

## Раздел 3 СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

---

УДК 681.215

DOI: 10.34046/aumsuomt98/9

### РЕАЛИЗАЦИЯ ГИБРИДНЫХ БОРТОВЫХ АЛГОРИТМОВ КОНТРОЛЯ В ДИАГНОСТИКЕ ГЛАВНОГО ДВИГАТЕЛЯ СЭУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВ

*А.И. Епихин, кандидат технических наук, доцент кафедры ЭСМУ*

В статье представлен вариант решения актуальной научно-практической задачи диагностики состояния главного двигателя СЭУ на основе многослойных нейронных сетей. Для решения данной задачи разработана математическая модель, которая позволяет определять зависимость параметров процесса работы двигателей от различных дефектов и базируется на модифицированном методе диагностических матриц и правилах нечеткой логики.

**Ключевые слова:** двигатель, диагностика, нечеткая логика, модель, матрица, датчики, нейронная сеть.

### IMPLEMENTATION OF HYBRID ON-BOARD CONTROL ALGORITHMS IN THE DIAGNOSTICS OF THE MAIN ENGINE OF THE SEU USING MODERN DEVICES

*A. I. Epikhin*

The article presents a variant of solving the actual scientific and practical problem of diagnosing the state of the main engine of the SEP based on multilayer neural networks. To solve this problem, a mathematical model has been developed that makes it possible to determine the dependence of the parameters of the engine operation process on various defects and is based on a modified method of diagnostic matrices and the rules of fuzzy logic.

**Keywords:** engine, diagnostics, fuzzy logic, model, matrix, sensors, neural network.

На фоне роста сложности и автоматизации судовых энергетических установок (СЭУ), совершенствуются конструктивные особенности их составляющих частей, главных узлов и комплектующих. Все больше электроники контролирует процессы, происходящие в главном двигателе СЭУ, такие как соотношение топливовоздушной смеси, момент впрыска и самовоспламенения, давление и температуру надвучного воздуха, высота и время поднятия клапанов и многие другие [1].

В результате СЭУ становится сложной электронно-механической системой, что в повседневной эксплуатации приводит к кардинальным изменениям в способах и методах диагностирования ее основных и вспомогательных агрегатов. Не подлежит сомнению тот факт, что безотказная работа СЭУ определяет экономическую эффективность и безопасность эксплуатации судна в целом. В тоже время система диагностики и контроля за состоянием СЭУ должна за минимально возможный промежуток времени с максимальной точностью и достоверностью выявлять аномалии в рабочих параметрах главного двигателя и других критических узлах, чтобы не допустить воз-

никновения отказов, способных привести к авариям и негативным последствиям.

Очевидно, что проблема точной и предметной диагностики СЭУ и ее составляющих не может быть решена на уровне разрозненных и в некоторых случаях ненужных тестов, а также в рамках текущего ремонта. Такой подход к диагностике приводит к ошибкам в выводах относительно технического состояния систем и механизмов, вызванных человеческим фактором, увеличению времени на проведение технического обслуживания и ремонта и как следствие снижению их качества [2].

Кроме того, необходимо отметить, что существующие системы диагностики и управления СЭУ функционируют в условиях недостаточности контролируемой информации, шумов измерений, параметрической, экспертной и конструктивной неопределенности в процессе оценки параметров основных узлов и агрегатов, что сочетается со значительной сложностью процессов, которые происходят в них. В данных условиях результативность и эффективность традиционных методов диагностики и контроля может быть не-

достаточной, в связи с чем актуализируется потребность в применении интеллектуальных технологий, базирующихся на комплексной компьютерной диагностике с использованием программных и аппаратных комплексов нового поколения. Проблема интеграции операций с электронной диагностикой СЭУ в процессе технического обслуживания, является необходимой, учитывая современный уровень развития электроники и возможности получения информации о состоянии любых параметров системы как от штатных датчиков, установленных на оборудовании, так и от дополнительных измерительных устройств.

