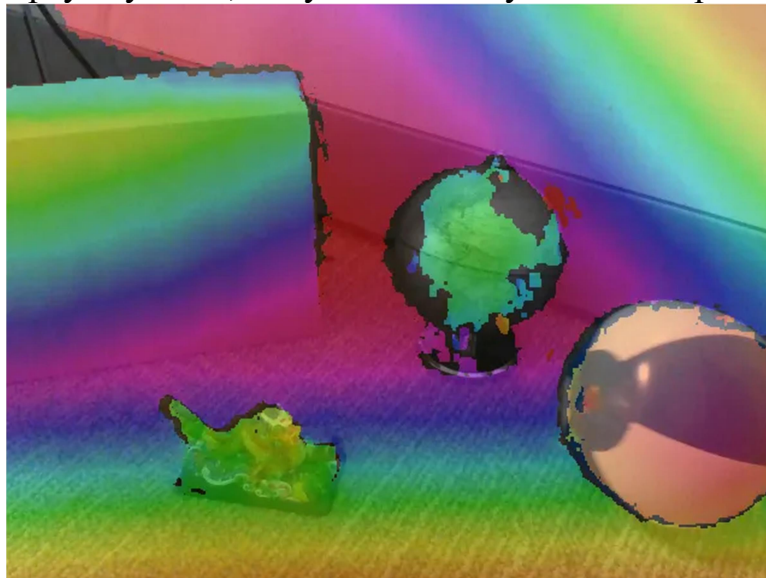


Рисунок 7. Сопоставление карты глубины и RGB изображения

Таким образом, используя данные камеры в приложении RTAB-Map для построения 3D карты получится карта реального пространства (Рис. 8).

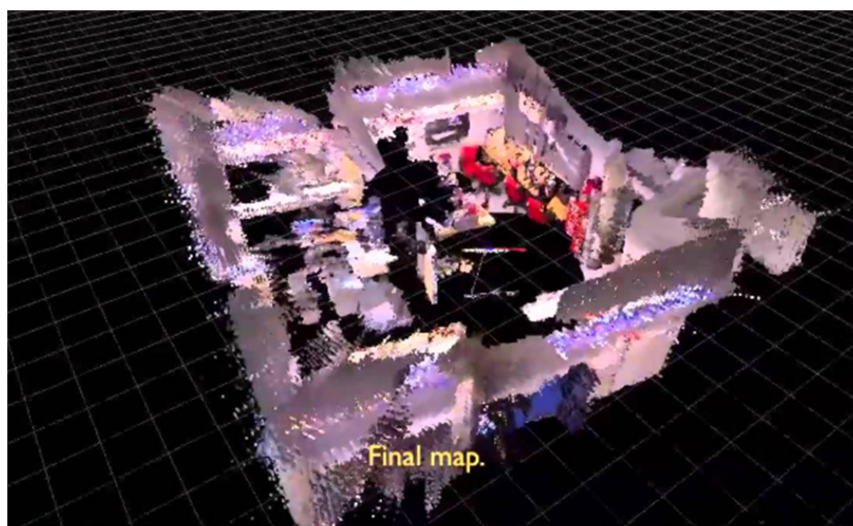


Рисунок 8. Построение карты пространства в RTAB-Map

Алгоритм навигации беспилотных систем SLAM можно реализовать при помощи различных подходов и устройств - в зависимости от необходимых результатов. И лазерные лидары и глубинные камеры позволят построить как 2D, так и 3D-карту пространства. По сравнению с камерой, точность LiDAR не

зависит от освещенности, однако создание облака точек обычно требует высокой вычислительной мощности. V-SLAM гораздо проще распознает ориентиры в пространстве и делает систему более мобильной и доступной [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) / [Электронный ресурс] // Advanced Navigation : [сайт]. — URL: <https://www.advancednavigation.com/glossary/slam/> (дата обращения: 12.05.2025).
2. Летов В.В., Косенко Е.Ю. АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА SLAM В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ НАВИГАЦИИ / В.В. Летов, Е.Ю. Косенко [Текст] // Сборник трудов XX Юбилейной Всероссийской научно-практической конференции и XVI молодежной школы-семинара «УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ». — Таганрог: Южный федеральный университет, 2025, 2025. — С. 460-464. (дата обращения: 13.05.2025).
3. Синхронное определение местоположения и составление 2D-карты по стерео изображению в режиме реального времени / [Электронный ресурс] // Хабр : [сайт]. — URL: <https://habr.com/ru/articles/560856/> (дата обращения: 13.05.2025).
4. Летов, В. В. Программно-технические аспекты реализации алгоритма автономной навигации SLAM / В. В. Летов [Текст] // Инженерия – XXI. — Новороссийск:, 2025. — С. 197-198 (дата обращения: 13.05.2025).

УДК 681.883.67

СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОЛУЧЕВЫХ ЭХОЛОТОВ В МЕЛКОВОДНЫХ РАЙОНАХ

Ярута В.А., Калюта В.И.

ЮФУ, г. Таганрог

Многочувствительный эхолот излучает звуковые импульсы через массив передатчиков и принимает отраженные сигналы массивом приемников. Это позволяет определять не только глубину под судном, но и по бокам, создавая полосу охвата. В мелководье нужно учитывать многократные отражения, реверберацию, влияние неровного дна на качество данных и многое другое.

Из-за малой глубины сигналы быстрее возвращаются, что требует высокой частоты обновления данных и точной синхронизации лучей. Наличие песчаных банок, камней, водной растительности или искусственных объектов увеличивает риск многократных отражений и шумов. Так же, изменения температуры, солёности и течений влияют на скорость звука, что критично для точности измерений.

Как было указано выше, при использовании многочувствительных эхолотов на малых глубинах мы можем столкнуться с рядом проблем, далее хотелось бы рассмотреть данные проблемы и способы их решения.

1. Искажения и ошибки, вызванные преломлением лучей

Скорость звука в воде меняется в зависимости от температуры, солености и давления. Эти изменения приводят к преломлению (изгибу) звуковых лучей, что искажает определение местоположения и глубины. На мелководье, где влияние придонного слоя особенно заметно, эти искажения могут быть значительными.

Для решения данной проблемы используются процессы, направленные на повышение точности гидроакустических систем. Регулярное измерение профиля скорости звука по всей толще воды позволяет оценить преломление и внести соответствующие поправки в данные. Тщательная калибровка системы, включая измерение углов лучей и временных задержек, необходима для минимизации ошибок. Использование программного обеспечения для трассировки лучей позволяет моделировать распространение звука и учитывать преломление при обработке данных.

2. Влияние качки и бортовой качки

На мелководье судно может испытывать значительную качку и бортовую качку, что влияет на точность определения ориентации эхолота и, следовательно, на точность данных.

Решением подобного рода проблем будет использование высокоточных INS для определения крена, дифферента и рысканья судна, а так же применение алгоритмов для компенсации движения судна в реальном времени при обработке данных. Помимо этого, нужно планировать маршрут с учетом направления ветра и волн для минимизации качки.

3. Ограниченная ширина охвата

На мелководье глубина ограничивает ширину охвата многолучевого эхолота. Для достижения полного покрытия дна может потребоваться большее количество проходов.

Целесообразно использование эхолотов, специально разработанных для мелководья и имеющих широкий угол обзора. Так же, тщательное планирование маршрута с учетом глубины и ширины охвата для минимизации количества проходов. В некоторых случаях может быть удобно использовать несколько эхолотов, установленных на разных платформах, для увеличения производительности. Также перспективным направлением является использование «стаи» необитаемых автономных аппаратов с установленными на них многолучевыми эхолотами.

4. Проблемы с идентификацией первого дна (First Bottom Detection):

На мелководье со сложным рельефом дна или большим количеством растительности, определение первого отражения от дна может быть затруднено, что приводит к неточным измерениям глубины.

Для того чтобы избежать данной проблемы следует оптимизировать параметры эхолота, такие как длительность импульса и порог обнаружения, для улучшения идентификации первого дна. Тщательный визуальный контроль данных и ручная корректировка в спорных областях так же поможет. Так же следует использовать анализ данных обратного рассеяния для идентификации различных типов грунта и растительности, что может помочь в определении истинного дна.

5. Влияние придонной мути и взвеси:

На мелководье часто наблюдается повышенная концентрация мути и взвеси, что может ослаблять звуковой сигнал и ухудшать качество данных.

Использование более низких частот, которые меньше подвержены ослаблению в мутной воде, применение сложных зондирующих сигналов, применение фильтров для удаления шума и артефактов, вызванных мутью и взвесью, а также проведение съемки в периоды с наименьшей концентрацией мути и взвеси помогут решить данную проблему.

Применение многолучевых эхолотов на мелководье требует тщательного планирования, использования специализированного оборудования и применения передовых методов обработки данных. Понимание технических аспектов и учет факторов, влияющих на точность данных, позволяют получать высококачественные гидрографические данные для различных целей, таких как навигация, инженерные изыскания и мониторинг окружающей среды.

СПОСОБЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИЧЕСКУЮ

Дульский В.О., Пивнев П.П.
Южный Федеральный Университет

В данной работе рассматриваются основные способы преобразования электрической энергии в механическую. Описываются принципы работы и характеристики различных типов электрических двигателей, включая двигатели постоянного и переменного тока, а также шаговые и серводвигатели. Анализируются преимущества и недостатки каждого типа, области их применения и перспективы развития.

Ключевые слова: электродвигатели электростатические двигатели пьезоэлектрические двигатели электрохимические двигатели, преобразование энергии

Введение. Самом широком смысле, энергия – это способность совершать работу. Работа может быть разной: поднять груз, нагреть воду, заставить что-то двигаться. Энергия существует в разных формах:

- Механическая энергия: Энергия движения (кинетическая) и энергия положения (потенциальная). Пример: движущийся автомобиль, поднятый над землей груз.
- Тепловая энергия: Энергия, связанная с температурой объекта. Пример: горячая плита.
- Электрическая энергия: Энергия, связанная с движением электрических зарядов. Пример: ток в розетке.
- Химическая энергия: Энергия, запасенная в химических связях. Пример: бензин, батарейка.
- Ядерная энергия: Энергия, заключенная в ядрах атомов. Пример: атомная электростанция.
- Световая (лучистая) энергия: Энергия электромагнитных волн. Пример: солнечный свет.

Энергия может переходить из одной формы в другую. Закон сохранения энергии гласит, что энергия не возникает из ниоткуда и не исчезает в никуда, она только переходит из одной формы в другую или передается от одного тела к другому. Преобразование электрической энергии в механическую происходит с помощью устройств, называемых электрическими двигателями. Электрическая энергия удобна в использовании, транспортировке и распределении. Она легко передается по проводам на большие расстояния и может быть получена из разных источников (уголь, газ, вода, солнце, ветер). Механическая энергия, в свою очередь, нужна для приведения в движение различных механизмов и устройств.

Электродвигатели. Принцип работы основан на взаимодействии магнитных полей. В электрическом двигателе электрический ток проходит через катушки (обмотки), создавая магнитное поле. Это магнитное поле взаимодействует с постоянными магнитами или другим магнитным полем, создавая крутящий момент и вращая ротор (вращающуюся часть двигателя). Различают следующие типы электродвигателей.

Двигатели постоянного тока (DC): используют постоянный ток. В них есть щетки и коллектор, которые служат для коммутации тока в обмотках ротора. Просты в управлении, но имеют ограниченный срок службы щеток.

- С параллельным возбуждением: Обмотки возбуждения подключены параллельно обмотке якоря.
- С последовательным возбуждением: Обмотки возбуждения подключены последовательно обмотке якоря.
- С компаундным возбуждением: сочетают последовательное и параллельное возбуждение.

Асинхронные двигатели (АС): работают на переменном токе. Не имеют щеток, что делает их более надежными и долговечными. Просты в конструкции, но сложнее в управлении скоростью. Широко распространены в промышленности.

- Однофазные: используются в бытовой технике.
- Трехфазные: используются в промышленности, обеспечивают большую мощность и эффективность.

Синхронные двигатели (АС): работают на переменном токе, вращаются с синхронной скоростью. Используются в приложениях, где требуется высокая точность скорости и момента. Требуют сложного управления.

Шаговые двигатели: Предназначены для точного углового перемещения. Вращаются на определенный угол (шаг) при подаче управляющих импульсов. Используются в принтерах, сканерах, робототехнике.

Серводвигатели: представляют собой двигатели с обратной связью, которые позволяют точно контролировать положение, скорость и момент. Используются в системах управления, робототехнике, станках с ЧПУ.

Электростатические двигатели. Двигатель постоянного тока (ДПТ) — это электрическая машина, преобразующая электрическую энергию постоянного тока в механическую энергию.

В основе принципа работы ДПТ лежит взаимодействие магнитного поля, создаваемого обмоткой возбуждения (либо постоянными магнитами), с током, протекающим по обмотке якоря (ротора). Когда ток проходит через обмотку якоря, расположенную в магнитном поле, на проводники этой обмотки действует сила Ампера. Эта сила создает вращающий момент, приводящий ротор во вращение.

Основные компоненты ДПТ: Якорь (ротор): Вращающаяся часть двигателя, состоящая из сердечника (набранного из листов электротехнической стали) и обмотки якоря (из медного провода). Статор (индуктор): Неподвижная часть двигателя, содержащая обмотку возбуждения или постоянные магниты, создающие магнитное поле. Коллектор: Механический выпрямитель, обеспечивающий однонаправленный ток в проводниках обмотки якоря, находящихся под полюсами магнитной системы. Состоит из медных пластин, изолированных друг от друга и от вала якоря. Щетки: Подвижные контакты, обеспечивающие электрическое соединение между коллектором и внешней цепью. Изготавливаются из графита или металлографитная. Подшипники: обеспечивают вращение ротора с минимальным трением. Корпус: защищает внутренние компоненты двигателя от внешних воздействий и обеспечивает механическую прочность конструкции.

Преимущества ДПТ: Простота управления скоростью и моментом. Высокий пусковой момент (особенно у двигателей последовательного возбуждения). Хорошие регулировочные характеристики.

Недостатки ДПТ: Наличие коллектора и щеток, что требует регулярного обслуживания и снижает надежность. Ограничения по скорости (из-за коммутации в коллекторе). Относительно сложная конструкция по сравнению с асинхронными двигателями.

Двигатель переменного тока (АС motor) — это электрическая машина, преобразующая электрическую энергию переменного тока в механическую энергию вращения.

Существует множество типов двигателей переменного тока, но наиболее распространенными являются: Асинхронные двигатели (Induction motors): Самые распространенные благодаря своей простоте, надежности и невысокой стоимости.

Основные компоненты двигателя переменного тока: Статор: Неподвижная часть двигателя, содержащая обмотки, в которых создается вращающееся магнитное поле. Ротор: Вращающаяся часть двигателя, приводимая в движение магнитным полем статора. Корпус: защищает внутренние компоненты двигателя. Подшипники: обеспечивают вращение ротора с минимальным трением. Вентилятор: охлаждает двигатель.

Принцип работы асинхронного двигателя (наиболее распространенный тип): Создание вращающегося магнитного поля: Обмотки статора,

подключенные к источнику переменного тока, создают вращающееся магнитное поле

Принцип работы пьезоэлектрических двигателей основан на использовании пьезоэлектрического эффекта, при котором некоторые материалы (например, кварц) деформируются под воздействием электрического поля. Эти деформации могут быть преобразованы в механическое движение. Применение – в высокоточных системах позиционирования, робототехнике, медицинском оборудовании.

Пьезоэффект — это физическое явление, при котором механическое напряжение в определенных кристаллических материалах вызывает возникновение электрического напряжения (прямой пьезоэффект) или, наоборот, приложение электрического напряжения вызывает деформацию материала (обратный пьезоэффект).

Различают два вида пьезоэффекта: прямой и обратный. При прямом пьезоэффекте при механическом воздействии (сжатии, растяжении, скручивании) на пьезоэлектрический материал на его поверхности возникают электрические заряды. Этот эффект используется в датчиках давления, микрофонах и других устройствах, преобразующих механическую энергию в электрическую. Обратный пьезоэффект основан на приложении электрического напряжения к пьезоэлектрическому материалу, вызывая его деформацию. Этот эффект используется в пьезоэлектрических двигателях, ультразвуковых излучателях и других устройствах, преобразующих электрическую энергию в механическую. Материалы, обладающие пьезоэффектом: кварц, турмалин, сегнетова соль, титан цирконат свинца (PZT), поливинилиденфторид (PVDF) – полимер.

Применение пьезоэффекта: датчики давления, ускорения, вибрации, силы; акустические устройства: микрофоны, динамики, ультразвуковые излучатели; пьезоэлектрические генераторы, преобразующие механическую энергию в электрическую; фильтры, резонаторы, пьезоэлектрические трансформаторы; ультразвуковая диагностическая аппаратура, аппаратура хирургии и терапии; приборы точного позиционирования: пьезоэлектрические актуаторы для точного перемещения и фокусировки.

Основные характеристики пьезоэлектриков: - Пьезоэлектрические коэффициенты: отражают связь между механическим напряжением и электрическим полем (прямой пьезоэффект) или между электрическим полем и деформацией (обратный пьезоэффект). - Диэлектрическая проницаемость: характеризует способность материала накапливать электрический заряд. - Механическая прочность: определяет устойчивость материала к механическим нагрузкам. - Температура Кюри: Температура, выше которой пьезоэлектрические свойства материала исчезают.

Электрохимические двигатели (или электрохимические ячейки, топливные элементы, батареи) — это устройства, преобразующие химическую энергию в электрическую посредством электрохимических реакций. В отличие от двигателей внутреннего сгорания, электрохимические двигатели не сжигают

топливо, а используют электрохимические реакции окисления и восстановления для генерации электрического тока.

Основные типы электрохимических двигателей следующие.

Гальванические элементы (батареи) преобразующие химическую энергию в электрическую посредством спонтанной химической реакции. Состоят из двух электродов (анода и катода), погруженных в электролит. Анод окисляется (отдает электроны), а катод восстанавливается (принимает электроны). Примеры: щелочные батареи, литий-ионные аккумуляторы, свинцово-кислотные аккумуляторы.

Топливные элементы, преобразующие химическую энергию топлива (например, водорода, метанола) и окислителя (например, кислорода) в электрическую энергию. Работают по принципу непрерывной подачи топлива и окислителя. Состоят из анода, катода и электролита. Электрохимические реакции происходят на поверхности электродов. Примеры: протон обменные мембранные топливные элементы (PEMFC), твердооксидные топливные элементы (SOFC).

Электролизеры, использующие электрическую энергию для проведения не спонтанной химической реакции, например разложения воды на водород и кислород. Обратный процесс топливного элемента. Основные компоненты электрохимического двигателя: Электроды: проводники, на которых происходят электрохимические реакции. Электролит: вещество, обеспечивающее ионную проводимость между электродами. Топливо (для топливных элементов): вещество, которое окисляется на аноде. Окислитель (для топливных элементов): вещество, которое восстанавливается на катоде. Мембрана (в некоторых типах топливных элементов): разделяет анод и катод, обеспечивая ионную проводимость и предотвращая смешивание топлива и окислителя.

Преимущества электрохимических двигателей: Высокая эффективность: КПД может быть значительно выше, чем у двигателей внутреннего сгорания. Низкий уровень выбросов: при использовании водорода в качестве топлива, единственным побочным продуктом является вода. Бесшумность: отсутствие движущихся частей делает их практически бесшумными. Широкий диапазон применений: от портативных устройств до автомобилей и электростанций.