Таким образом, указанные обстоятельства выдвигают на первый план задачу разработки интеллектуальной системы диагностики элементов СЭУ с использованием современных бортовых устройств, что и предопределяет выбор темы данной статьи.

В последнее время ведутся активные исследования по внедрению инноваций в сфере электронной диагностики систем, узлов и агрегатов различных двигателей, активно данной проблематикой занимается ряд зарубежных авторов: Sun Zhe, Mancaruso Ezio, Galiullin L. A., Akhilendra Pratap Singh, Pravesh Chandra Shukla, Joonsik Hwang, Avinash Kumar Agarwa.

Разработке программ для компьютерной диагностики отдельных элементов СЭУ, обоснованию направлений усовершенствования устройств для электронного контроля посвящены работы Grzeczka Grzegorz, Pilat Tomasz, Polak Adam, Соловьева А.В., Кучерова В.Н., Покусаева М.Н., Мамонтова В.А. и др.

В технической литературе описывается большое количество программ и устройств для электронной диагностики двигателей разного типа.

В тоже время, несмотря на имеющиеся наработки и достижения в исследуемой области, существующие технологии мониторинга состояния элементов СЭУ несовершенны. Причиной этого, с одной стороны, является разобщенность баз данных испытаний, диагностики и контроля; отсутствие интеллектуальных компонентов, которые позволяют качественно и эффективно поддерживать системы принятия управленческих решений и, как следствие, уменьшать общие затраты временных и финансовых ресурсов на обслуживание СЭУ, а, с другой - нестационарность физических процессов в главном двигателе, сложность его математического описания, зависи-

мость технических параметров от внешних условий работы, ограниченность состава наблюдаемых термогазодинамических параметров двигателя и т.д. Следовательно комплекс приведенных факторов обуславливает необходимость принятия решений о техническом состоянии двигателя в условиях значительной неопределенности.

Таким образом, с учетом вышеизложенного, цель статьи заключается в рассмотрении возможностей и перспектив реализации гибридных бортовых алгоритмов контроля в диагностике главного двигателя СЭУ с использованием современных устройств.

В качестве инструмента реализации поставленной задачи могут использоваться распределенные системы мониторинга, цель которых определить степень соответствия объекта наблюдения обозначенным параметрам. Распределенная система мониторинга представляет собой логическое дополнение информационной системы, так как вместе с ней позволяет осуществлять анализ фактического технического состояния СЭУ: прогнозировать остаточный ресурс, отслеживать деградацию рабочих характеристик главного двигателя, определять программу проведения ремонтно-восстановительных работ и т.д. [3]

Разработку интеллектуальной системы будем проводить на примере газотурбинного двигателя СЭУ, для диагностики которого используется система бортовой автоматики, компонентами которой могут быть разнообразные технические устройства, отличающиеся друг от друга как по принципу действия, так и по конструктивному исполнению. В рамках проводимого исследования будем использовать датчики давления и пульсаций давления, температуры, уровня вибраций, а также средства для автоматизации процесса обработки результатов испытаний.

Основу интеллектуальной системы составляет математическая модель на базе нейронной сети и нейронечеткого классификатора. Такая система позволяет выявлять и классифицировать нештатные режимы работы электронного блока управления (ЭБУ), отклонения в работе исполнительных механизмов и измерительных каналов (рис. 1).

Математическая модель ЭБУ выполняет роль эталонной модели в составе бортовой системы контроля и диагностики. Сравнение прикладных данных, полученных с помощью математической модели, с информацией, которая зафиксирована измерительными каналами, позволяет отследить перемены в контролируемом объекте.

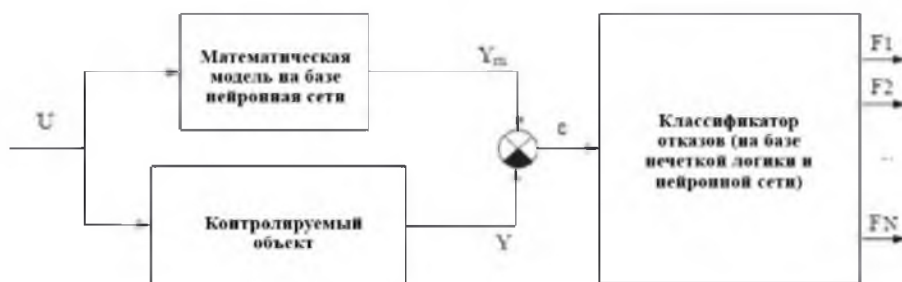


Рисунок 1 – Общая схема системы диагностики и контроля

Математическую модель экспертной системы представим следующим образом:

$$F_{\gamma,e}^*(t) = O_{\gamma,e}(\bar{F}_{\gamma}(t), P_e, W_e, M_e, C_e)$$

где  $F_{\gamma,e}^*(t)$  - выходные параметры, которые рассчитаны с использованием модели экспертной системы ГТД;

$\bar{F}_{\gamma}(t)$  - входные воздействия, отражающие режим работы ГТД,  $\gamma = \overline{1, \mu}$ ;

$P_e = \{p_1, p_2, \dots, p_k\}$  - совокупность элементов, входящих в состав математической модели ГТД;

$W_e$  - функция преобразования входных параметров в выходные;

$M_e$  - функция связи, позволяющая идентифицировать зависимые переменные отдельных

составляющих модели;

$C_e$  - продолжительность работы.

На рис. 2 представлен алгоритм создания базы данных о дефектах работы двигателя, а также реализация FDI-метода (Fault Detection and Identification). В процессе создания базы данных дефектов предполагается, что пользователь-эксперт скорректировал составленную им из отдельных компонентов в концептуальной базе данных математическую модель ГТД. В ходе работы с математической моделью на основании известных входных параметров создается эталонный информационный вектор, который отражает бездефектное состояние работы ГТД.

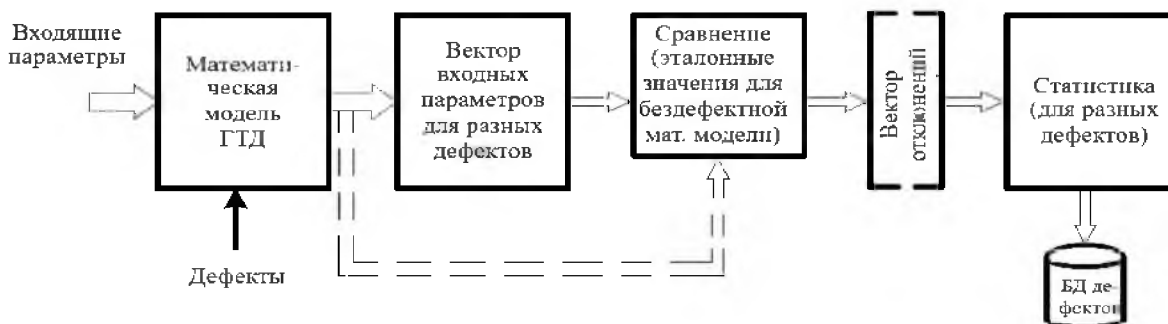


Рисунок 2 – Алгоритм создания базы данных дефектов

Практическое использование FDI-метода предполагает необходимость решения «обратной задачи»: на основании вектора отклонений, на определенном этапе работы ГТД, локализуется выявленный дефект. С этой целью информация из БД работы ГТД (входные параметры) подается на вход математической модели, после чего проводится сравнение выходных параметров модели и собранных данных с датчиков, которые перед этим обработаны и внесены в БД режимов работы двигателя. На основании этого формируется вектор отклонений, затем он анализируется с использованием базы нечетких правил и делается вывод о фактическом техническом состоянии ГТД, что является основанием для выработки дальнейших

рекомендаций по его эксплуатации. Таким образом, математическая модель формализует информационный канал, благодаря которому передается диагностическая информация.