Недостатки электрохимических двигателей: Высокая стоимость: особенно для топливных элементов, из-за использования дорогих материалов (например, платины). Ограниченный срок службы: особенно для батарей, из-за деградации электродов и электролита. Проблемы с хранением и транспортировкой топлива: особенно для водорода. Необходимость чистых реагентов: примеси могут снижать эффективность и срок службы. Применение электрохимических двигателей: Транспорт: электромобили, автобусы, поезда, дроны. Портативные устройства: ноутбуки, мобильные телефоны, камеры. Резервное питание: для больниц, дата-центров, телекоммуникационных станций. Электростанции: для производства электроэнергии и тепла.

Космическая промышленность: для обеспечения энергией космических аппаратов.

Линейный двигатель — это электрический двигатель, статор и ротор которого "развернуты" таким образом, что вместо создания вращательного момента он производит силу вдоль прямой линии. Линейные двигатели работают на том же принципе, что и вращающиеся электрические двигатели, но с другой конфигурацией. Они используют электромагнитные силы для создания линейного движения. Обычно это достигается путем подачи переменного тока на обмотки статора (неподвижной части), который создает движущееся магнитное поле. Это поле индуцирует ток в роторе (подвижной части), который взаимодействует с магнитным полем статора, создавая силу, приводящую ротор в линейное движение.

Основные компоненты: Статор: содержит обмотки, через которые проходит электрический ток, создающий движущееся магнитное поле. Ротор: взаимодействует с магнитным полем статора для создания силы. Ротор может быть активным (содержать обмотки) или пассивным (например, просто металлическая пластина, на которую наводятся токи).

Типы линейных двигателей: Линейные двигатели переменного тока (AC), Синхронные линейные двигатели: Движение ротора синхронизировано с частотой переменного тока. Асинхронные линейные двигатели (линейные индукционные двигатели): Ротор движется с некоторой разницей в скорости по сравнению с движущимся магнитным полем. Эта разница называется "скольжением". Линейные двигатели постоянного тока (DC): Подобны обычным двигателям постоянного тока, но "развернуты" в линейную форму. Двигатели на основе эффекта Лоренца (Lorentz force motors): используют силу Лоренца для создания движения. Обычно применяются в специализированных применениях. Шаговые линейные двигатели: обеспечивают дискретное (шаговое) линейное перемещение.

Преимущества линейных двигателей: Высокая скорость и ускорение: Отсутствие необходимости преобразования вращательного движения в линейное позволяет достигать высоких скоростей и ускорений. Высокая точность позиционирования: обеспечивают точное и повторяемое перемещение. Минимальный износ: Отсутствие механического контакта в некоторых конструкциях (например, в магнитной левитации) снижает износ. Простота конструкции (в некоторых случаях): не требуется сложных механизмов для преобразования движения. Высокая эффективность (в некоторых случаях): Потери энергии на преобразование движения могут быть снижены.

Недостатки линейных двигателей: Высокая стоимость: могут быть дороже вращающихся двигателей, особенно для больших мощностей. Сложность управления: требуется точное управление током для достижения оптимальной производительности. Большой размер (в некоторых случаях): Могут быть больше вращающихся двигателей с аналогичной мощностью. Требования к точности установки: Требуют точной установки и выравнивания для обеспечения оптимальной работы. Проблемы с охлаждением

(в некоторых случаях): из-за высокой плотности мощности может возникать проблема отвода тепла.

Заключение. В ходе проведенного исследования мы подробно рассмотрели процесс преобразования электрической энергии в механическую, являющийся фундаментальным принципом работы множества современных устройств и систем. Были изучены различные типы электрических двигателей, включая двигатели постоянного и переменного тока, а также их конструктивные особенности и принципы действия.

Основным принципом преобразования является использование электромагнитной индукции, когда взаимодействие магнитного поля и электрического тока создает силу, приводящую к вращению ротора.- Разнообразие двигателей: Существует широкий спектр электрических двигателей, каждый из которых оптимизирован для конкретных применений, от маломощных двигателей в бытовой технике до мощных тяговых двигателей в электромобилях и промышленности. Эффективность преобразования энергии является критическим параметром, на который влияют конструктивные особенности двигателя, материалы и системы управления. Современные системы управления позволяют точно регулировать скорость, момент и положение ротора, обеспечивая оптимальную производительность. Область преобразования электрической энергии в механическую продолжает активно развиваться, появляются новые материалы, конструкции и алгоритмы управления, направленные на повышение эффективности, снижение габаритов и повышение надежности. Особое внимание уделяется разработке энергоэффективных двигателей для электромобилей и возобновляемых источников энергии. Таким образом, понимание принципов и технологий преобразования электрической энергии в механическую имеет важное значение для разработки и эксплуатации широкого спектра устройств и систем, а дальнейшие исследования и разработки в этой области будут способствовать созданию более эффективных, надежных и экологически чистых технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фитцджеральд, А. Э., Кингсли, Ч., и Уманс, С. Д.* Электрические машины. Москва: Энергия, 1974. (Классический учебник, охватывающий широкий спектр электрических машин)
2. *Копылов, И.П.* Электрические машины. Москва: Высшая школа, 2002. (Подробное изложение теории и принципов работы электрических машин)
3. *Важнов, А.И.* Основы теории электромагнитного поля и электрические машины. Санкт-Петербург: Энергоатомиздат, 1988. (Углубленное изучение электромагнитных процессов в электрических машинах)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С НАКЛАДКАМИ

Альсаид Х. К., Давыдоов Д.А., Научный руководитель: к.т.н, доцент, зав. каф. электрогидроакустической и медицинской техники, Пивнев. П. П.

Институт нанотехнологий электроники и приборостроения, Южный федеральный университет, г. Таганрог

В работе рассматривается моделирование составного пьезокерамического преобразователя для излучения и приема акустических волн в подводной акустике.

Стержневой преобразователь состоит из двух пьезокерамических шайб, зажатых между излучающей и тыльной накладками и армировочного болта для соединения и удержания всех элементов преобразователя. Существует множество различных составов пьезоэлектрических материалов, среди самых популярных можно отметить – ЦТБС, ЦТС и PZT [1,2]. Площадь излучающего материала (излучающей накладки) выполняется большей, чем у пьезоэлектрической керамики, для достижения лучшего акустического импеданса.

Импеданс пьезоэлектрической керамики больше, чем у воды, а акустический импеданс материала излучающей накладки, должен лежать в диапазоне пьезокерамики и воды. Материал тыльной накладки выбирается с самым высоким импедансом с целью повышения эффективности преобразователя в излучении путем отражения энергии обратно в излучающей накладки. Таким образом, большая часть смещения происходит в излучающей накладки, следовательно, весь преобразователь будет работать как поршень. В преобразователе пьезоэлектрические шайбы соединены механически последовательно, а электрически – параллельно [3]. Такие преобразователи применяются в технологических УЗ устройствах и в гидроакустике в диапазоне частот от нескольких Гц до 100 кГц. [4], [5].

Эффективность преобразователя определяется свойствами пьезоэлектрического материала, который преобразует входной электрический сигнал в механический вибрационный выходной сигнал. Эффект пьезоэлектричества можно выразить через вектор деформации S , который применяется в форме электрической энергии, и благодаря этому электрическому полю E смещение D производится в форме вектора деформации. Работа преобразователя в адиабатических условиях может быть рассчитана с помощью следующих уравнений (1, 2), где коэффициенты в этих уравнениях зависят от температуры и изменяются в зависимости от свойств материала. Тензор второго ранга напряжения T и деформации S записывается в матричных уравнениях с двумя нижними индексами:

$$S = S^E + d^T \cdot E, \quad (1)$$

$$D = d \cdot T + \varepsilon^T \cdot E, \quad (2)$$

где S и T — матрицы-столбцы из 6 строк, E и D — матрицы-столбцы из 3 строк, матрица податливости 6×6 это s^E , ε^T — матрица коэффициентов

диэлектрической проницаемости 3×3 , а d — матрица пьезоэлектрических коэффициентов 3×6 . Результирующая матрица коэффициентов состоит из 45 коэффициентов с матрицей симметрии 9×9 . Многие из коэффициентов равны нулю, а другие связаны с ними из-за постоянно поляризованного электрострикционного материала, используемого в преобразователе, и, наконец, остается десять независимых коэффициентов. Предполагается, что нет возбужденных касательных напряжений. Приведенные уравнения:

$$S_1 = S_{13}^E T_3 + d_{33} \cdot E_3, \quad (3)$$

$$S_2 = S_{13}^E T_3 + d_{32} \cdot E_3, \quad (4)$$

$$S_3 = S_{33}^E T_3 + d_{33} \cdot E_3, \quad (5)$$

$$D_3 = d_{33} T_3 + \varepsilon_{33}^T \cdot E_3, \quad (6)$$

В уравнениях 3 и 4 $S1 = S2$ не играют никакой роли в работе преобразователя из-за отсутствия контакта с акустической средой; поэтому важны $S3$ и $D3$, которые решаются в МКЭ. Тензор напряжения $T3$ и деформация $S3$ принимаются постоянными по длине стержня из-за линейно изменяющегося смещения.

Моделирование преобразователя. В моделировании преобразователя важным этапом является настройка его геометрии для различных частей, которые представлены их параметры в таблице 1. Кроме того, для изучения влияния активной площади поперечного сечения пьезокерамических колец (ЦТБС-3, см, таблицу 1) и изменения количества колец пьезокерамического пакета.

Таблица 1: Параметры материала ЦТБС-3.

Параметры	Название	Значение
Плотность (кг/м ³)	(rho)	7250
Матрица эластичности (Па)	cE	{1.51e+011, 7.9e+010, 1.51e+011, 8.0e+010, 8.0e+010, 1.36e+011, 0, 0, 0, 2.9e+010, 0, 0, 0, 0, 2.9e+010, 0, 0, 0, 0, 0, 3.6e+010}
Матрица связи (C/м ²)	eES	{0, 0, -7.9, 0, 0, -7.9, 0, 0, 17.7, 0, 15.4, 0, 15.4, 0, 0, 0, 0, 0}
Относительная диэлектрическая проницаемость	EpsilonrS	{1428.85, 1428.85, 1132.8}

Таблица 2: Параметры модели конечных элементов.

Геометрические детали	Материал	Коэффициент Пуассона	Плотность (кг/м ³)	Модуль Юнга (ГПа)
Тыльная накладка	Сталь ст3	0.3	7850	210
Излучающая накладка	Сплав АМГ-6	0.32	2640	68.9
Среда распространения	Вода	-	1000	-

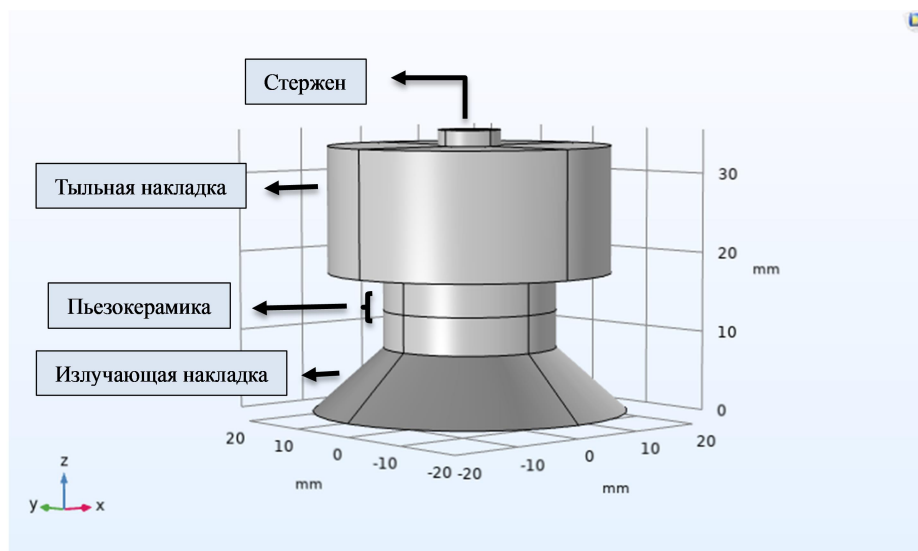


Рис. 1. Составной стержневой преобразователь («грибовидный»).

Преобразователи, смоделированные в этом исследовании, состоят из 2 пьезокерамических колец, сложенных между алюминиевой излучающей накладкой и стальной тыльной накладкой, соединенных стальным болтом. Этот центральный болт может быть предварительно напряжен для управления откликом преобразователя. Тыльная и излучающая накладка используется для понижения резонансной частоты устройства до желаемого значения.

Каждый из пьезодисков возбуждается 100 В. Конструкция определяет деформацию в устройстве, излучаемое поле давления и уровень звукового давления, а также пространственную чувствительность в дальней зоне, кривую отклика передаваемого напряжения (TVR) преобразователя и частотный диапазон от 1 кГц до 60 кГц. Излучающая накладка нагружена на воду. Идеально согласованный слой (PML) используется для моделирования поглощения звуковых волн при их распространении далеко от источника звука. Геометрия моделирования имеет вращательную симметрию, использование полной трехмерной геометрии позволяет нам рассматривать любую вибрационную моду преобразователя и акустическую моду области жидкости, которые не обладают такой симметрией в решении. На рисунке 2 показан вид фактической трехмерной модели по оси симметрии.

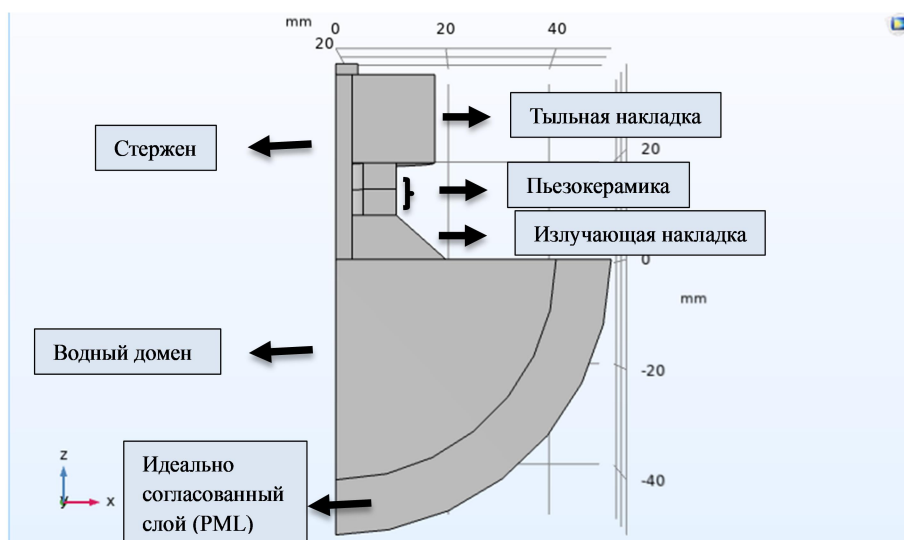


Рис. 2. Симметрическое сечение геометрии модели

Результат моделирования. Излучающая накладка является компонентом преобразователя, используемым для согласования импеданса пьезокерамического блока и нагружаемой среды. Толщина излучающей накладки должна составлять четверть длины волны распространения, а её радиус также играет важную роль в производительности преобразователя. Тыльная накладка преобразователя используется для предотвращения распространения звука в обратном (тыльном) направлении. Поэтому она обычно состоит из материалов с высокими атомными массами. Характеристики преобразователя исследовались путем изменения нескольких параметров преобразователя, в том числе толщины тыльной и излучающей накладки. В данном исследовании были рассмотрены количество и толщины пьезокерамических колец. Выходной отклик преобразователя исследовался по четырем параметрам (отклик напряжения передачи (TVR), полная излучаемая мощность (TRP), индекс направленности (DI) и удельного акустического импеданса (SAI)). TVR — это уровень интенсивности звука преобразователя, измеренный на расстоянии одного метра на 100 В возбуждающего напряжения в зависимости от частоты. Характеристики направленности рассматриваются с точки зрения DI, который является мерой доли звуковой энергии, которая посылается в желаемом направлении. TRP определяется как акустическая энергия в единицу времени от поверхности источника. Эти выходные характеристики определяют диапазон выходной частоты для хорошей подводной системы обнаружения. SAI — это отношение акустического давления к объемной скорости. Влияние изменения геометрии на производительность преобразователя изучалось с точки зрения индексов характеристик TVR, DI, SAI, TRP, как указано ниже.

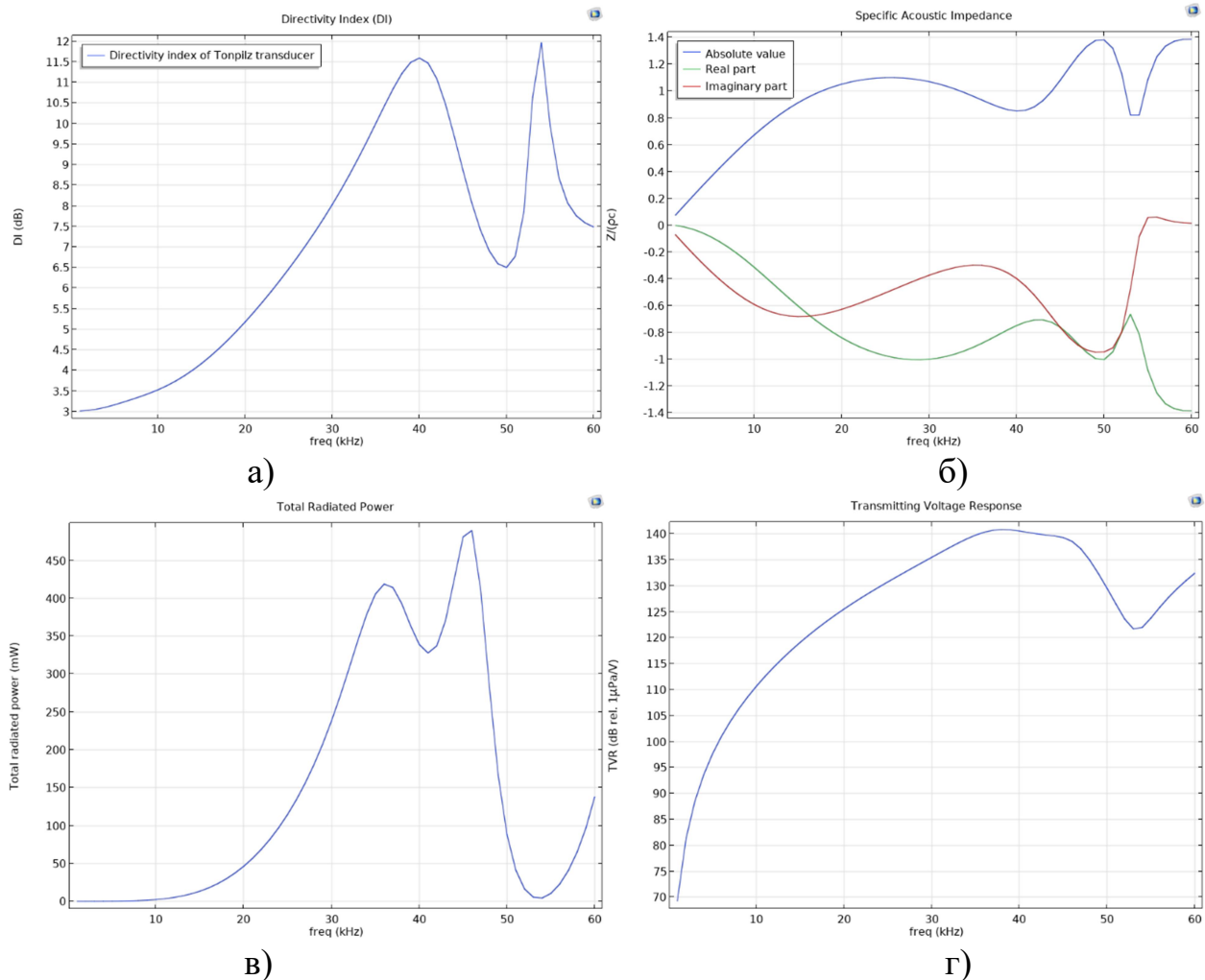


Рис. 3. а) Частотная характеристика индекса направленности (DI), рассчитанная на осевом расстоянии 10 м от излучающей накладки. б) График частотной характеристики абсолютного значения, а также действительной и мнимой составляющих удельного акустического сопротивления (SAI) на границе раздела между излучающей накладкой и водой. в) Общая излучаемая мощность преобразователя в диапазоне рабочих частот от 1 кГц до 60 кГц. г) Отклик передаваемого напряжения (TVR) как функция частоты, полученный на осевом расстоянии 1 м перед излучающей накладкой и рассчитанный относительно 1 $\mu\text{Па/В}$.