Для нейросетевого моделирования представляется целесообразным использовать так называемые LVQ сети (Learning Vector Quantization) - сети с прямым распространением сигнала. Чаще всего в качестве структурных элементов сети с прямым распространением сигнала используются нейроны с функциями активации таких типов, как персептронная, линейная, сигмоидная (гиперболический тангенс, логистическая) [4]. В качестве примера схема нейронной сети с нейронами, которые имеют логистическую функцию активации, показана на рис. 3.

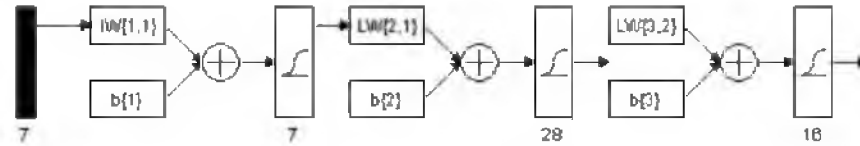


Рисунок 3 Схема трехслойной нейронной сети с прямым распространением сигнала

Представленная на рис. 3 сеть предназначена для классификации 16 классов технического состояния (16 выходных нейронов) ГТД. Она имеет 7 и 28 нейронов в первом и втором слоях. Нейроны всех слоев имеют логистическую функцию активации. Очевидно, что нейроны персептронного типа, поскольку на их выходе сигнал может принимать значения 0 или 1, и могут быть использованы, в первую очередь, в исходном конкурирующем слое. Но, с точки зрения уменьшения объема сети и соответственно затрат времени и ресурсов компьютера, целесообразнее получать на выходе сети вектора не булевы, а непрерывные отклики. В этом случае класс технического состояния ГТД определяют по номеру выхода, отклик на котором самый большой.

Рассмотрим на практике реализацию разработанного метода.

Чтобы решить задачу идентификации и выявления неисправных частей ГТД представляется целесообразным использовать метод диагностических матриц, который даст возможность установить взаимосвязь между фиксируемыми датчиками отклонениями контрольных параметров процесса работы двигателя и отклонениями эталонных параметров состояния его агрегатов и узлов [5].

Зададим модель в векторной форме, в результате чего она будет иметь следующий вид:

$$\overline{\rho z} = C^{-1} \cdot T \cdot \overline{\rho q}$$

где  $\overline{\rho z}$  - вектор параметров, характеризующих состояние ГТД;

$\overline{\rho q}$  - вектор диагностических характеристик, отражающих отклонение контрольных параметров ГТД;

$C$  и  $T$  - матрицы коэффициентов, которые позволяют установить в количестве измерений связь рассматриваемых характеристик на определенных промежутках времени работы ГТД.

Матрица диагностики состояния двигателя представляет собой таблицу количественных значений коэффициентов  $c_{ij}$  и  $t_{ij}$ , которые дают возможность на основании отклонения ряда контрольных параметров  $\rho z$ , установить аномалии с

неизмеряемыми характеристиками состояния отдельных узлов  $\rho q$ .

Для проверки работоспособности предложенной архитектуры нейросети и метода ее построения было разработано программное обеспечение на языке C #, которое позволяет выполнять построение нейронных сетей и их обучение на заданной выборке данных.

Пусть в процессе контроля технического состояния ГТД измерялись следующие параметры:  $N$  - количество оборотов турбины компрессора (*об/с*),  $Y$  - температура газа перед турбиной (*С*),  $A$  - расход газа через турбину (*кг/с*),  $q$  - изменение температуры на входе в двигатель (*С*),  $S$  - количество ступеней,  $F$  - угол установки лопаток входного направляющего аппарата,  $W$  - приведенная мощность,  $U$  - расход воздуха (*кг/с*),  $R$  - степень сжатия воздуха, проходные сечения сопловых аппаратов ( $L1, L2, L3, L4, m^2$ ) и высота лопаток ( $H, мм$ ).

При проведении порядковой оценки колебания контрольных параметров ГТД с целью выявления того или иного дефекта, может быть построена таблица, которая с одной стороны, позволяет охарактеризовать изменение значения каждого конкретного параметра, а с другой - даст возможность минимизировать число используемых датчиков, т.к. будут определены наиболее значимые (табл. 1).

Знак «↓» показывает динамику к падению значения контролируемого параметра, а знак «↑» - к его росту. Строки, которые имеют знак «\*» отражают значительное отклонение параметров, которые контролируются. Данные, представленные в таблице 1, формируют основу для создания базы экспертных выводов и расчета функций принадлежности выбранных лингвистических переменных. Таким образом, экспертная система «обучается» распознавать фактическое техническое состояние ГТД.

Процедура и порядок принятия решений о состоянии ГТД отражены на рис. 4

Таблица 1 – База нечетких правил

<i>N</i>	<i>Y</i>	<i>A</i>	<i>q</i>	<i>S</i>	<i>F</i>	<i>W</i>	<i>U</i>	<i>R</i>	<i>H</i>	<i>L1</i>	<i>L2</i>	<i>L3</i>	<i>L4</i>
↓	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓*	↑
↓	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑*	↓	↑	↓
↓	↑	↑*	↑	↓	↓	↓*	↓*	↑*	↑	↓	↓	↑	↓
↑	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↓*	↑	↓↑	↑
↑	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↑	↑
↑*	↑	↓*	↑	↓	↑	↑	↑	↓*	↑	↑	↓	↓8	↓
↓	↑	↑	↑*	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑
↓	↑	↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑*	↑	↓