На рис 3. г) показано изменение TVR преобразователя в зависимости от рабочей частоты, полученное в направлении волны на осевом расстоянии 1 м перед излучающей накладкой и рассчитанное относительно 1 $\mu\text{кПа/В}$. Максимальное значение TVR тем больше, чем выше производительность, поэтому он работает лучше всего на частоте 38 кГц и составляет 157,87 дБ. Т. е. резонансная частота смоделированной колебательной системы составляет 38 кГц. На рис 3. в) показана общая излучаемая мощность как функция рабочей частоты преобразователя. Первый максимум общей излучаемой мощности приходится на 38 кГц. Это наилучшая рабочая частота для этой конструкции. Также на рисунке 3 представлены частотные зависимости индекса направленности (DI) (рис. 3а), рассчитанная на осевом расстоянии 10 м от

излучающей накладке и абсолютного значения, а также действительной и мнимой составляющих удельного акустического сопротивления (SAI) на границе раздела между излучающей накладкой и водой (рис. 3б).

Заключение. Приведенные выше результаты моделирования позволяют сделать вывод о возможности моделирования акустических составных преобразователей с накладками с целью подбора оптимальных параметров для применения такого вида преобразователей в различных задачах, в первую очередь для построения сонаров на их основе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мухсин Х. К. М., Пивнев П. П., Калюта В. И. Обзор широкополосных гидроакустических преобразователей на основе пьезокомпозиатов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2025. Т. 18, № 3. С. 28–43. doi: 10.32603/2071-8985-2025-18-3-28-43.
2. Воронин В. А, Воронин А. В и Пивнев П. П. К вопросу контроля положения подводных и заиленных частей опор мостов. в Известия ТРТУ. Тематический выпуск «Экология 2006-море и человек» / Матер. науч.-техн. конф, Таганрог, 2006.
3. Muhsen H. K. и Pivnev P. P. Hydroacoustic Complex for Studying the Condition of Underwater Engineering Communications of the Cable Network. В International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon), Magnitogorsk, Russian Federation, Magnitogorsk, 2024.
4. Li Y, Lu G, Chen JJ, Jing JC, Huo T, Chen R, et al. PMN-PT/Epoxy 1–3 composite based ultrasonic transducer for dual-modality photoacoustic and ultrasound endoscopy. Photoacoustics 2019;15:100138. <https://doi.org/10.1016/j.pacs.2019.100138>.
5. Kim S-H, Hong S-Y, Song J-H, Kil H-G, Jeon J-J, Seo Y-S. Acoustical characteristic predictions of a multi-layer system of a submerged vehicle hull mounted sonar simplified to an infinite planar model. Int J Nav Archit Ocean Eng 2012;4 (2):96–111.

ПРИЕМНЫЙ ТРАКТ МНОГОЛУЧЕВОГО ЭХОЛОТА: ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Сидун М.Ю., Пивнев П.П.

Южный федеральный университет

Многочуевые эхолоты (МЛЭ) представляют собой современные гидроакустические системы, предназначенные для высокоточного измерения глубин, исследования рельефа дна и обнаружения подводных объектов. В статье рассматривается принцип работы приёмного тракта МЛЭ, включающего антенную решётку, усилители с полосовыми фильтрами, аналого-цифровые преобразователи и вычислительный комплекс для обработки данных. Особое внимание уделено методам формирования диаграммы направленности, компенсации бортовой качки, а также способам измерения наклонных расстояний (амплитудный, фазовый, комбинированный).

Ключевые слова: многолучевой эхолот, гидроакустика, рельеф дна, антенная решётка, диаграмма направленности, наклонное расстояние, коррекция качки.

Введение. Гидроакустика — это раздел науки, изучающий использование звуковых волн для исследования и картографирования подводной среды. Многолучевые эхолоты, относящиеся к высокотехнологичным системам, позволяют получать высокоразрешающие изображения морского дна и окружающей среды в реальном времени [1]. В отличие от однолучевых систем, МЛЭ (рисунок 1) способны генерировать одновременно несколько звуковых лучей, что значительно ускоряет процесс обследования и увеличивает его точность. Эти устройства нашли широкое применение в океанографии, навигации, судоходстве, морской геологии и экологии.



Рисунок 1. Многолучевой эхолот

Большинство современных систем работают на принципе передачи акустического импульса от специально разработанной антенны, с веерообразной характеристикой направленности. Обязательным дополнением к самому многолучевому эхолоту являются: навигационное оборудование для определения точных координат судна-носителя, система определения параметров движения судна (гироскоп, крен-дифференциал, датчик вертикальных перемещений), датчик определения вертикального распределения скорости звука в воде (STD-зонд).

Ключевым элементом, определяющим точность измерений, полученных многолучевым эхолотом, является приемный тракт, отвечающий за обработку отраженных сигналов. Приемный тракт многолучевого эхолота включает в себя:

- Приемную антенну
- Усилители с полосовыми фильтрами – обеспечивают предварительное усиление слабых сигналов и подавление шумов за счет частотной селекции. Современные системы используют адаптивную фильтрацию для минимизации влияния помех [2].

- Аналого-цифровые преобразователи – преобразуют аналоговые эхо-сигналы в цифровую форму для дальнейшей обработки. Разрядность и частота дискретизации АЦП определяют динамический диапазон системы [3].

- А также вычислительный комплекс обработки и отображения информации, который осуществляет: формирование диаграммы направленности, компенсацию качки судна (на основе данных гирокомпаса и датчиков крена), коррекцию скорости звука (с учетом данных STD-зонда) и построение батиметрических карт в реальном времени [4].

Принцип работы: сигнал распространяется в водной среде, отражается от дна и от объектов, находящихся области эхолоцирования. Отражённые эхоимпульсы принимаются той же акустической антенной, и соответствующие им электрические сигналы поступают на вход приёмного тракта. Там происходит их обработка по заданному алгоритму (усиление, частотная фильтрация, изменение амплитудных соотношений и другие операции).

Некоторые особенности приёмного тракта многолучевого эхолота:

- Каждый элемент приёмной антенны имеет свой усилитель, сигналы с которого поступают на формирователь диаграммы направленности приёмной антенны.

- Компенсация бортовой качки производится по каждому приёмному каналу электронным способом.

- В систему поступает информация о координатах судна, его скорости, курсе.

- В различных моделях многолучевых эхолотов число лучей и методы их формирования и обработки информации могут существенно различаться.

Методы обработки сигналов. Современные многолучевые эхолоты используют несколько методов обработки акустических сигналов, каждый из которых имеет свои преимущества и области применения. Рассмотрим их более подробно.

Амплитудный метод – является базовым методом обработки и основан на анализе интенсивности отраженного сигнала. Применяется для обнаружения крупных объектов, но менее точен при определении угла прихода волны [5].

Основные особенности:

- Простота реализации и низкие вычислительные затраты
- Высокая надежность при работе в условиях сильных помех
- Эффективен для обнаружения крупных объектов (дно, крупные скопления рыбы)

Принцип работы:

- Измеряется амплитуда эхо-сигнала
- Определяется момент прихода сигнала
- Рассчитывается расстояние до объекта
- Оценивается размер объекта по силе отражения

Недостатки:

- Низкая точность определения угла прихода сигнала ($\pm 2-3^\circ$)
- Зависимость результатов от ориентации объекта
- Чувствительность к изменению коэффициента отражения

Фазовый (интерферометрический) метод – использует разность фаз сигналов, принятых разными элементами антенны. Обеспечивает высокую точность измерения углов, но чувствителен к шумам [6].

Основные особенности:

- Высокая точность измерения углов ($\pm 0,1-0,5^\circ$)
- Возможность построения детализированных изображений дна
- Чувствительность к фазовым искажениям

Принцип работы:

- Измеряются фазы сигналов на каждом элементе антенны
- Вычисляются фазовые различия между элементами
- Определяется направление прихода сигнала
- Строится пространственное распределение целей

Недостатки:

- Высокие требования к стабильности характеристик тракта
- Чувствительность к многолучевому распространению
- Сложность обработки при наличии нескольких целей

Области применения:

- Детальная батиметрия
- Построение рельефа дна
- Исследование структуры донных отложений

Комбинированный метод – сочетает преимущества амплитудного и фазового подходов, повышая точность измерений [7].

Основные особенности:

- Использует как амплитудную, так и фазовую информацию
- Обеспечивает точность определения углов $\pm 0,1^\circ$
- Позволяет классифицировать объекты по их отражательным характеристикам

Принцип работы:

- Первичное обнаружение объектов по амплитуде
- Точное определение направления фазовым методом
- Совместная обработка данных
- Классификация целей

Преимущества:

- Высокая точность измерений
- Устойчивость к помехам
- Возможность работы с множеством целей

Области применения:

- Точные гидрографические работы
- Поиск и классификация подводных объектов
- Научные исследования морской среды

Современные тенденции в обработке сигналов

В последние годы отмечается развитие следующих направлений:

- Использование адаптивных алгоритмов обработки
- Применение методов искусственного интеллекта для классификации

целей

- Внедрение когерентных методов обработки
- Развитие систем с синтезированной апертурой

Разработка многолучевого эхолота СКБ «Акустика». В нашем СКБ "Акустика" завершена разработка инновационной излучающей антенны для многолучевого эхолота с дугообразным расположением пьезокерамических элементов – преобразователей. Данная конструкция является результатом последовательной работы, начатой с определения оптимальных габаритных размеров излучающей поверхности и 3d моделирования макета антенны (рисунок 2).

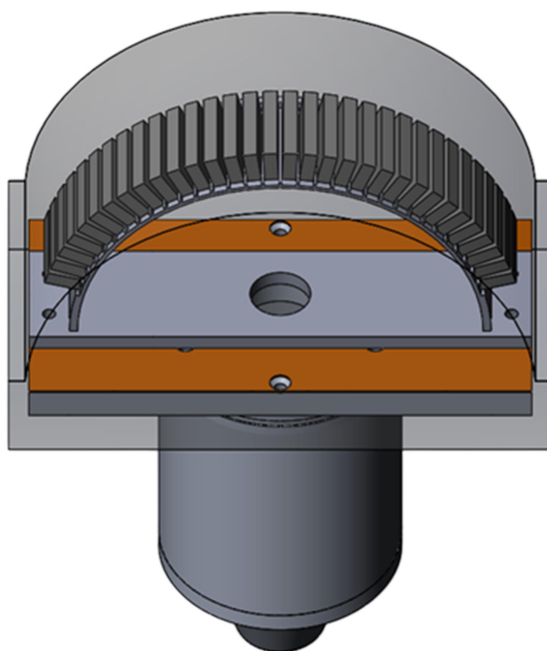


Рисунок 2. 3d макет излучающей поверхности многолучевого эхолота.

Актуальность разработки обусловлена необходимостью создания компактных высокоэффективных антенных систем для:

- Гидроакустического мониторинга водных биоресурсов
- Точной батиметрии прибрежных зон
- Подводных инженерных изысканий

Конструктивные особенности антенны. Из-за особого расположения пьезоэлементов на подложке, а именно по дуге окружности, получается большая площадь охвата поверхности дна водоема, что дает преимущество нашей разработке.

Заключение. Современные тенденции в развитии многолучевых эхолотов связаны с внедрением адаптивных алгоритмов обработки, использованием методов искусственного интеллекта для классификации целей. Эти направления позволяют существенно расширить функциональные возможности гидроакустических систем и повышать точность измерений в сложных условиях.

Многолучевые эхолоты нашли широкое применение в различных областях, включая океанографию, навигацию, экологический мониторинг и

исследования водных биоресурсов. Их использование позволяет решать задачи точной батиметрии, поиска подводных объектов, изучения структуры донных отложений и мониторинга состояния водной среды. Дальнейшее развитие многолучевой гидроакустики будет способствовать получению новых знаний о подводном мире и решению актуальных научно-практических задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кобяков Ю.С., Кудрявцев Н.Н., Тимошенко В.И.* Конструирование гидроакустической рыбопоисковой аппаратуры. - Л.: Судостроение, 1986. - 272 с.
2. *Юданов К.И.* Гидроакустическая разведка рыбы. - СПб.: Судостроение, 1992. - 192 с.
3. *Пивнев П.П.* Современные методы гидроакустического мониторинга. - М.: Наука, 2015. - 184 с.
4. *Тарасов С.В.* Цифровая обработка гидроакустических сигналов. - СПб.: Политехника, 2018. - 256 с.
5. *Воронин А.Н.* Антенные системы гидроакустических комплексов. - Владивосток: Дальнаука, 2017. - 198 с.
6. Патент RU 2558003 "Устройство для поиска и подсчёта рыбы". 2015.
7. *Пивнев П.П.* Алгоритмы компенсации динамических искажений в гидроакустических системах // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2019. - № 5. - С. 34-41.

УДК 621.3.076.12

О КОМПЕНСАЦИИ ИСКАЖЕНИЙ И УЛУЧШЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОАППАРАТУРЫ ПО ЦЕПЯМ ПИТАНИЯ

Гайворонский А.Ю., Лобанова Е.А.

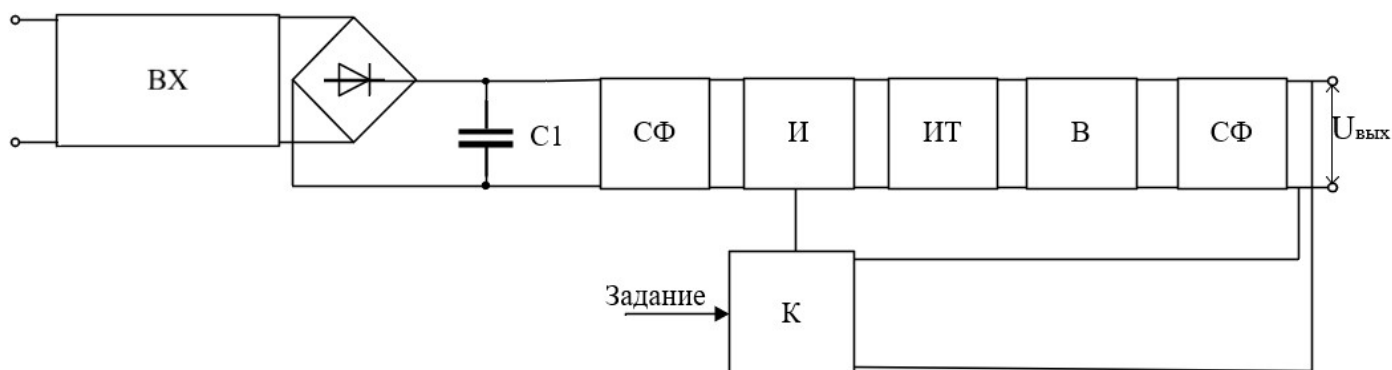
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар

С ростом числа нелинейных нагрузок возникает серьезная проблема с обеспечением электромагнитной совместимости источников вторичного электропитания (ИВЭП). Хотя борьба с помехами в электронике подробно описана, проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС) в системах питания до сих пор не получили полного решения.

Таким образом, существует необходимость эффективной компенсации искажений и повышении показателей ЭМС радиоаппаратуры по цепям питания. При выявлении причин возникновения искажений в сети электропитания установлено, что существенную роль вносят ИВЭП, генерирующие в сеть гармоники тока, ухудшающие ЭМС.

В настоящее время предпочтение отдаётся бестрансформаторным ИВЭП (что связано с их лучшими, относительно трансформаторных ИВЭП, массогабаритными, экономическими, энергетическими показателями[1]).

Свойства ИВЭП характеризуются массогабаритными показателями, а также величинами мощностей, потребляемых из сети и генерируемых в сеть гармоник тока, ухудшающих ЭМС по цепи питания.



ВХ – входной фильтр; С – сглаживающий конденсатор; СФ – сглаживающий фильтр; И – инвертор; ИТ – импульсный трансформатор; В – выпрямитель; К – контроллер

Рис. 1. Структурная схема ИВЭП с бестрансформаторным входом

Наличие входного выпрямителя в бестрансформаторных ИВЭП приводит к искажениям кривой входного тока и потребляемая мощность определяется мгновенными значениями напряжения $u_c(t)$ и тока $i_c(t)$.

Было выяснено, что согласно [2] в зависимости от формы кривых напряжения и тока, существующих в питающей ИВЭП сети, расчетов и вычислений, производимых для неё же, определены следующие виды мощности [3], [4]: полная мощность S ; активная мощность P ; реактивная мощность Q ; неактивная мощность D .

Они составляют куб мощностей (1).

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 = S_n^2 + D_n^2 \quad (1)$$

Существенную долю искажений составляет неактивная составляющая полной мощности искажений в настоящее время от 70% до 90%, что ухудшает массогабаритные, а соответственно и экономические показатели ИВЭП в сети ограниченной мощности.

При работе ИВЭП генерирует в сеть периодические токи несинусоидальной формы. В этом случае выделяют две составляющие коэффициента мощности $\chi = \nu \cos \varphi$:

– коэффициент $\cos \varphi(2)$, обусловленный сдвигом фаз между первой гармоникой тока и напряжением $\cos \varphi_1$ не ухудшает ЭМС, но ограничивающий возможности питающей сети по полной мощности

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}}. \quad (2)$$

– коэффициент $v(3)$, обусловленный искажением кривой тока по отношению к кривой напряжения v , определяющий степень не синусоидальности потребляемого ИВЭП

$$v = \frac{I_{и1}}{\sqrt{I_{и1}^2 + \sum_{k=0}^{\infty} I_{ик}^2}}. \quad (3)$$

Таким образом, существует необходимость компенсации искажений гармоник тока в системе электроснабжения ограниченной мощности. Для компенсации искажений в сети питания общего назначения целесообразно использовать ключевую мостовую схему с индуктивным накопителем и подключённую параллельно искажающей нагрузке.

Целесообразно использовать ключевую мостовую схему с индуктивным накопителем в котором осуществляется накопление энергии, а затем инъекция в сеть антиискажений для повышения ЭМС.

Преимущества схемы АФ с индуктивным накопителем над схемой с ёмкостным накопителем заключаются в следующем:

- имеет меньшую мощность и, соответственно, стоимость;
- может прямо исправлять токи нагрузки, подключенной за ним;
- параметры параллельных фильтров должны быть подобраны только для величин гармонических токов от нелинейной нагрузки;
- имеет принцип регулирования с коррекцией тока (фильтр как регулируемый источник тока) и связанное с этим улучшение напряжения питания остальных потребителей.