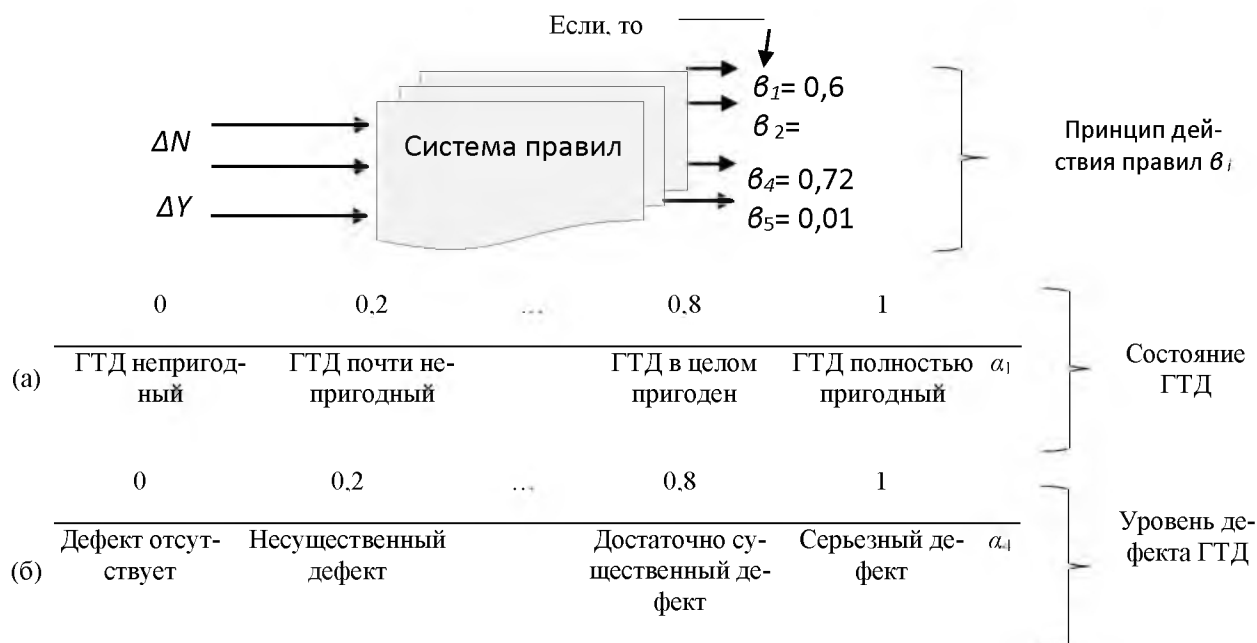


Рисунок 4 – Схема принятия решения экспертной логистической системой

Схема, представленная на рис. 4 работает следующим образом. Сформированный массив параметров отклонений, которые расположены в строке диагностической матрицы, анализируется базой экспертных знаний. После этого для конкретной строки диагностической матрицы определяется степень соответствия правилу. Если состояние ГТД исправно, максимальное значение степени достоверности правила равно 1, что позволяет сделать вывод о полной пригодности ГТД. Минимальное значение правила находится на нуле, что свидетельствует о том, что двигатель непригоден. Промежуточные значения правила в процессе диагностики состояния ГТД могут иметь следующие значения, например, двигатель

«почти не пригоден» (0.2) или «в целом пригоден» (0.8). По аналогичной процедуре идентифицируется и дефект двигателя.

Таким образом, подводя итог, отметим, что в статье решена актуальная научно-практическая задача диагностики главного двигателя СЭУ с использованием интеллектуальной системы, которая базируется на нейросетевой модели, учитывающей зависимость параметров двигателя от разных дефектов. Прикладная реализация предложенной модели представлена на примере газотурбинного двигателя.

Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что предложенный метод позволяет выполнять построение нейрон-

ных сетей, их обучение и тестирование на выборках данных, что дает возможность распознавать класс технического состояния ГТД и идентифицировать его дефекты.

**Литература:**

1. Gajewski, Jakub Verification of the technical equipment degradation method using a hybrid reinforcement learning trees-artificial neural network system // Tribology international. 2021. Volume 153; pp 67-72.
2. Raptodimos, Yiannis Application of NARX neural network for predicting marine engine performance parameters // Ships and offshore structures. 2020. Volume 15: Number 4; pp 443-452.
3. Wang, Y.S. An engine-fault-diagnosis system based on sound intensity analysis and wavelet packet pre-processing neural network // Engineering applications of artificial intelligence. 2020. Volume 94, pp 45-54.
4. Fusion of neural networks, fuzzy systems and genetic algorithms: industrial applications / edited by Lakhmi C. Jain, N.M. Martin. Boca Raton: CRC Press, 2020. 398 p.
5. Sun, Liang et al. Artificial neural network-based performance modeling of a diesel engine within the whole operating region considering dynamic conditions // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D. Journal of automobile engineering. 2019. Volume 233: Number 11; pp 2970-2984.
6. Епихин А.И., Кондратьев С.И., Хекерт Е.В. Прогнозирование многомерных нестационарных временных рядов с использованием нейромоделирования// Морские интеллектуальные технологии.– 2020.–№ 4-4 (50).– С. 23-27.
7. Кондратьев С.И. Формирование профессиональной компетенции в процессе тренажерной подготовки - фактор обеспечения безопасности судовождения [Текст] / С.И.Кондратьев, Н.Б. Хмелева // Theoretical & Applied Science. 2014. № 12 (20). С. 16-21.
8. Кондратьев С.И. Обеспечение безопасности плавания транспортных судов в порту при маневрировании в операционной акватории причала [Текст] / С.И. Кондратьев, В.В. Устинов // Транспортное дело России.– 2012.– № 6-2.– С. 196-197
9. Епихин А.И., Хекерт Е.В., Каракаев А.Б., Модина М.А. Особенности построения прогностической нейро-фаззи сети//Морские интеллектуальные технологии.– 2020.– № 4-4 (50).– С. 13-17.
10. Епихин А.И., Хекерт Е.В., Модина М.А. Принципы нейруправления и варианты архитектуры нейронных сетей, применительно к сложной динамической системе СЭУ-СУДНО//Морские интеллектуальные технологии.– 2020.– № 4-4 (50).– С. 18-22.

11. Печников А.Н., Хекерт Е.В. Эргономический подход к оцениванию деятельности судовых специалистов: экспериментальная апробация предложенных моделей и процедур//Морские интеллектуальные технологии.– 2019.– № 4-3 (46).– С. 104-110.
12. Печников А.Н., Хекерт Е.В., Савельев В.Г., Адерихин И.В. Эргономический подход к оцениванию деятельности судовых специалистов: модели трансформации действия в процессе его освоения и процедура их практического применения//Морские интеллектуальные технологии.– 2019.– № 1-2 (43).– С. 104-111.
13. Модина М.А., Шкода В.В. Технологии изготовления магнитопроводов аксиальных генераторов и трансформаторов для морских и воздушных судов// Материалы девятой Международной научной конференции «ГТС-17». Кубанский государственный технологический университет, Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени А.К. Серова; под общей редакцией Б.Х. Гайтова.– 2017.– С. 27-31.
14. Тимченко Т.Н., Штефан Б.А. Перестройка топливной системы судов в связи с вступлением в силу новых требований МАРПОЛ. //Ежеквартальный сборник научных статей «Эксплуатация морского транспорта».– 2019.– №4 (93).
15. Шкода В.В., Модина М.А. Перспективные конструкции топливных насосов для воздушных и морских судов. Материалы девятой Международной научной конференции «ГТС-17». Кубанский государственный технологический университет, Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени А.К. Серова; под общей редакцией Б.Х. Гайтова.– 2017.– С. 20-27.

**References**

1. Gajewski, Jakub Verification of the technical equipment degradation method using a hybrid reinforcement learning trees-artificial neural network system // Tribology international. 2021. Volume 153; pp 67-72.
2. Raptodimos, Yiannis Application of NARX neural network for predicting marine engine performance parameters // Ships and offshore structures. 2020. Volume 15: Number 4; pp 443-452.
3. Wang, Y.S. An engine-fault-diagnosis system based on sound intensity analysis and wavelet packet pre-processing neural network // Engineering applications of artificial intelligence. 2020. Volume 94, pp 45-54.
4. Fusion of neural networks, fuzzy systems and genetic algorithms: industrial applications / edited by Lakhmi C. Jain, N.M. Martin. Boca Raton: CRC Press, 2020. 398 p.
5. Sun, Liang et al. Artificial neural network-based performance modeling of a diesel engine within the