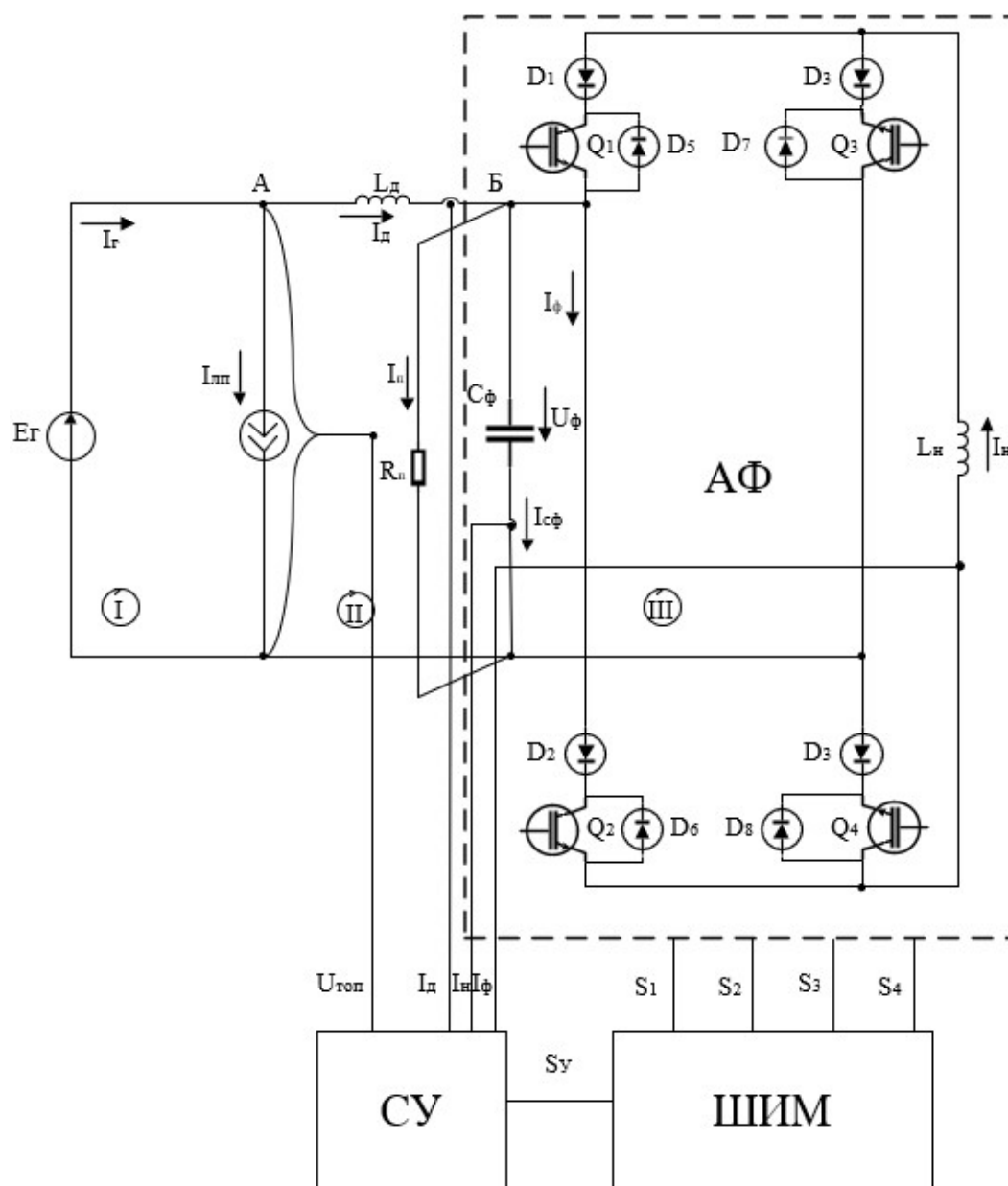
Математическое моделирование электромагнитных процессов в силовой схеме компенсатора искажений выполнено с использованием метода усреднённого пространства состояний [6], [7], [8]. Метод позволяет получить зависимости для переменных состояний в замкнутой форме с последующим численным моделированием в пакетах MathCad и MatLab.

На 1 этапе моделирования системы управления (СУ) целесообразно провести анализ электромагнитных процессов в СЭС (рис. 2), в состав которой входят: искажающий потребитель, источник и активный фильтр (АФ) с целью компенсации искажений (повышения ЭМС) путём инъекции в сеть токовой составляющей антиискажений.

В состоянии открытой первой пары диагонально расположенной вентильных элементов силовой схемы АФ (Q_1, Q_4), что соответствует интервалу ШИМ $T_{ШИМ}\sigma$, происходит накопление мощности антиискажений в индуктивном накопителе ключевой мостовой схемы.

Прина другом интервале коммутации происходит закрытие транзисторов Q_1, Q_4 и открытие второй пары вентилей Q_3, Q_2 , что соответствует интервалу

$T_{\text{ШИМ}}(1 - \sigma)$. В этом случае происходит инжекция антиискажений в сеть, что приводит к компенсации искажений, тем самым улучшается ЭМС.



СУ – система управления; ШИМ – широтно-импульсный модулятор; АФ – активный фильтр; S_1, S_2, S_3, S_4 – сигналы управления для ключей силовой схемы АФ

Рис. 2. Структурная схема системы

На основе эквивалентного замещения элементов силовой схемы (рисунок 2) выполнено математическое моделирование [9], системы в пространстве состояний [10] в ходе которого получена усреднённая система дифференциальных уравнений (СДУ) (4):

$$\dot{X}_\sigma = A(\sigma)X_\sigma + BC, \quad (4)$$

где

$$A(\sigma) = \begin{bmatrix} -\frac{R_r + R_l + R_{ип}}{L_r} & \frac{R_{лн}}{L_r} & 0 & 0 \\ \frac{R_{лн}}{L_d} & -\frac{R_{лн} + R_d}{L_d} & -\frac{1}{L_d} & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_\phi} & 0 & \frac{1-2\sigma}{C_\phi} \\ 0 & 0 & \frac{2\sigma-1}{L_n} & -\frac{2(R_{VD} + R_{VT}) + R_n}{L_n} \end{bmatrix} - \text{матрица состояния объекта;}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_r} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C_\phi} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} - \text{матрица управления;}$$

$X_\sigma = [I_r I_d u_{сф} I_n]$ – матрица состояния;

$C = [E_r I_n]^T$ – матрица воздействия.

Следующим этапом исследований силовой схемы АФ явилось моделирование в пакете MathCad с учётом принятых исходных данных для силовой схемы АФ.

Для управления АФ предлагается использовать регулирования при помощи адаптивных фильтров (АДФ) [11]. Путь улучшения ЭМС ИВЭП состоит в компенсации неактивных (реактивной и искажающей) составляющих полной мощности в сети. Метод заключается в адаптивной инъекции антиискажений в систему питания (в составе линейных потребителей с единичным и неединичным коэффициентом мощности и нелинейных потребителей) рисунок 3.

Методами расчёта электрических цепей получено математическое описание (модель) силовой схемы компенсатора и определена форма модели в пространстве состояний, позволяющая проводить системный анализ процессов методами аналитической математики пакета MathCad (выполнен вывод уравнений матричной передаточной функции 4 порядка).

Обоснован и приведён выбор метода управлений компенсатором искажений ЭМС радиоаппаратуры по цепям питания общего назначения ограниченной мощности.

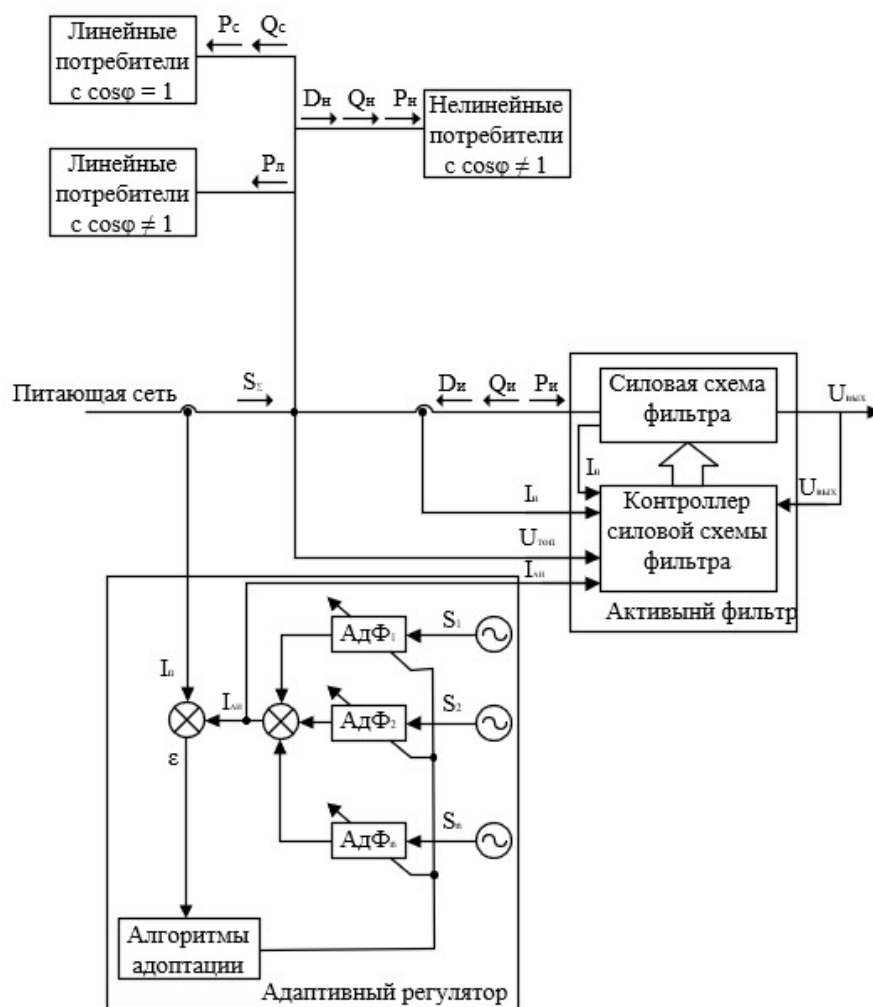


Рис. 3. Структурная схема системы повышения ЭМС с адаптивной системой регулирования

Полученные результаты аналитического и вычислительного моделирования предполагают использование силовой ключевой мостовой схемы в системе компенсации искажений сети ограниченной мощности для снабжения гарантийным качественным питанием ответственных потребителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Супронович Г. Улучшение коэффициента мощности преобразовательных установок // Москва: Энергоатомиздат, 1985– 136 с.
2. Розанов, Ю.К. Основы силовой электроники // Москва: Энергоатомиздат, 1992. – 296 с.
3. Розанов Ю.К., Соколова Е.М. Электронные устройства электромеханических систем: учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений //Москва: Издательский центр «Академия», 2004. – 272 с.
4. Бушуев В. М., Деминский В.А., Захаров Л.Ф. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций: учебное пособие для вузов // Москва: Горячая линия – Телеком, 2011. – 384 с.

5. Гельман, М. В. Преобразовательная техника: учебное пособие // Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.
6. Копачевский Н.Д., Азизов Т.Я., Загора Д.А., Операторные методы в прикладной математике: монография // Симферополь / ИТ «Ариал», 2022. – 536 с.
7. Севернс, Р.П. Импульсные преобразователи постоянного напряжения для систем вторичного электропитания // Москва: Энергоатомиздат, 1988. – 294 с.
8. Сукер, К. Силовая электроника. Руководство разработчика // Москва: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008. – 252 с.
9. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц //. – Москва: Физматлит, 2004. - 559 с.
10. Солодовников В.В. Теория автоматического управления техническими системами: учебное пособие // Москва: Изд-во МГТУ, 1993.- 492 с.
11. Аванесов В.М., Яценко Ф.В., Гайворонский А.Ю. Обеспечение электромагнитной совместимости источников вторичного электропитания: современные проблемы физики, биофизики и инфокоммуникационных технологий: коллективная монография // Краснодар: ЦНТИ, 2024 – №14 – 64 - 73с.

УДК 621.314.57

СТАТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ В СИСТЕМЕ ГАРАНТИЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Гайворонский А.Ю., Лобанова Е.А.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар

В работе предлагается вариант реализации следящей системы управления с асинхронной широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) с целью улучшения динамических свойств автономного инвертора напряжения, обеспечивающего качественное электропитание в системах гарантийного электроснабжения. Проведены анализ, моделирование и синтез системы.

Необходимость использования источников бесперебойного питания (ИБП) возникла вследствие снижения качества электроэнергии. В настоящее время используются три основные схемы ИБП: с двойным преобразованием энергии (on-line), с переключением (off-line) и взаимодействующий с сетью (рисунок 1).

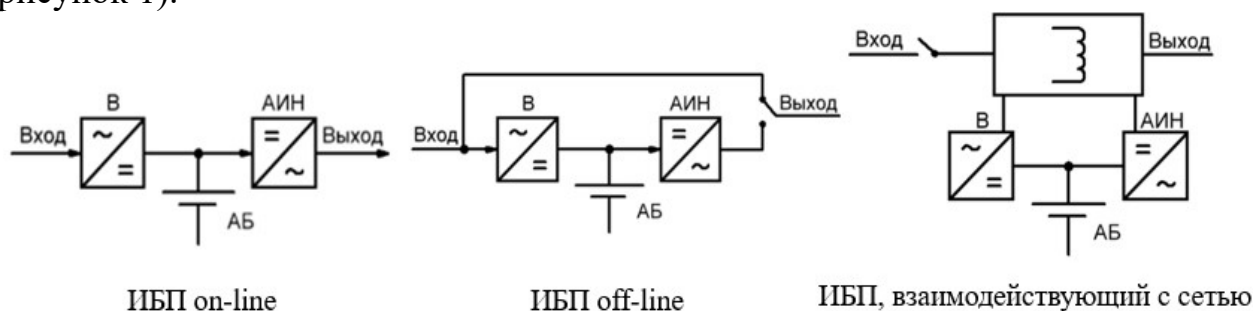


Рис. 1. Различные типы ИБП

В каждом из приведённых на рисунке 1 ИБП используется автономный инвертор напряжения (АИН), обеспечивающий преобразование постоянного напряжения, подаваемого от выпрямителя, в переменное синусоидальное высокой частоты; стабилизацию напряжения при снижении качества электроэнергии; надёжную защиту подключённого оборудования от неполадок сети [1]. Типовая схема мостового АИН приведена на рисунке 2.

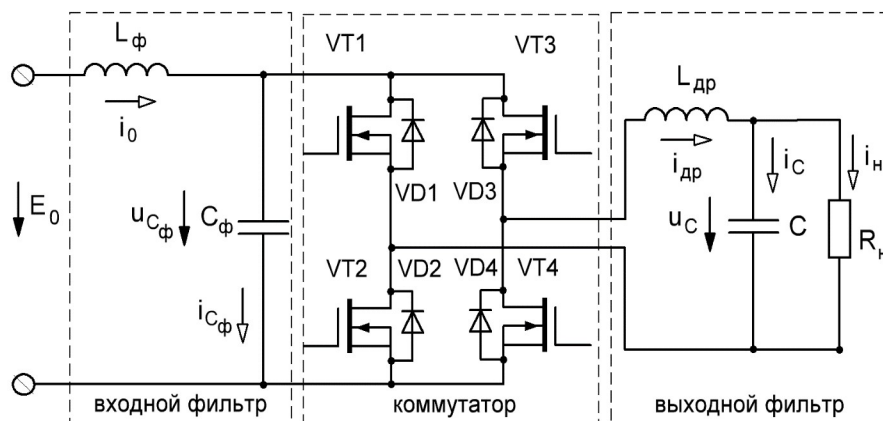


Рис. 2. Силловая схема АИН

Как видно из рисунка 2, АИН состоит из входного и выходного Г-образных LC-фильтров, причём последний обеспечивает требуемую форму напряжения на выходе, и коммутатора, содержащего четыре попарно работающих транзистора [2]. Используется мостовая схема, основное преимущество которой заключается в максимальном использовании источника постоянного напряжения и обеспечении требуемого качества преобразования электроэнергии в статических и динамических режимах. Для управления транзисторами используется ШИМ: для интервала ШИМ $\sigma T_{\text{ШИМ}}$ для открытых VT3, VT2 ($VT3_{\text{ON}}$; $VT2_{\text{ON}}$) и закрытых ($VT1_{\text{OFF}}$; $VT4_{\text{OFF}}$) и для $(1 - \sigma)T_{\text{ШИМ}}$ для открытых VT1, VT4 ($VT1_{\text{ON}}$; $VT4_{\text{ON}}$) и закрытых VT3 и VT2 ($VT3_{\text{OFF}}$; $VT2_{\text{OFF}}$), при этом σ – коэффициент заполнения для ШИМ (1):

$$\sigma = \frac{t_n}{T_{\text{ШИМ}}}, \quad (1)$$

где t_n – длительность импульса;
 $T_{\text{ШИМ}}$ – период следования импульсов.

На первом этапе анализа свойств системы преобразования электроэнергии проводится математическое моделирование силовой схемы АИН в пространстве состояний [3], в ходе которого получена усреднённая система дифференциальных уравнений (СДУ) (2):

$$\dot{\mathbf{x}} = A(\sigma) \mathbf{x} + B\mathbf{G}, \quad (2)$$

где

$$A(\sigma) = \begin{bmatrix} -\frac{R_\Phi}{L_\Phi} & -\frac{1}{L_\Phi} & 0 & 0 \\ \frac{1}{C_\Phi} & 0 & \frac{1-2\sigma}{C_\Phi} & 0 \\ 0 & \frac{-1+2\sigma}{L_{дp}} & \frac{-2R_{VTDSon}-R_{дp}}{L_{дp}} & -\frac{1}{L_{дp}} \\ 0 & 0 & \frac{1}{C} & -\frac{1}{R_{пс}} \end{bmatrix} \text{— матрица состояния объекта;}$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_\Phi} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C} \end{bmatrix} \text{— матрица управления;}$$

$$X = [i_0 \quad u_{сф} \quad i_{дp} \quad u_c]^T \text{— матрица состояния;}$$

$$G = [E_0 \quad i_n]^T \text{— матрица воздействия.}$$

На этапе численного моделирования анализируется зависимость выходных параметров от коэффициента заполнения σ и АЧХ (рисунок 3).

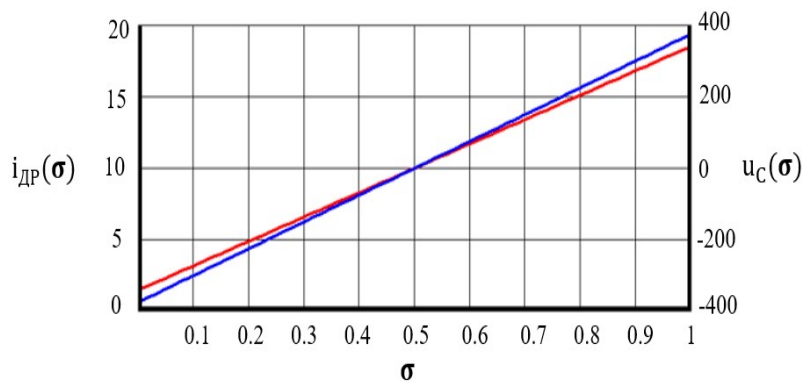


Рис. 3. Зависимость выходных параметров от коэффициента заполнения ШИМ σ

Полученный результат моделирования (рисунок 3) определяет силовую схему АИН как линейный объект управления.

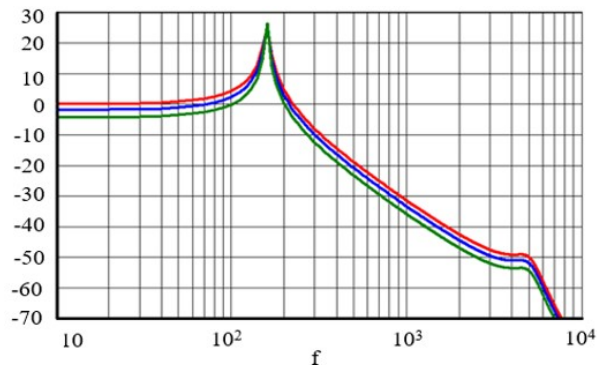


Рис. 4. АЧХ для разных коэффициентов заполнения

График АЧХ показывает, что характеристика входного фильтра имеет ярко выраженный максимум, соответствующий частоте ≈ 160 Гц. На выходе колебательные свойства ослабевают при частоте > 5 кГц. Следовательно, изменение коэффициента заполнения σ практически не влияет на резонансные свойства АИН и высокочастотные пульсации ШИМ эффективно подавляются.

Полученная матрица состояния $A(\sigma)$ является нестационарной (зависимой от коэффициента заполнения σ), поэтому проведена линеаризация системы [4], в ходе которой получена линеаризованная СДУ (3):

$$\dot{\mathbf{X}}_{\text{АИН}} = A(\sigma_0) \mathbf{X} + \mathbf{K} \Delta \sigma + \mathbf{B} \Delta G, \quad (3)$$

где $A(\sigma_0)$ – матрица объекта управления для рабочей точки $\sigma_0 = 0,5$;

$\mathbf{K}$ – матрица управления;

$\Delta \sigma$ – сигнал управления.

При проведении синтеза объекта для реализации выбрана следящая система управления (СУ) с асинхронной ШИМ, предполагающая наличие на входе широтно-импульсного преобразователя с выходным сигналом управления $\Delta \sigma$ и введение модального регулятора с отрицательной обратной связью [5]. Такой тип управления (рисунок 5) обеспечивает малую зону переключений в области ведущего сигнала S_{oc} , слежение за этим сигналом и минимизацию ошибок ε .

Система управления, полученная в среде MATLAB на этапе синтеза, приведена на рисунке 5.

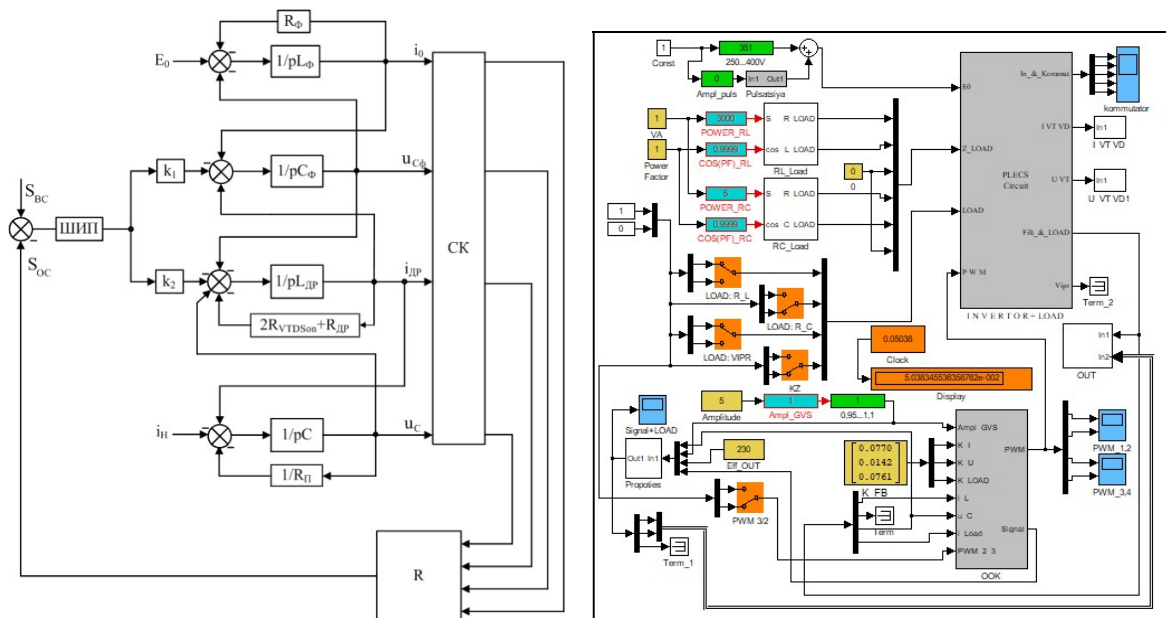


Рис. 5. Структура силовой схемы АИН как объекта управления (слева) и силовая схема АИН в среде моделирования MATLAB (справа)

Передаточная функция силовой схемы АИН как СУ представится в виде (4):

$$W_{\text{АНН}}(p) = (pI - A(\sigma) + K \cdot k_{\text{ШИП}} \cdot R)^{-1} K \cdot k_{\text{ШИП}}, \quad (4)$$

где I – единичная матрица;
 $k_{\text{ШИП}}$ – коэффициент ШИП;
 $R = [r_1 \ r_2 \ r_3 \ r_4]$ – матрица регулятора.

В ходе линеаризации применён к характеристическому уравнению системы биномиальный полином стандартной формы (5), задающий динамику системы, и вследствие чего модальный регулятор обеспечивает пуск системы в любой фазе и отрабатывает возмущения со стороны питания и нагрузки:

$$\det[pI - A(\sigma) + K \cdot k_{\text{ШИП}} \cdot R] = p^4 + \alpha \omega_0 p^3 + \beta \omega_0^2 p^2 + \gamma \omega_0^3 p + \delta \omega_0^4, \quad (5)$$

где $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – коэффициенты, определяющие тип полинома;
 ω_0 – собственная частота фильтра.

Для достижения требуемого результата управления и синтеза регулятора используется ПСФ, обеспечивающие помещение коэффициентов полюса ПФ замкнутой системы в выбранные положения. При синтезе системы управления применяется асинхронная ШИМ (рисунок 6), принцип работы которого основан на сравнении модулирующего сигнала с опорным сигналом высокой частоты: когда уровень управляющего сигнала превышает уровень опорного, на выходе формируется импульс включения, в противном случае – выключения. Это позволяет линейно регулировать коэффициент заполнения импульсов и, соответственно, среднее выходное напряжение.

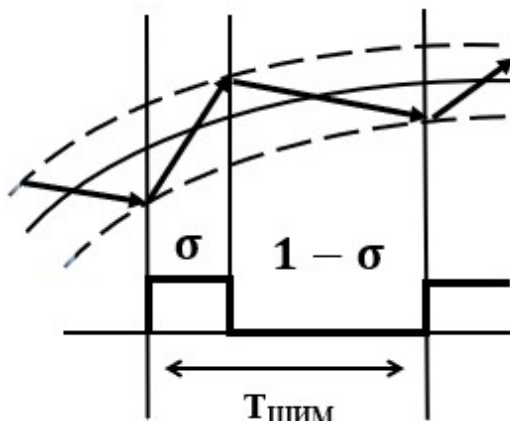


Рис. 6. Асинхронная ШИМ

Асинхронная ШИМ обеспечивает высокую энергоэффективность за счёт регулирования мощности изменением ширины импульсов при постоянной частоте, снижая тепловые потери и повышая КПД. Отсутствие жёсткой фазовой синхронизации упрощает реализацию и снижает требования к точности аппаратуры, повышая надёжность систем. Метод позволяет гибко адаптировать управление под разные нагрузки.

Полученные аналитически коэффициенты регулятора R учитываются при моделировании в MATLAB, приведены используемая асинхронная ШИМ и график переходного процесса (рисунок 7).

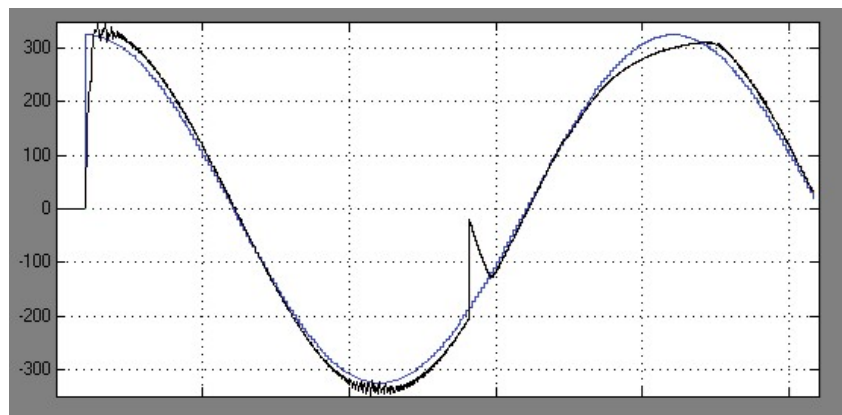


Рис. 7. Переходной процесс объекта управления в среде MATLAB при подаче ступенчатого воздействия на вход и возмущения

Исходя из рисунка 7 видно, что разработана следящая СУ АИН с асинхронной ШИМ для ИБП [6], обеспечивающая слежение за ведущим сигналом, стабилизацию напряжения при возникновении возмущений и качественное гарантированное питание ответственных потребителей в статическом и динамическом режимах.

ВЫВОДЫ

1. Синтезирована система управления АИН в составе системы гарантированного электроснабжения на базе модального регулятора для АИН с параметрами:

- питающее напряжение $E_{\text{ПИТ}}=350$ В;
- мощность $S=2$ кВт;
- коэффициент мощности $-0,5(\text{емк}) < \cos\varphi < 0,5(\text{инд})$;
- выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ}}=230$ В;
- коэффициент гармоник $K_{\text{Г}} \leq 5\%$.

2. Система управления обеспечивает следующие качественные показатели:

- статическая ошибка регулирования не более 3%;
- время пуска $t_{\text{ПУСК}}=1,45$ мс;
- время переходного процесса $t_{\text{ПП}}=1,5$ мс.

3. Защита от различных нагрузок.

4. Разработан следящий АИН для СГЭ, обеспечивающий качественное гарантированное питание ответственных потребителей в статическом и динамическом режимах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Розанов Ю.К. Основы силовой электроники // Москва : Энергоатомиздат, 1992. – 296 с.

2. *Аванесов В.М., Лобанова Е.А.* Синтез инвариантного управления автономным инвертором // Современное состояние и приоритеты развития фундаментальных наук в регионах: сборник научных статей. – Краснодар : Кубанский государственный университет, 2024. – С. 37-39.

3. *Сиберт У.М.* Цепи, сигналы, системы // Москва : Мир, 1988. – 336 с.

4. *Солодовников В.В.* Теория автоматического управления техническими системами: учебное пособие // Москва : Изд-во МГТУ, 1993. – 492 с.

5. *Кузовков Н.Т.* Модальное управление и наблюдающие устройства // Москва : Машиностроение, 1976. – 184 с.

6. *Севернс Р.П.* Импульсные преобразователи постоянного напряжения для систем вторичного электропитания // Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 294 с.

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Дацко И.А., Научный руководитель — Береснев Алексей Леонидович,
доцент каф. ЭиМ ИРТСУ

Введение и постановка задачи. В настоящее время существует необходимость диагностики двигателя внутреннего сгорания для выявления неисправностей на ранних стадиях и оценки остаточного ресурса.

Цель работы. Работа посвящена вопросам диагностирования двигателя внутреннего сгорания по излученному акустическому сигналу, который может соответствовать как нормальной работе, так и различным его неисправностям. В работе рассмотрены возможные датчики, которые используются в системе диагностики, а также разработана ее структурная схема.

Основная часть. В связи с требованиями экологии заметны тенденции облегчения агрегатов автомобиля в том числе по требованиям маркетологов, технологии пошли по пути уменьшения объема ДВС. Общеизвестно, что алюминиевый блок, выполненный по современной технологии менее надежен старого блока ДВС. Поэтому в настоящий момент особенно актуально определение износа двигателя на раннем этапе неисправности безразборными методами. Общеизвестны диагностические сканеры, но к сожалению об износе цилиндро-поршневая группа или распределительного вала информации в электронном блоке управления автомобиля не содержится и сканер подобную информацию выдавать не может. Также мощным диагностическим комплексом является Мотор-тестер, в котором по индикаторной диаграмме можно определить повышенный износ цилиндров и некоторые другие механические неисправности, но они определяются при очень сильных отклонениях размеров соответствующих деталей и не могут определять неисправности вначале износа по возникающим звукам. Наиболее перспективным экспресс-методом

определения ближайшего выхода из строя ДВС я считаю виброакустические методы.

По данным первоисточников [1], [6] наиболее приемлемыми являются два метода:

1) Определение неисправности по интенсивности виброзвукового сигнала с последующей обработкой [2];

2) Метод определения неисправности по фазе возникновения звука относительно положения коленчатого вала и поршням внутри цилиндра [3]

Наиболее приемлемым для разработки диагностической установки, по всей видимости, является второй метод, так как требует большого и сложного математического аппарата, что плохо совместим с простыми и дешевыми микропроцессорами.

Поэтому следует разработать простое и малогабаритное устройство, которое сможет определять момент всплеска звукового сигнала в зависимости от положения коленчатого вала и положения поршней в цилиндрах. Для этого необходимо выбрать 3 датчика:

- 1) Датчик положения коленчатого вала (ДПКВ),
- 2) Датчик положения поршня (ДПП),
- 3) Датчик детонации (ДД).

В качестве первого датчика можно взять ДПКВ, который изображен на рис. 1.



Рисунок 1. ДПКВ от ВАЗ 2112 (АвтоВАЗ)

В качестве второго датчика можно использовать датчик положения цилиндра (ДПЦ), или ДПКВ, совместно с датчиком положения распределительного вала (ДПРВ), при соответствующей обработке данных [4]. В качестве третьего датчика предполагается использовать широкополосный ДД [5], [6] или любой другой звуковой датчик. ДД изображен на рис. 2.



Рисунок 2. ДД FEBI BILSTEIN

Сигналы с датчиков должны быть преобразованы соответствующим образом и подаваться в модуль обработки данных. На рис. 3 изображена предполагаемая схема устройства диагностики.



Рисунок 3. Структурная электрическая схема устройства диагностирования ДВС

С датчиков поступают определенные данные, которые с помощью согласующего устройства принимаются и обрабатываются микроконтроллерным блоком управления, который в свою очередь отображает сигналы датчиков на дисплее в виде графиков зависимости напряжения от времени.

Вывод. Таким образом с помощью предложенного устройства можно будет определять неисправности самого дорогого узла современного двигателя, который называется Шорт-блок ДВС, и он включает в себя блок, поршни, шатуны, коленчатый вал, и вкладыши. Благодаря вышесказанному можно с высокой долей достоверности сделать вывод, что разрабатываемое устройство будет востребовано на рынке диагностических комплексов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Грехов Л.В., Иващенко Н.А. «Машиностроение. Энциклопедия. Том IV-14. Двигатели внутреннего сгорания»

Стешенко П.П., Штуро С.А. «Система виброакустической диагностики двигателей»

Быков В.В., Мокрушин Д.А., Петров А.И. «Диагностика двигателя внутреннего сгорания с использованием метода виброакустической эмиссии» //

8-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса: сборник трудов Международной научно-технической конференции. -2019. -М., изд-во: МАДИ. – С. 526-537.

Логунов А.В., Береснев А.Л. «Исследования акустических сигналов, излучаемых автомобильным двигателем внутреннего сгорания» Известия ЮФУ. Технические науки. 2022. № 6 (230). С. 212-222

Beresnev A., Beresnev M. «Vibroacoustic method of ic engine diagnostics» SAE International Journal of Engines. 2014. Т. 7. № 1. С. 1-5.

Береснев А.Л., Береснев М.А. «Виброакустический метод диагностики двигателя внутреннего сгорания: Мехатроника, автоматизация, управление» - 2010. №6. С27-32.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Свешникова В.А., Научный руководитель –Дубяго Марина Николаевна,
доцент, к.т.н. каф. ЭиМ ИРТСУ

Концептуальные основы интеллектуальных электроэнергетических систем. Интеллектуальные электроэнергетические системы (ИЭС) и активно-адаптивные сети (ААС) являются неотъемлемой частью современных энергетических решений, способствующих эффективной интеграции различных источников энергии и улучшению управления электроэнергетическими системами. Их внедрение определяется необходимостью создания структур, адекватно реагирующих на быстро меняющиеся условия рынка и потребности пользователей. Основные характеристики конституируют адаптивность, надежность, безопасность, информационные технологии, экономичность и развитую цифровую инфраструктуру [1].

Адаптивность интеллектуальных сетей выражается в их способности к интеграции возобновляемых источников энергии. Это позволяет не только повышать долю "чистой" энергетики, но также обеспечить баланс между производством и потреблением в режиме реального времени [2]. Надежность электроэнергетических систем способна повышаться за счет применения современных технологий мониторинга и автоматизации, что, в свою очередь, снижает количество аварийных ситуаций и минимизирует экологические риски [3].

Информационные технологии играют ключевую роль в оптимизации управления энергетическими потоками. Их использование позволяет обрабатывать и анализировать данные, обеспечивая эффективное взаимодействие между всеми участниками электроэнергетического рынка, включая генерацию, распределение и конечных пользователей [4]. Важным аспектом является способность интеллектуальных сетей устранять дублирование, проводить прогнозирование потребления и предлагать

адаптацию тарифов, что обеспечивает более экономичное распределение ресурсов [5].

Создание таких систем невозможно без решения множества организационных и технических вопросов, включая стандартизацию, взаимодействие с существующими инфраструктурами и разработку новых методов работы. Внедрение ИЭС требует значительного времени и ресурсов, а также широкой поддержки со стороны государственных и частных структур. Интеллектуальные сети представляют собой перспективные технологии, способные адаптироваться к требованиям цифровой экономики и справляться с современными вызовами, стоящими перед электроэнергетическими системами [1].



Рис 1. Схема структуры интеллектуальных электроэнергетических систем

Многоуровневые преобразователи как ключевой компонент ИЭС. Многоуровневые преобразователи, особенно модели среднего напряжения, появились в энергетике в середине 1980-х годов и охватывают высокомоощные приложения. Они обеспечивают значительные уровни выходного напряжения и оптимизируют гармонический состав, что снижает напряжение на изоляционные материалы двигателей [5]. Несмотря на потенциально низкую надежность из-за увеличенного числа полупроводниковых ключей, преобразователи с активной схемой выпрямления могут эффективно рекуперировать энергию и улучшать общую эффективность систем энергоснабжения [3].

Основные области применения многоуровневых преобразователей включают активные фильтры гармоник, компенсаторы реактивной мощности и контроллеры нагрузки. Эти системы значительно повышают качество электроэнергии в слабых сетях и уменьшают негативное воздействие нелинейных потребителей [6]. Преобразователи с активными схемами так же могут эффективно функционировать как фильтры гармоник и компенсаторы реактивной мощности, что позволяет значительно улучшить работу приборов и оборудования.

Расчет коммутационных функций преобразователей для формирования выходного напряжения представляет собой актуальную задачу в области разработки и оптимизации таких устройств. Интерес к разнообразным

топологиям многоуровневых инверторов продолжает расти, особенно в контексте интеграции возобновляемых источников энергии в существующие энергетические системы [3]. При проектировании систем с частотно-регулируемыми электроприводами важно учитывать возможность параллельного соединения преобразователей с уравнительными реакторами, хотя это порождает новые вызовы, связанные с управлением уравнительными токами.