- whole operating region considering dynamic conditions // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D. Journal of automobile engineering. 2019. Volume 233: Number 11; pp 2970-2984.
6. Epihin A.I., Kondrat'ev S.I., Hekert E.V. Prognozirovanie mnogomernyh nestacionarnyh vremennyh ryadov s ispol'zovaniem nejromodelirovaniya // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 4-4 (50). S. 23-27.
  7. Epihin A.I., Kondrat'ev S.I., Hekert E.V. Prognozirovanie mnogomernyh nestacionarnyh vremennyh ryadov s ispol'zovaniem nejromodelirovaniya // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 4-4 (50). S. 23-27.
  8. Kondrat'ev S.I. Formirovanie professional'noj kompetencii v processe trenazhernoj podgotovki - faktor obespecheniya bezopasnosti sudovozhdeniya [Tekst] / S.I.Kondrat'ev, N.B. Hmeleva // Theoretical & Applied Science. 2014. № 12 (20). S. 16-21.
  9. Kondrat'ev S.I. Obespechenie bezopasnosti plavaniya transportnyh sudov v portu pri manevrirovanii v operacionnoj akvatorii prichala [Tekst] / S.I. Kondrat'ev, V.V. Ustinov // Transportnoe delo Rossii. 2012. № 6-2. S. 196-197
  10. Epihin A.I., Hekert E.V., Karakaev A.B., Modina M.A. Osobennosti postroeniya prognosticheskoy nejro-fazzi seti // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 4-4 (50). S. 13-17.
  11. Epihin A.I., Hekert E.V., Modina M.A. Principy nejroupravleniya i varianty arhitektury nejronnyh setej, primenitel'no k slozhnoj dinamicheskoy sisteme SEU-SUDNO // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 4-4 (50). S. 18-22.
  12. Epihin A.I., Kondrat'ev S.I., Hekert E.V. Prognozirovanie mnogomernyh nestacionarnyh vremennyh ryadov s ispol'zovaniem nejromodelirovaniya // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2020. № 4-4 (50). S. 23-27.
  13. Pechnikov A.N., Hekert E.V. Ergonomicheskij podhod k ocenivaniyu deyatel'nosti sudovyh specialistov: eksperimental'naya aprobaciya predlozhennyh modelej i procedur // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2019. № 4-3 (46). S. 104-110.
  14. Pechnikov A.N., Hekert E.V., Savel'ev V.G., Aderihin I.V. Ergonomicheskij podhod k ocenivaniyu deyatel'nosti sudovyh specialistov: modeli transformacii dejstviya v processe ego osvoeniya i procedura ih prakticheskogo primeneniya // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2019. № 1-2 (43). S. 104-111.
  15. Modina M.A., SHkoda V.V. Tekhnologii izgotovleniya magnitoprovodov aksial'nyh generatorov i transformatorov dlya morskikh i vozdušnyh sudov // Materialy devyatoj Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «TTS-17». Kubanskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet, Krasnodarskoe vysshee voennoe aviacionnoe uchilishche letchikov imeni A.K. Serova; pod obshchej redakciej B.H. Gajtova. 2017. S. 27-31.
  16. Timchenko T.N., SHtefan B.A. Perestrojka toplivnoj sistemy sudov v svyazi s vstupleniem v silu novyh trebovanij MARPOL. - Ezhekvartal'nyj sbornik nauchnyh statej «Ekspluatatsiya morskogo transporta» №4 (93), 2019.
  17. SHkoda V.V., Modina M.A. Perspektivnye konstrukcii toplivnyh nasosov dlya vozdušnyh i morskikh sudov. Materialy devyatoj Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «TTS-17». Kubanskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet, Krasnodarskoe vysshee voennoe aviacionnoe uchilishche letchikov imeni A.K. Serova; pod obshchej redakciej B.H. Gajtova. 2017. S. 20-27.

УДК 629.12

DOI: 10.34046/aumsuomt98/10

## СТАБИЛИЗАЦИОННАЯ ДВУХОСЕВАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА БОРТУ СУДНА ПОСРЕДСТВОМ 3D-ПЕЧАТИ

*В.В. Заслонов, мл. научный сотрудник НИЛ*

Аддитивные технологии, применяемые на современном морском флоте для изготовления запасных частей, дают возможность добиться значительных результатов в оптимизации процесса эксплуатации и ремонта судового оборудования. Сейчас на 3D-принтерах печатаются небольшие детали, прототипы, выполняется ремонт деталей. Неисправную деталь можно напечатать прямо на борту судна, что сокращает логистическую цепочку, позволяет уменьшить расходы и время ремонта. В статье представлено описание стабилизированной двухосевой платформы для 3D-принтера, построенной на базе микроконтроллерного устройства, четырех сервоприводов и датчика гироскопа с акселерометром. Предлагаемая структура платформы позволяет обеспечить удержание печатающей установки в одном горизонтальном положении относительно нулевых углов крена и дифферента судна. Установка принтера на такую платформу даст возможность производить непрерывную печать деталей или частей механизмов во время шторма или при волнении моря.

**Ключевые слова:** 3D-печать, 3D-принтер, стабилизационная платформа, морская транспортная отрасль