Недавние исследования выделяют многоуровневые полупроводниковые преобразователи как важные компоненты активных фильтров и систем накопления энергии, а также подчеркивают их значимость для питания синхронных и асинхронных двигателей на основе высоковольтных источников. Изучение контролируемых режимов работы таких преобразователей помогает существенно снизить воздействие нелинейных потребителей на электрическую сеть, что имеет ключевое значение для повышения общей надежности и эффективности энергетических систем [5].

Работы последних лет подтверждают, что применение многоуровневых преобразователей, помимо повышения эффективности, также способствует решению экологических задач, связанных с использованием возобновляемых источников энергии. Эти устройства продолжают эволюционировать, отражая новые технические достижения и требования времени.

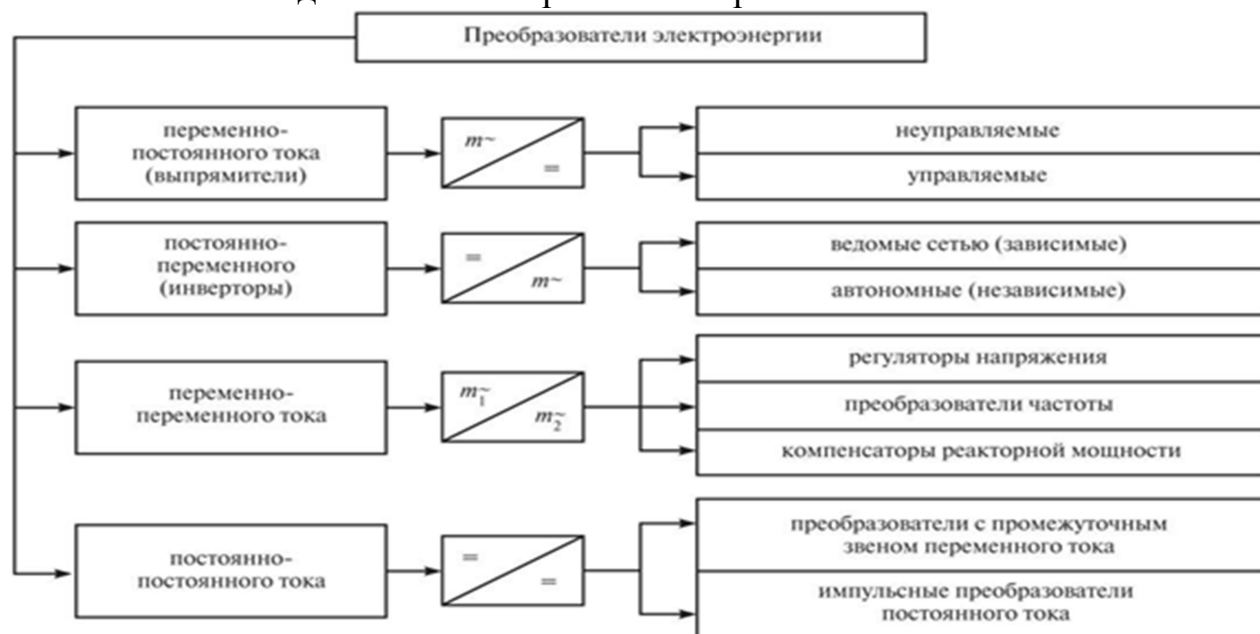


Рис 2. Схемы и классификация многоуровневых преобразователей в ИЭС

Экономические аспекты развития ИЭС. Переход к интеллектуальным электроэнергетическим системам (ИЭС) в России подразумевает не только технологические изменения, но и серьезные экономические преобразования, затрагивающие различные отрасли экономики. Внедрение ИЭС требует значительных инвестиций, но результаты могут превзойти ожидания. Эффективное использование новых технологий ведет к заметному сокращению издержек на электроэнергию, что имеет прямое влияние на стоимость производимой продукции в смежных секторах.

Экономическая оценка эффектов, связанных с развитием ИЭС, включает в себя не только материальные, но и нематериальные аспекты. К числу последних относятся улучшение качества жизни и рост уровня комфорта для населения. Растущая необходимость в устойчивом развитии и энергоэффективных решениях становится важной целью для государства. Инвестиции в ИЭС нельзя рассматривать изолированно; они должны сочетаться с адаптивной и гибкой нормативно-правовой базой, способствующей поддержке новых инициатив и пилотных проектов [6].

Образование играет важную роль в подготовке специалистов, способных инкорпорировать интеллектуальные технологии в практику. Актуальные программы обучения должны отражать состояние рынка труда и потребности отрасли, поскольку квалифицированные кадры способствуют дальнейшему развитию ИЭС. Обеспечение необходимой квалификации специалистов также зависит от сотрудничества с научными учреждениями и практической реализации научных разработок в энергосети [2].

Необходимость стандартизации и создания программного обеспечения, способствующего интеграции различных компонентов ИЭС, становится все более актуальной. Внедрение интеллектуальных технологий должно основываться на ясных и четких нормах, чтобы избежать затруднений при масштабировании успешного опыта на другие регионы [5]. Основные цели и задачи, связанные с экономическими аспектами, должны между тем оставаться в фокусе при планировании и реализации новых инициатив в электроэнергетическом секторе.

Эффективное взаимодействие государства, бизнеса и образовательных учреждений позволит создать устойчивую систему, способную справляться с вызовами, которые ставит перед нами быстро меняющийся мир энергоснабжения. Данная конфигурация взаимодействия не только усилит устойчивость энергетических систем, но и поднимет экономическую эффективность на новых уровнях, способствуя общему росту экономики страны [1].

Перспективы развития ИЭС в России. Развитие интеллектуальных электроэнергетических систем (ИЭС) в России представляет собой важное направление, учитывающее как отечественные, так и международные тенденции. Внедрение новых технологий управления энергией и децентрализация генерирующих мощностей позволят значительно повысить экономическую эффективность энергетической отрасли страны [5]. Особенно актуально это для удаленных и малонаселенных регионов, где возможность использования автономных энергетических систем может решить проблемы с электроснабжением и улучшить качество жизни населения.

Согласно прогнозам, к 2030 году в России планируется создание распределительных электрических систем нового поколения с интеграцией интеллектуальных устройств и современных стандартов, таких как МЭК-61850. Делается акцент на применении искусственного интеллекта для управления автономными системами, что открывает новые горизонты для повышения надежности и эффективности электроэнергетического сектора [4]. Основные

усилия уже сосредоточены на создании пилотных проектов, результаты которых будут оценены в ближайшие годы.

Необходимость интеграции различных подсистем ИЭС в рамках единой концепции становится все более очевидной. Самостоятельная разработка отдельных компонентов может привести к проблемам совместимости и недостаточной эффективности [1]. Более того, переход на интеллектуальные системы оценивается как капиталоемкий процесс, но прогнозируемые экономические выгоды от снижения аварийных рисков и более эффективного контроля в реальном времени делают эту реформу жизненно важной.

В условиях изменения глобальных климатических норм и перехода на устойчивое развитие Россия должна активно адаптироваться к новым вызовам. Адаптация к экономике, основанной на интеллектуальных энергетических системах, может повысить конкурентоспособность страны на международной арене и улучшить качество жизни населения. Поддержка правительства и активное участие научного сообщества в разработке и внедрении новых технологий сыграют ключевую роль в реализации этой амбициозной программы [7].

Конкретные сценарии применения новых технологий уже обсуждаются в рамках отраслевых форумов и конференций, что свидетельствует о высоком интересе к данной теме. Реализация интегрированных систем в России станет возможной только при синергии усилий всех заинтересованных сторон: от разработки законодательной базы до укоренения новых технологических стандартов [4]. В этой связи, развитие инновационных подходов к управлению энергетическими ресурсами в стране будет способствовать не только улучшению качества поставок электроэнергии, но и созданию новых рабочих мест в смежных отраслях.

Перспективы развития интеллектуальных электроэнергетических систем в России открывают новые горизонты для всей экономической системы, позволяя интегрировать современные технологии и повысить устойчивость энергетики страны на фоне глобальных изменений.

Заключение. Интеллектуальные электроэнергетические системы (ИЭС) представляют собой важный элемент современного энергетического ландшафта, и их развитие в России становится все более актуальным. В ходе работы мы рассмотрели концептуальные основы ИЭС, которые включают в себя не только технические, но и организационные аспекты, способствующие интеграции различных источников энергии и обеспечению их эффективного использования. Многоуровневые преобразователи, как ключевой компонент ИЭС, играют важную роль в обеспечении доступа к максимальной мощности от распределенных источников энергии, что, в свою очередь, способствует повышению надежности и устойчивости энергетической инфраструктуры.

Технологическая трансформация энергетической отрасли, о которой мы говорили, затрагивает не только внедрение новых технологий, но и изменение подходов к управлению энергетическими системами. В условиях цифровой экономики необходимо учитывать не только экономические аспекты, но и социальные, экологические и политические факторы, которые влияют на

развитие ИЭС. Эффективность и стоимость внедрения интеллектуальных технологий становятся ключевыми вопросами, требующими комплексного подхода и анализа.

Государственная политика в сфере интеллектуальных энергетических технологий также играет значительную роль в формировании благоприятной среды для развития ИЭС. Важно, чтобы государственные инициативы поддерживали инновации и способствовали внедрению новых технологий, что, в свою очередь, будет способствовать переходу к устойчивой энергетической инфраструктуре. Сравнительный анализ международного опыта показывает, что успешные примеры внедрения ИЭС в других странах могут служить ориентиром для России, однако необходимо учитывать специфику отечественного рынка и потребностей.

Перспективы развития ИЭС в России выглядят многообещающими, однако для их реализации требуется комплексный подход, включающий в себя как технические, так и организационные меры. Необходимо развивать инфраструктуру, способствующую интеграции возобновляемых источников энергии, а также внедрять современные технологии управления и мониторинга. Важно также учитывать потребности конечных пользователей и обеспечивать доступность и надежность энергетических услуг.

Таким образом, развитие интеллектуальных электроэнергетических систем в России является не только вызовом, но и возможностью для создания более устойчивой и эффективной энергетической инфраструктуры. Это требует совместных усилий со стороны государства, бизнеса и научного сообщества, а также активного вовлечения граждан в процесс формирования новой энергетической политики. В конечном итоге, успешная реализация ИЭС может стать основой для перехода к более устойчивой и адаптивной энергетической системе, способной эффективно реагировать на вызовы современности и обеспечивать энергетическую безопасность страны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 2020-2021_13_04_02 ИЭСм-2020 (Эразмус)_plx_Экономика... [Электронный ресурс] // kgeu.ru:https://kgeu.ru/upload/iblock/ca9/6lkd005mdwof8h6yh5npy8tg7tbc7ukx/20_130402_b1.v.03.pdf.
2. Внедрение искусственного интеллекта в электрических сетях по... [Электронный ресурс] // eepir.ru - Режим доступа: https://eepir.ru/new/vnedrenie-iskusstvennogo-intellekta-v-elektricheskikh-setyah-po-vseму-miru/.
3. Интеллектуализация энергетических систем в России до 2035 года [Электронный ресурс] // www.eprussia.ru - Режим доступа: https://www.eprussia.ru/market-and-analytics/4936477.htm.
4. Интеллектуальная энергетика - 2022 - мировой опыт... [Электронный ресурс] // mceor.ru - Режим доступа: https://mceor.ru/2022/22022/400.html, свободный. - Загл. с экрана

5. Интеллектуальная энергетическая сеть, Smart grid, умная сеть... [Электронный ресурс] // [electricalschool.info](https://electricalschool.info/main/elsnabg/2483-smart-grid-umnaya-set.html) - Режим доступа: <https://electricalschool.info/main/elsnabg/2483-smart-grid-umnaya-set.html>.

6. Веселов Ф. В., Дорофеев В. В. Интеллектуальная энергосистема России как новый этап развития электроэнергетики в условиях цифровой экономики // Энергетическая политика. 2018. №5. <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnaya-energосistema-rossii-kak-novyy-etap-razvitiya-elektroenergetiki-v-usloviyah-tsifrovoy-ekonomiki> (18.12.2024).

УДК 621.31

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ ДЛЯ ЕЕ ОПТИМАЛЬНОЙ РАБОТЫ

Литвинов В.К., Полуянович Н.К.

Институт радиотехнических систем и управления, г. Таганрог

Введение и постановка задачи. В статье рассмотрена модель установки для слежения за солнцем, которая позволяет более эффективно использовать энергию от падающего света солнца.

Цель работы. Создание функционирующей прототипа устройства позиционирования солнечных батарей для их оптимальной работы, с целью повышения энергоэффективности ФЭС.

Устройство и принцип работы. Позиционирование фотоэлектрических станций (ФЭС) за Солнцем для получения максимального КПД обосновано тем, что объём генерируемой электроэнергии зависит от угла падения солнечного потока и ориентации фотоэлектрических модулей. Регулирование производится по двум координатам – склонением и азимутом. Склонение – это угол между линией, соединяющей наблюдателя и Солнце, и горизонтальной поверхностью. Азимут – это угол между направлением на Солнце и направлением на юг (см. рис.1).

Элементная база: – управляющая плата Arduino; – сервоприводы с драйверами; – фоторезистор х3; – аккумуляторная батарея на 1.2 вольта х6; – солнечная панель; – концевые выключатели (см. рис.2).

Регулирование по склонению и азимутом производится с помощью сервоприводов (MY, MX), управляющихся с помощью драйверов (ULM2003), команда на которые передаётся непосредственно с управляющей платы ARDUINO NANO. Угол регулировки вычисляется по разности показаний значений фоторезисторов (RX1, RX2, RY2), для повышения энергоэффективности установлены определённые условия не реагирования на незначительные отклонения солнца. Регулировка по азимуту происходит с помощью фоторезисторов RX1 и RX2, а регулирование по склонению происходит с помощью датчика RY2 и выбора наибольшего значения между датчиками RX1 и RX2. Так же на схеме присутствуют концевые выключатели, благодаря которым при включении модели задаётся начальное положение, а

также при достижении крайнего положения, не позволяет продолжить движение и сломать механизм [1;2;5;7].

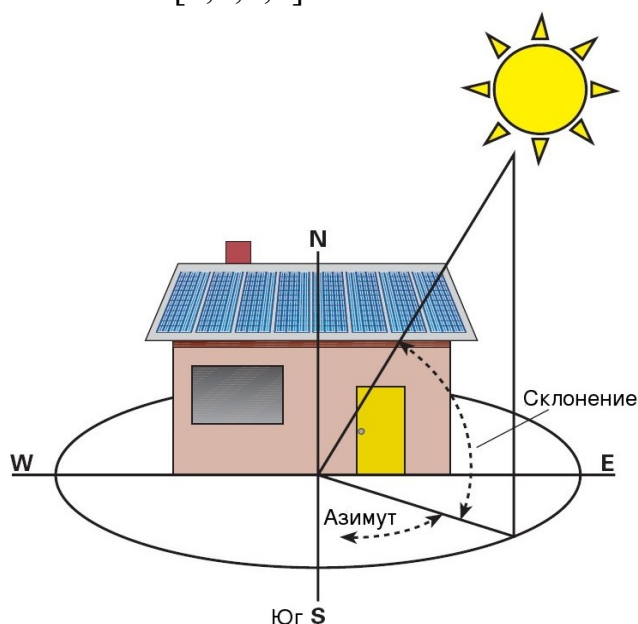


Рис.1. График полного спектра излучений Солнца

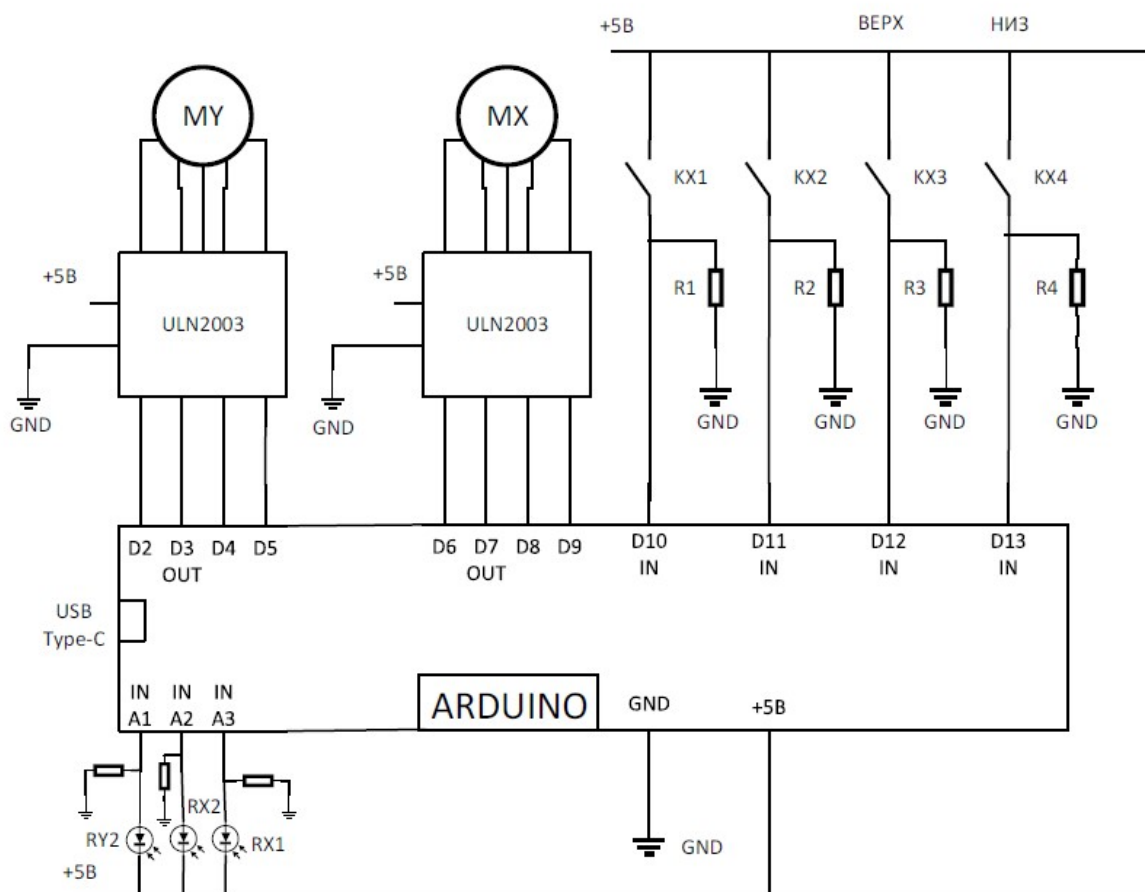
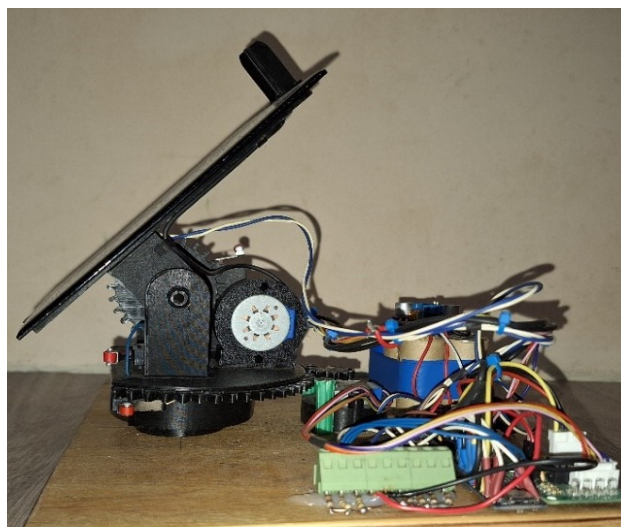


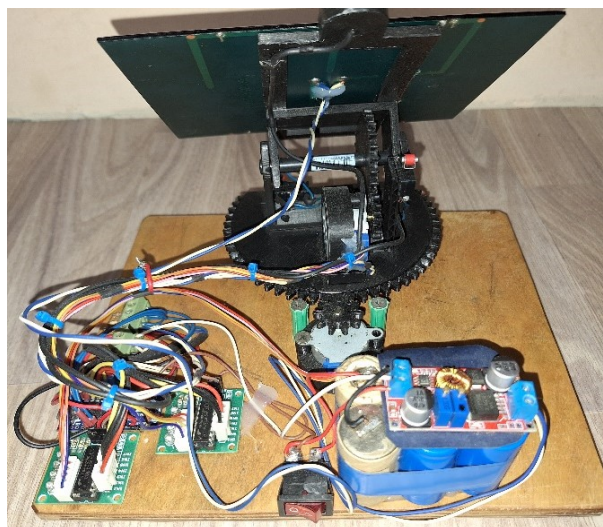
Рис.2. Схема управления ФЭС

Экспериментальные исследования. Применение систем слежения за Солнцем позволяет обеспечить максимальный сбор солнечного потока и, как следствие, повысить объём генерации электроэнергии по сравнению со

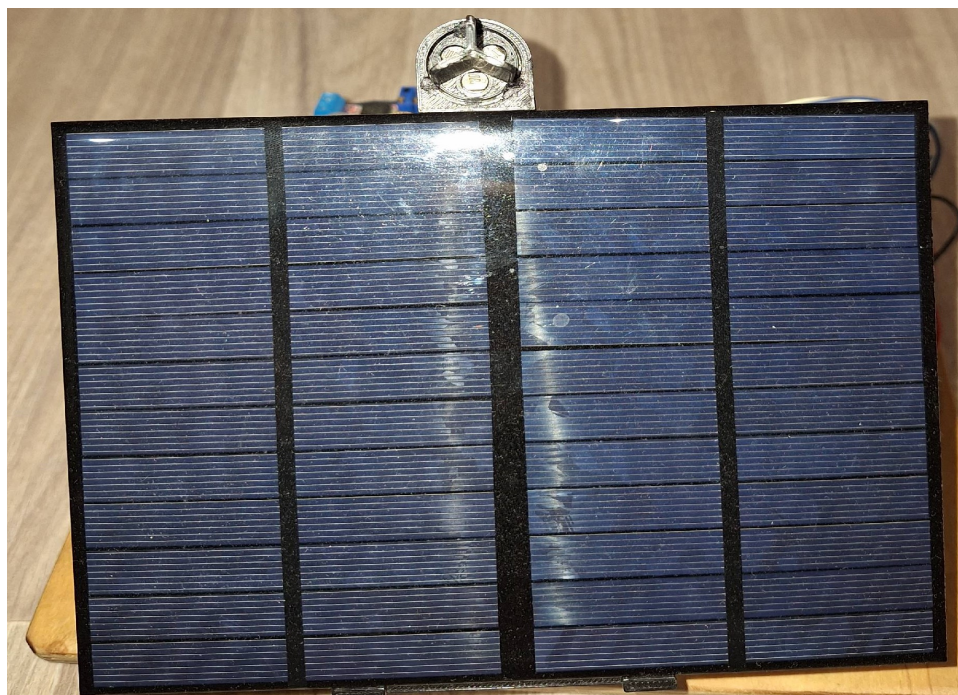
стационарно установленными модулями [2;3;4]. Таким образом, использование систем слежения за Солнцем способствует повышению эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую. На рис.3 представлен внешний вид ФЭ системы, где: а – внешний вид макета установки; б – соединение элементов, в – ФЭ элементы.



а



б



в

Рис.3. Внешний вид ФЭС: а – внешний вид макета установки; б – соединение элементов, в – ФЭ элементы.

Вывод. Разработан макет установки, позволяющий осуществлять слежение за солнцем, с целью получения максимальной мощности, выделяемой ФЭС. Установка позволяет наиболее эффективно использовать энергию от падающего света солнца [6;7;8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Полуянович Н.К.* Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий // Допущено УМО по образованию в области энергетики и электротехники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 140610 – «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» направления подготовки 140600 – «Электротехника, электромеханика и электро-технологии». / Сер. Учебники для вузов. Специальная литература. (Издание третье, стереотипное) Санкт-Петербург, 2017.
2. *Полуянович Н.К., Качелаев О.В., Дубяго М.Н., Фалькон Т.* Нейросетевые технологии прогнозирования и управления электропотреблением в энергетических системах использованием генетического метода // Известия Томского политехнического университета. Промышленная кибернетика. 2025. Т. 3. № 1. С. 29-36
3. *Полуянович Н.К., Качелаев О.В., Дубяго М.Н.* Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электрическими системами на основе генетических методов нейросетевых структур // В сборнике: Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности. материалы VIII Международной научно-технической конференции. Чебоксары, 2024. С. 52-59.
4. *Полуянович Н.К., Качелаев О.В., Дубяго М.Н.* Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электроэнергетическими системами на основе нейросетевых структур // В сборнике: Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2024). Сборник трудов XXII Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. В 2-х томах. Таганрог, 2024. С. 7-12.
5. *Полуянович Н.К.* Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий Учебное пособие для СПО / (3-е издание, стереотипное) Санкт-Петербург, 2023.
6. *Полуянович Н.К.* Управление энергосетью в задачах прогнозирования электрической нагрузки В сборнике: Энергетика и энергосбережение: теория и практика. сборник материалов VII международной научно-практической конференции. Кемерово, 2023. С. 251-2515.
7. *Виторович В.В., Костюков В.А., Полуянович Н.К.* Выбор электропривода для промышленного робота-манипулятора. Материалы III Всер научно-практ конф с межд участием (2-3 ноября 2017 г.) / науч. ред. А. Р. Галустов; отв. ред. Н. В. Зеленко; техн. ред. И. В. Герлах. – Армавир: РИО АГПУ, 2017. – 208 с. (с. 21-25).
8. *А.С. Аксенов, А.Д. Тарасенко, Н.К. Полуянович.* Синтез цепей, формирующих заданные напряжения на выходе. Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: материалы 11-й Всерос. Науч.-техн. Конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш.ун-та, 2018. 512 с. С.167-171

УДК 621.31

ВНЕДРЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ТРУДНОДОСТУПНЫХ РЕГИОНОВ

Александров М.Е., Полуянович Н.К.

Институт радиотехнических систем и управления, г. Таганрог

Территория Российской Федерации объединяет чрезвычайное разнообразие ландшафтов, то есть относительно однородных по природно-климатическим условиям регионов. Одни из них являются благоприятными для хозяйственной деятельности, характеризуются высокой плотностью населения и исторически сложившейся энергетической инфраструктурой. Другие, хотя и обладают значительными природными ресурсами, но, вследствие сурового климата и отдаленности от промышленных центров, оказываются «в стороне» от централизованных энергетических сетей и испытывают, в связи с этим значительный дефицит энергоснабжения. Это обстоятельство сдерживает процессы промышленного и культурного развития отдаленных регионов, а также стабилизацию их трудовых ресурсов. Автор статьи рассматривает перспективы изменения существующего ныне положения, акцентируя при этом значение технологий, использующих возобновляемые источники электроэнергии.

АВТОНОМНЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ, ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ВИДЫ ЭНЕРГИИ, ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ, ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА, СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Чрезвычайное разнообразие природно-климатических условий Российской Федерации вызвало высокую степень неоднородности экономического, промышленного и социально-культурного развития отдельных регионов. Наряду с европейской частью, с ее исторически сложившейся промышленностью, транспортной и энергетической инфраструктурой, в стране имеются обширные, но малонаселенные восточные и северные территории азиатского континента, интеграция которых в единую энергосистему даже в обозримом будущем составляет трудноразрешимую проблему. Вместе с тем, ископаемые и другие природные ресурсы этих территорий позволяет говорить о них как о важнейшем «арсенале», способном обеспечить социально-экономическое развитие всей страны на долгие годы вперед [5].

В этих условиях особое значение приобретает проблема создания автономных от централизованных сетей систем региональной электрогенерации, способных не только полностью удовлетворить потребности растущей промышленности и населения, но и стать «локомотивом» для ускорения темпов социально-экономического и промышленного развития. Очевидно, что путь, пройденный электроэнергетикой европейской части страны, для отдаленных и северных районов не может быть признан ни оптимальным, ни рентабельным, так как характерные для них природно-климатические условия востребуют иных подходов и средств. С нашей точки зрения, здесь целесообразно в качестве источника использовать региональные и, предпочтительно, возобновляемые энергоресурсы. Под возобновляемыми видами энергетики понимаются отрасли, в основании которых лежат энергетические источники природной среды [5]. Сегодня мечта ученого еще недостижима, но можно вести речь об использовании в народном хозяйстве

солнечной, ветровой, гидро-, био- и геотермальной видов энергии. В отличие от угля, нефти, газа и ядерного топлива, подобная энергия фактически неисчерпаема, а кроме того – экологически «чистая», так как не связана с вредными выбросами в окружающую среду. Разумеется, каждый отдаленный регион в своей энергетической системе может использовать те источники, которые представлены в нем наиболее полно.

Безусловными преимуществами возобновляемых источников энергии следует считать:

1. *Независимость от внешних факторов.* Автономные источники возобновляемой энергии до некоторой степени нивелируют отрицательное влияние природно-климатического фактора и способны обеспечивать надежное энергоснабжение даже в условиях крайнего Севера и вечной мерзлоты.

2. *Снижение себестоимости электроэнергии.* Как известно, отдаленность потребителей электроэнергии, затратность строительства, поддержания работоспособности централизованных сетей и большие потери при перетоках провоцируют повышенное ценообразование для конечных потребителей. Автономные энергосистемы, использующие местные и возобновляемые природные ресурсы, способны существенно снизить затраты и обеспечить доступность электроэнергии для производства и населения.

3. *Экологичность.* Использование возобновляемых источников энергии позволяет существенно сократить углеродные выбросы в атмосферу и снизить негативное воздействие на природную среду.

4. *Резервное обеспечение.* Применение батарей для аккумуляции излишков энергии, производимой в периоды ее минимальной потребности, поможет обеспечить стабильность энергопотребления в периоды пиковых нагрузок [1; 2; 4; 7].

Вместе с тем, интеграция автономных источников электроэнергии в народное хозяйство регионов сопряжена с рядом трудностей. Например, следует указать на:

- *высокие требования к качеству оборудования.* Чтобы система работала стабильно и продолжительно, важно применять качественные комплектующие. Использование низкосортного оборудования способно резко снизить рентабельность системы;

- *чувствительность некоторых энергосистем к погодно-климатическим условиям.* Например, производительность солнечных модулей сильно зависит от уровня инсоляции. В северных регионах данная проблема становится критичной. Выходом служит применение комбинированных решений, предусматривающих дополнительные источники энергии;

- *необходимость значительных финансовых и трудовых затрат на стартовом этапе создания энергосистемы.* Первоначальная стоимость установки автономного энергоснабжения довольно высока, что затрудняет внедрение таких технологий в малых масштабах или среди пользователей с ограниченными финансовыми ресурсами;

- *необходимость регулярного обслуживания оборудования и сетей.* Для поддержания высокой производительности автономных систем требуется

периодическое техобслуживание: проверка исправности аккумуляторов, очистка фотоэлектрических элементов от загрязнений, контроль работоспособности всей инфраструктуры и др. [1; 7; 8]

Проанализируем ситуацию в строительстве и эксплуатации автономных энергосистем на примере Республики Саха (Якутия). По отчету правительства Якутии, за 2024 год в регионе было выработано 11,4 млрд кВт·ч. Из этого количества всего лишь 0.5 млн кВт·ч приходилось на возобновляемые источники. Цена за электрическую энергию одна из самых высоких на территории РФ, ввиду отсутствия подключения к единой энергосистеме и сурового климата, требующего серьезных затрат на обогрев жилищ и препятствующего развитию инфраструктуры транспортировки топлива и электроэнергии. Используемые мощности теплоэлектростанций дают значительную нагрузку на транспортную инфраструктуру республики для доставки топлива [9].

Ветроэнергетика использует кинетическую энергию движения масс воздуха. Для генерации электроэнергии из ветра применяются большие ветряные турбины. Удельная мощность ветроэнергетических ресурсов на весьма обширной территории республики колеблется в широких пределах: от 3 в континентальной части (с. Угино) до 476 Вт/м² на побережье моря Лаптевых, т.е. максимальное значение удельной мощности превышает минимальное почти в 160 раз. В приморских районах с помощью ветроустановок можно выработать с квадратного километра площади от 250 тыс. до 2 млн. кВт·ч электроэнергии в год. По предварительным оценкам, на территории Якутии, где среднегодовая скорость ветра достигает более 4 м/с, запасы потенциальной энергии ветра составляют 15,6 млрд. кВт·ч в год.

Даже беглый взгляд на карту позволяет убедиться в том, что Якутия представляет собой регион с весьма разнообразными климатическими зонами. В ней присутствуют регионы, которые следует признать весьма перспективными для использования энергии солнца. Отдел энергетики ИФТПС ЯНЦ СО РАН по территории Якутии дифференцировал четыре района в соответствии с их потенциалами в плане использования систем добычи солнечной энергии. Первый и второй районы признаны неблагоприятными для использования солнечных батарей, так как полярная ночь в них длится до 9-ти месяцев, а в третьем и четвертом пиковая солнечная активность достигает 2000 – 2500 тысяч часов в год, используя которые можно выработать от 2 до 2.5 миллионов кВт·ч/м² (см. рисунок 1). Площадь поверхности одной солнечной панели обычно составляет 1.5 м². Следовательно, на одну панель будет в среднем приходится выработка 1.5 кВт·ч [9].

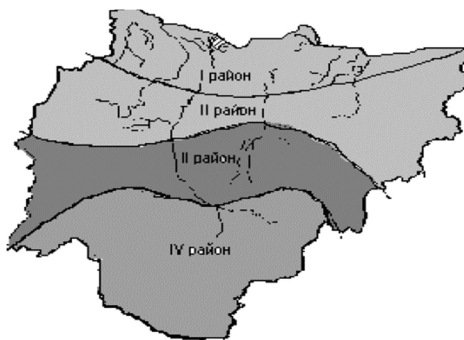


Рис. 1. Районирование Якутии по перспективам использования солнечной электрогенерации

К сожалению, КПД современных солнечных панелей составляет 15-30% и пока еще весьма далек от теоретически возможного уровня в 85-90%. Проблема связана с высокими потерями, возникающими на разных стадиях преобразования потока фотонов в электрический ток. Кроме того, на КПД отрицательно влияет неправильный выбор положения рабочих поверхностей по отношению к солнцу, а также несвоевременная их очистка от различных загрязнений (до 20-30 %). Использование новейших разработок в области регулирования позиционирования солнечных батарей и очистки их рабочих поверхностей позволяет существенно повысить полезную мощность [7].

Ключевым средством в снабжении электроэнергией удаленных районов, временных сооружений и мобильных объектов являются автономные энергосистемы. Они решают проблему энергозащищенности, надежности и преодоления дефицита электрической мощности в условиях отсутствия или нестабильной работы центральных электрических сетей. Такие установки способствуют переходу на экологически чистые методы выработки электроэнергии посредством возобновляемых ресурсов – солнечных батарей и ветряков.

С нашей точки зрения, для четвертого района Якутии наиболее целесообразным является строительство электростанций, комплексно использующих два типа электрогенерации: солнечную и ветровую (см. Рисунок 2). В этом случае строительство и эксплуатация таких энергетических «узлов» могут обеспечить приемлемый уровень рентабельности и стать привлекательными не только для государственного инвестирования, но и для государственно-частного партнерства.

В частности, затраты на солнечный сегмент такой электростанции зависят от ряда факторов, но наибольший удельный вес в стоимости приходится на используемые модули и связанную с ними инфраструктуру. Для станции мощностью 1 МВт необходимо установить 3500 модулей и другое оборудование общей стоимостью около 50 млн рублей.

По данным Б. В. Лукутина и В. Р. Киушкиной [9, с. 20] среднестатистическая скорость ветра в четвертом районе Якутии достигает 4 м/с, что позволяет использовать ветроустановки мощностью 5 кВт. Они способны генерировать до 360 кВт в месяц. В рассматриваемом «узле»

целесообразно устанавливать до 20 ветрогенераторов, общей стоимостью 14 млн рублей.

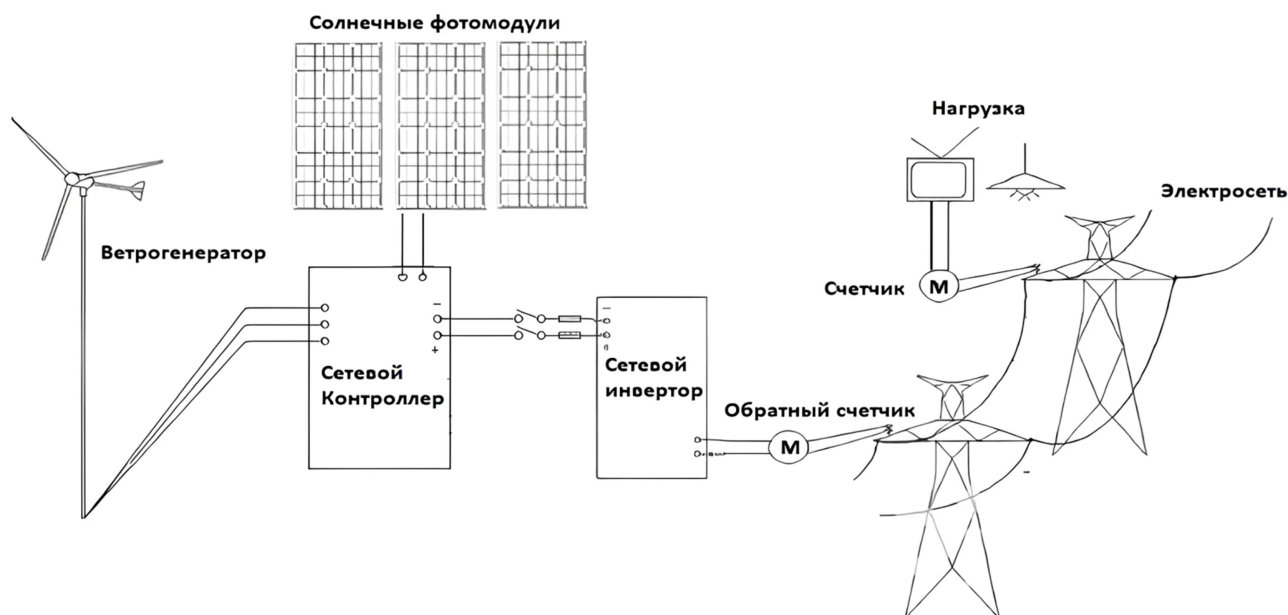


Рис. 2. Принципиальная схема солнечно-ветровой электростанции

В расходной части такого проекта следует учесть затраты на эксплуатацию оборудования. Для станции не требуется многочисленный персонал. Штатное расписание может включать 6 единиц.

Среднее значение эксплуатационных расходов для крупных станций колеблется от 800 тыс. до 2 млн. рублей ежегодно. Возьмем среднее значение в 1.4 млн рублей.

Персонал, необходимый для обслуживания: 2*техник: 80 тыс. руб./мес.; 2*электрик: 70 тыс. руб./мес.; 2*диспетчер: 50 тыс. руб./мес. Итого:

$$\left(2 * \text{техник} * 80000 \frac{\text{руб}}{\text{мес}} + 2 * \text{электрик} * 70000 \frac{\text{руб}}{\text{мес}} + 2 * \text{диспетчер} * 50000 \frac{\text{руб}}{\text{мес}} \right) * 12 \frac{\text{мес}}{\text{год}} = 4.8 \text{ млн} \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Таким образом, общие операционные расходы составят:

$$1.4 \text{ млн} \frac{\text{руб}}{\text{год}} + 4.8 \text{ млн} \frac{\text{руб}}{\text{год}} = 6.2 \text{ млн} \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Далее оценим доходность проекта. Предположим, станция работает круглосуточно. Выработка электроэнергии от солнечных панелей в год составит:

$$1 \text{ МВт} * 15 \frac{\text{часов}}{\text{сутки}} * 365 \frac{\text{суток}}{\text{год}} * 25\% = 1.369 \frac{\text{ГВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}$$

Выработка электроэнергии от ВЭУ составит:

$$0.5 \text{ кВт} \cdot \text{ч} * 365 \frac{\text{суток}}{\text{год}} * 20 \text{ установок} * 40\% = 1460 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}$$

При цене электричества в 10 рублей за кВт·ч, поступления денежных средств без учета налоговых отчислений составит:

$$(1,369 \frac{\text{ГВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}} + 1460 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}) * 10 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} = 13,705 \text{ млн} \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

Рассчитаем срок окупаемости инвестиций:

$$\text{Срок окупаемости} = \frac{\text{Инвестиции}}{\text{Годовой доход с учетом зарплат и обслуживания}}$$

$$\text{Годовой доход} = 13,705 \text{ млн} \frac{\text{руб}}{\text{год}} - 6,2 \text{ млн руб} = 7,505 \text{ млн} \frac{\text{руб}}{\text{год}}$$

$$\text{Срок окупаемости} = \frac{84 \text{ млн руб}}{7,505 \text{ млн} \frac{\text{руб}}{\text{год}}} = 11.2 \text{ года}$$

Резюмируем: строительство региональных энергетических комплексов в отдаленных районах Российской Федерации может сыграть роль мощного катализатора их технологического развития. Нельзя недоучитывать также и социально-экономический эффект от такого рода вложений в регион, так как увеличение ресурсов электроэнергетики не только создает условия для резкого улучшения социально-бытовых условий жизни, но и создает возможности для открытия высокотехнологичных производств и, соответственно, снижения миграционных намерений молодежи и специалистов, у которых появляется реальная возможность актуализировать свой интеллектуальный потенциал на местах. Для дальнейшего прогресса критически важно развивать технологии накопления энергии и повышать КПД альтернативных источников электричества. Перспективы автономных энергосистем также тесно связаны с уменьшением себестоимости комплектующих элементов, интеграцией интеллектуальных технологий управления и применением современных инструментов анализа данных, включая ИИ и машинное обучение [1;2;3]. Подобные инновационные подходы позволят оптимизировать работу текущих устройств и значительно увеличить спектр их применения, сделав такие системы общедоступными и привлекательными для широкой аудитории потребителей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Полуянович Н.К.* Управление энергосетью в задачах прогнозирования электрической нагрузки. – В сборнике: Энергетика и энергосбережение: теория и практика. сборник материалов VII международной научно-практической конференции. – Кемерово, 2023. – С. 251-255.
2. *Полуянович Н.К., Качелаев О.В., Дубяго М.Н.* Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электроэнергетическими системами на основе нейросетевых структур. – В сборнике: Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2024). Сборник трудов

XXII Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. В 2-х томах. – Таганрог, 2024. – С. 7-12.

3. *Полуянович Н.К., Качелаев О.В., Дубяго М.Н., Фалькон Т.* Нейросетевые технологии прогнозирования и управления электропотреблением в энергетических системах использованием генетического метода // Известия Томского политехнического университета. Промышленная кибернетика. 2025. Т. 3. № 1. С. 29-36

4. *Бутузов В.А., Брянцева Е.В.* Научное обеспечение геотермальной электро- и теплогенерации // Окружающая среда и энерговедение. – 2023. – No 2. – С. 4-15.

5. *Головки С.В., Кононенко С.В.* Вопросы проектирования автономных систем электроснабжения с альтернативными источниками электроэнергии // Вестник АГТУ. – 2021. – No 2 (72). – С. 30-34.

6. *Горячев С.В., Смолякова А.А.* Проблемы и перспективы ветроэнергетических систем в России // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – №5 (119).

7. *Гурбандурдыева С.* Солнечная энергия как один из источников альтернативной энергии: значимость в мировой энергосистеме // Вестник науки. – 2024. – No 8 (77). – Том 4. – 2024. – С. 259-262.

8. *Крайнова К.Р., Кроткова Е.А.* Применение ветроэнергетических установок в автономных системах электроснабжения нефтяных промыслов // Научное обозрение. Технические науки. – 2025. – No 1. – С. 16–20.

9. *Лукутин Б.В., Киушкина В.Р.* Ветроэлектростанции в автономной энергетике якутии. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 202 с.

УДК 681.51

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ

Чаленко М.М., Качелаев О.В.

Институт радиотехнических систем и управления, г. Таганрог

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (АД КР) являются самым распространенным типом двигателей, используемых в промышленности и быту, благодаря его простоте конструкции и низкой стоимости. Но неисправности, возникающие при его эксплуатации, могут привести к высоким материальным затратам. Поэтому есть необходимость в создании интеллектуальной системы диагностики состояния двигателя. Автор статьи рассматривает существующие интеллектуальные системы диагностики с использованием нейросетевого прогнозирования, сделав наклон на диагностику неисправностей асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, ДИАГНОСТИКА ДВИГАТЕЛЕЙ, ПРОФИЛАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ, АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Различают внутренние и внешние причины неисправностей двигателя. Внутренние неисправности: пробой изоляции, повреждения магнитного контура, обрыв стержня ротора. Внешние неисправности: колебания напряжения, перебои в напряжении, неравномерное напряжение, на рисунке 1 показана относительная вероятность появления различных повреждений в асинхронном двигателе [1], [6].

Неисправности в обмотке ротора и статора, такие как межвитковое короткое замыкание, обрыв цепи, межфазное замыкание и замыкание фазы с землей, являются одними из наиболее распространенных и потенциально разрушительных неисправностей.

Как следствие изменение параметров: крутящего момента, скорости, температуры обмоток, электропотребления [3], [4].



Рис. 1. Вероятность повреждения в АД КР

Современные системы оценки технического состояния (ОТС) электрооборудования предполагают автоматизированные экспертные системы, направленные на решение двух видов задач: определение фактического функционального состояния оборудования с целью корректировки жизненного цикла оборудования и прогнозирования его остаточного ресурса. Как правило, среди задач европейских систем ОТС, в отличие от российских, основной целью не является продление срока службы электрооборудования, по причине замены оборудования после окончания его срока службы, определенного заводом изготовителем. Достаточно сильные отличия в нормативной документации по обслуживанию, диагностике, испытаниям и т. д. электрооборудования, составу оборудования и его эксплуатации не позволяют использовать зарубежные системы ОТС для российских энергосистем. В России существует несколько экспертных систем, которые сегодня активно используются на реальных энергообъектах. Современные системы ОТС Структура всех современных систем ОТС примерно схожа и состоит из нескольких основных составляющих (см.рис.2).

1. Подсистема сбора данных

- Датчики контролируют ключевые параметры работы двигателя: температуру статора, токовую нагрузку, состояние изоляции обмоток [2].
- Собираются данные о рабочих нагрузках и температурных условиях эксплуатации [2].

2. Подсистема предобработки данных

- Производится фильтрация шумов и коррекция ложных данных.
- Осуществляется стандартизация и агрегирование собранных показателей для последующего анализа.

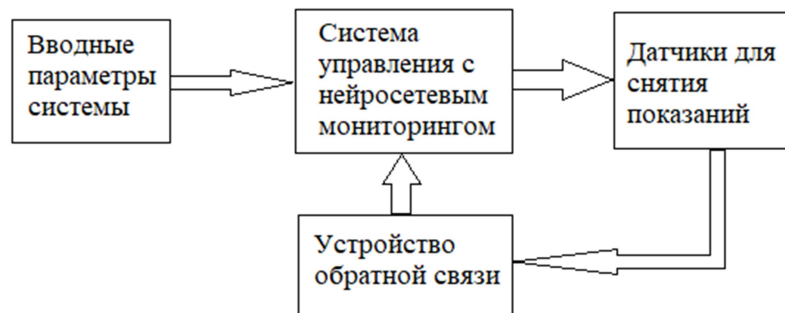


Рис. 2. Структура интеллектуальной системы

3. База данных

- Данные хранятся в специализированных базах данных с поддержкой высокоскоростного поиска и индексации.

4. Подсистема обработки данных

- Применяются алгоритмы машинного обучения и аналитики для выявления аномалий и потенциальных неисправностей двигателя.
- Проводятся расчеты износа деталей и оставшегося ресурса двигателя.

5. Подсистема извлечения знаний

- Происходит классификация состояний двигателя и определение причин возможных поломок.
- Формируются правила и стратегии диагностики и профилактических мероприятий.

6. Подсистема вывода

- Генерируются отчёты и уведомления для специалистов обслуживающего персонала.
- Предоставляются конкретные рекомендации по техническому обслуживанию, замене деталей и проведению ремонтов [4], [5].

Обычно раздел «Результаты» состоит из двух подразделов: сами результаты ОТС оборудования (формализованные или не формализованные оценки) и управляющие воздействия на основе полученных оценок — рекомендации о дальнейшей эксплуатации оцениваемого оборудования. Безусловно, структура систем ОТС может отличаться, но чаще всего архитектура таких систем идентична. В качестве входных параметров (БД) обычно используются данные, полученные в ходе различных методов неразрушающего контроля. Современные экспертные системы оборудования, или данные, полученные с различных систем мониторинга, датчиков и т. д. В качестве базы знаний могут использоваться различные правила, как представленные в РД и других нормативных документах, так и в виде сложных математических правил и функциональных зависимостей. Результаты, как было описано выше, отличаются обычно только «видом» оценок (индексов) состояния оборудования, возможными интерпретациями классификаций

дефектов и управляющих воздействий. Но основным отличием систем ОТС друг от друга является использование разных математических аппаратов (моделей), от которых в большей степени и зависят достоверность и корректность самой системы и ее работа в целом. На сегодняшний день в российских системах ОТС электрооборудования в зависимости от их назначения применяются различные математические модели — от самых простых моделей на основе обычных правил продукции до более сложных. Несмотря на все безусловные достоинства существующих систем ОТС, в современных условиях они имеют ряд существенных недостатков: ориентированы на решение конкретной задачи конкретного собственника (под конкретные схемы, конкретное оборудование и т. д.) и, как правило, не могут использоваться на других аналогичных объектах без серьезных переработок; используют разномасштабную и разноточную информацию, что может приводить к возможной недостоверности оценки; не учитывают динамику изменения критериев ОТС оборудования, другими словами, системы не обучаемы [8].

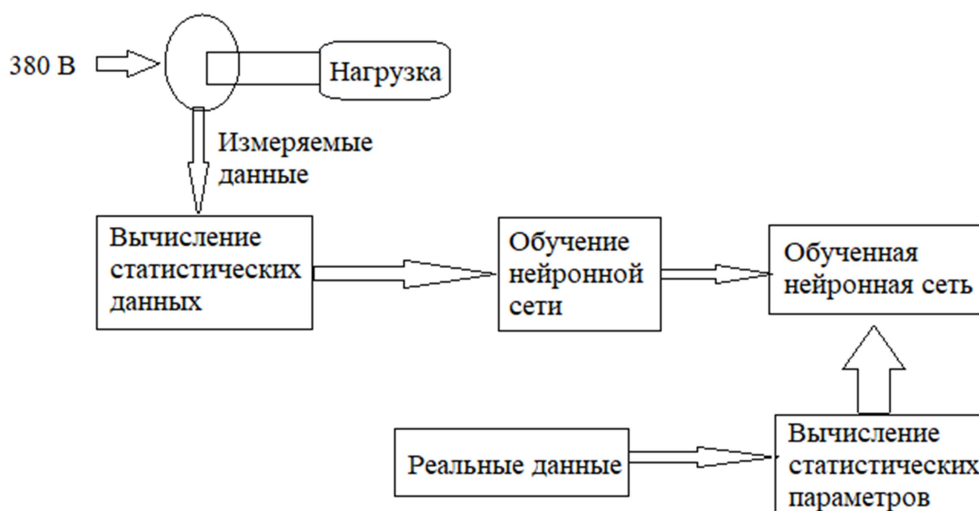


Рис. 3. Система диагностики АД КР с нейронной сетью [9]

Исходя из вышесказанного, существует необходимость в создании интеллектуальной системы которая сможет:

- определять вид дефекта;
- выявлять причину возникновения дефекта;
- прогнозировать последствия развития дефекта;
- вырабатывать общую оценку состояния АД КР и его работоспособности;
- вырабатывать рекомендации по управлению работой АД КР;
- накапливать базу знаний для повышения достоверности вырабатываемых рекомендаций;
- адаптивность к любым видом изменений [5], [7].

Для, такого вида диагностики, необходимо создания структурной модели:

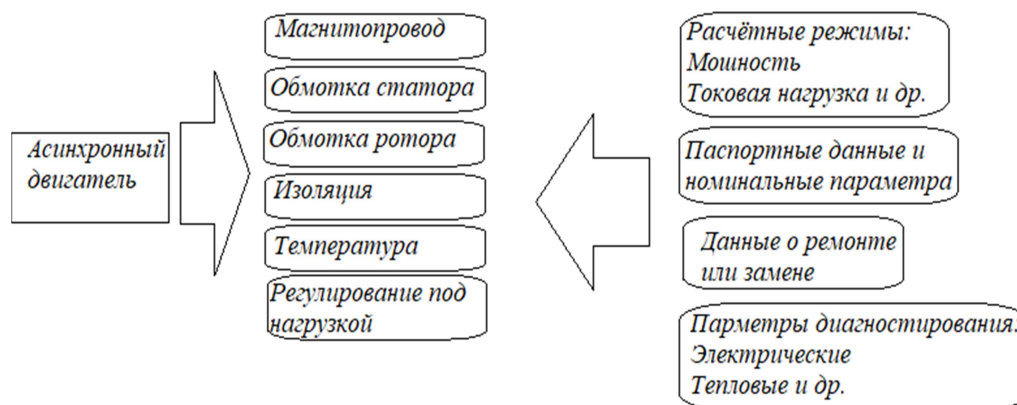


Рис. 4. Структурная модель оборудования

Вывод. Проведен анализ литературных источников, рассмотрены существующие виды мониторинга неисправностей, создана структура интеллектуальной системы мониторинга, обеспечивающая эффективный сбор данных и диагностику состояния электрооборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Полуянович Н.К.* Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий // Допущено УМО по образованию в области энергетики и электротехники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 140610 — «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» направления подготовки 140600 — «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». / Сер. Учебники для вузов. Специальная литература. (Издание третье, стереотипное) Санкт-Петербург, 2017.

2. *Дубяго М.Н., Полуянович Н.К., Бурьков Д.В.* Разработка метода прогнозирования процесса старения изоляции на основе термофлуктуационной теории частичных разрядов // Инженерный вестник Дона. 2017. № 3 (46). С. 26.

3. *Полуянович Н.К., Качелаев О.В., Дубяго М.Н., Фалькон Т.* Нейросетевые технологии прогнозирования и управления электропотреблением в энергетических системах использованием генетического метода // Известия Томского политехнического университета. Промышленная кибернетика. 2025. Т. 3. № 1. С. 29-36

4. *Полуянович Н.К., Качелаев О.В., Дубяго М.Н.* Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электрическими системами на основе генетических методов нейросетевых структур // В сборнике: Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности. материалы VIII Международной научно-технической конференции. Чебоксары, 2024. С. 52-59.

5. *Полуянович Н.К., Качелаев О.В., Дубяго М.Н.* Прогнозирование электрических нагрузок при оперативном управлении электроэнергетическими системами на основе нейросетевых структур // В сборнике: Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2024). Сборник трудов

XXII Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. В 2-х томах. Таганрог, 2024. С. 7-12.

6. *Полуянович Н.К.* Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий Учебное пособие для СПО / (3-е издание, стереотипное) Санкт-Петербург, 2023.

7. *Полуянович Н.К.* Управление энергосетью в задачах прогнозирования электрической нагрузки В сборнике: Энергетика и энергосбережение: теория и практика. сборник материалов vii международной научно-практической конференции. Кемерово, 2023. С. 251-2515.

8. *Хальясмаа А. И., Дмитриев С.А., Кокин С.Е., Глушков Д.А.* Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций: учебное пособие / Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 64 с

9. *Partha Sarathee Bhowmik, Sourav Pradhan, Mangal Prakash* Fault diagnostic and monitoring methods of induction motor: a review/ International Journal of Applied Control, Electrical and Electronics Engineering (IJACEEE), Vol. 1, no. 1.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Дятлов П.А. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К ПОМЕХАМ МЕТОДОВ РАЗДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ С КОГЕРЕНТНОЙ ОБРАБОТКОЙ ПРИ КОДОВОМ УПЛОТНЕНИИ.....	3
Еремейчук М.В. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИЕМНЫХ ТРАКТОВ В ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.....	7
Зонтов А.А., Летов В.В., Косенко Е.Ю. СОЗДАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО АЛГОРИТМА АВТОПИЛОТА ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ	13
Калюта В.И, Деменчук В.В.ШИРОКОПОЛОСНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ В ДОННЫХ ОСАДКАХ.....	17
Летов В.В., Зонтов А.А., Косенко Е.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА SLAM В МОБИЛЬНЫХ РОБОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ.....	23
Ярута В.А., Калюта В.И. СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОЛУЧЕВЫХ ЭХОЛОТОВ В МЕЛКОВОДНЫХ РАЙОНАХ	28
Дульский В.О., Пивнев П.П. СПОСОБЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИЧЕСКУЮ.....	30
Альсаид Х. К., Давыдоов Д.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С НАКЛАДКАМИ.....	37
Сидун М.Ю., Пивнев П.П. ПРИЕМНЫЙ ТРАКТ МНОГОЛУЧЕВОГО ЭХОЛОТА: ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	42
Гайворонский А.Ю., Лобанова Е.А. О КОМПЕНСАЦИИ СКАЖЕНИЙ И УЛУЧШЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИАППАРАТУРЫ ПО ЦЕПЯМ ПИТАНИЯ.....	47
Гайворонский А.Ю., Лобанова Е.А. СТАТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ В СИСТЕМЕ ГАРАНТИЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	53
Дацко И.А. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ.....	59
Свешникова В.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ	62
Литвинов В.К., Полуянович Н.К. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ ДЛЯ ЕЕ ОПТИМАЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	68
Александров М.Е., Полуянович Н.К. ВНЕДРЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ТРУДНОДОСТУПНЫХ РЕГИОНОВ	72
Чаленко М.М., Качелаев О.В. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ	78

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ СИСТЕМОТЕХНИКИ

Подписано к печати 23.06.2025
Заказ №87 Тираж 100 экз.
Печать *ризография*. Бумага офсетная.
Формат 60х84¹/16.
Усл. п.л. – 5,3. Уч.-изд.л. – 6.

Издатель Ступин С.А.
347900, Ростовская обл., г. Таганрог, пер. Лермонтовский, 25.
Тел./факс: (8634) 311-288.