

Эргатическая система НУИК АПК АРМ в интегрировании искусственного интеллекта в систему управления судном



В. В. Попов,
д-р техн. наук, профессор
кафедры «Судовождение»
Государственного морского
университета имени
адм. Ф. Ф. Ушакова

В условиях современного развития морской индустрии повышение безопасности и эффективности эксплуатации судов приобретает особую значимость. Внедрение искусственного интеллекта в эргатические системы управления судном позволяет существенно улучшить мониторинг, диагностику и управление ими, снижая влияние человеческого фактора и минимизируя риски аварийных ситуаций.

Необходимость разработки и внедрения инновационных технологий, способных обеспечить высокую степень автоматизации и интеллектуального анализа данных в морской навигации, предопределяет применение нейросетей в судовождении.

Навигационно-управляющий информационный комплекс аппаратно-программной конфигурации автоматизированного рабочего места (НУИК АПК АРМ) — это сложная система, включающая в себя различные компоненты для управления и контроля судном. В ней автоматизированные рабочие места оснащены специализированным программным обеспечением и объединены в единую системно-управляющую информационно-контролирующую систему, предназначенную для управления и контроля различных процессов, с использованием научных методов и информационных технологий с целью повысить безопасность и эффективность эксплуатации судового оборудования.

Внедрение искусственного интеллекта (ИИ) позволяет системе не только собирать и обрабатывать огромные объемы информации в реальном времени, но и принимать оптимальные решения на основе предиктивного анализа и машинного обучения. Это способствует снижению человеческого фактора и минимизации рисков, связанных с ошибками оператора [1]. Однако важно помнить, что система управления движением с использованием ИИ не заменяет человека и должна рассматриваться как дополнительный инструмент для управления судном.

Эргатическая система с искусственным интеллектом улучшает взаимодействие между экипажем и автоматизированными системами управления. Интеллектуальные алгоритмы могут анализировать действия операторов, предоставлять им контекстно-зависимые подсказки и предупреждения, а также адаптироваться к индивидуальным особенностям работы каждого члена экипажа.

Внедрение ИИ в эргатическую систему также открывает новые возможности для дистанционного управления и диагностики. Операторы могут получать доступ к нужным данным через облачные платформы, что позволяет оперативно реагировать на любые изменения и принимать обоснованные решения вне зависимости от их физического местоположения. Система анализирует данные о состоянии судна и окружающей обстановке, а затем, используя алгоритмы искусственного интеллекта, принимает решения по управлению судном. Кроме того, использование ИИ позволяет системе быстро адаптироваться к изменяющимся условиям и предсказывать возможные проблемы на судне, что помогает предотвратить аварии и обеспечить безопасность плавания [2].

Систему НУИК АПК АРМ можно рассмотреть через несколько аспектов.

1. Информационный обмен: навигационно-управляющий информационный комплекс собирает данные с различных сенсоров и датчиков на судне, включая информацию о состоянии движателя, навигационные данные, метеорологические условия и другие параметры:

$$D_i(t) = S_i(t) + \eta_i(t),$$

где $S_i(t)$ — истинные данные i -го сенсора в момент времени t ;

$\eta_i(t)$ — шум или ошибка измерения.

Аппаратно-программная конфигурация обрабатывает эти данные, используя алгоритмы для анализа и прогнозирования, а также для принятия решений в реальном времени. Пусть функция обработки данных обозначается как f :

$$P_j(t) = f(D_1(t), D_2(t), \dots, D_n(t)),$$

где $P_j(t)$ — обработанные данные для j -й задачи (например, навигация, управление двигателем и т. д.) в момент времени t .

Автоматизированное рабочее место предоставляет оператору доступ к обработанным данным через удобный интерфейс, позволяя ему принимать обоснованные решения. Пусть функция отображения данных обозначается как g :

$$R_k(t) = g(P_1(t), P_2(t), \dots, P_m(t)),$$

где $R_k(t)$ — данные, представленные оператору для k -й задачи (например, визуализация на экране, отчет и т. д.) в момент времени t .

2. Обратная связь и управление: оператор на АРМ может вводить команды и корректировки на основе полученной информации:

$$C_l(t) = h(R_1(t), R_2(t), \dots, R_p(t)),$$

где $C_l(t)$ — команда оператора для l -й задачи в момент времени t .

Эти команды передаются в АПК, который интерпретирует их и выполняет соответствующие действия:

$$A_m(t) = k(C_1(t), C_2(t), \dots, C_q(t)),$$

где $A_m(t)$ — действие, выполненное АПК для m -й задачи в момент времени t .

Навигационно-управляющий информационный комплекс контролирует выполнение команд и обеспечивает обратную связь:

$$F_n(t) = l(A_1(t), A_2(t), \dots, A_r(t)) + \tau_n(t),$$

где $F_n(t)$ — обратная связь о текущем состоянии систем для n -й задачи в момент времени t ;

$\tau_n(t)$ — шум или ошибка измерения.

Передача обратной связи от НУИК к АРМ [3]:

$$\{F_1(t), F_2(t), \dots, F_s(t)\} \rightarrow APM.$$

Проблемы и вызовы

1. Интеграция систем: взаимодействие сенсоров различных производителей может потребовать создания дополнительных интерфейсов или использования шлюзов данных.

2. Технические сложности: интеграция различных систем и компонентов требует высокой степени совместимости и надежности. Любой сбой в одном из компонентов может повлиять на всю систему. Также необходимо постоянное обновление программного обеспечения и оборудования для поддержания актуальности и безопасности системы.

3. Человеческий фактор: несмотря на высокий уровень автоматизации, он остается критическим. Операторы должны быть хорошо обучены для работы с комплексными системами.

4. Проблема кибербезопасности: уязвимость в программном обеспечении АПК может быть использована злоумышленниками для получения контроля над судном. Также остается возможность ошибок оператора при интерпретации данных или принятии решений [4].

Взаимодействие компонентов НУИК, АПК и АРМ является ключевым элементом для обеспечения эффективного управления судном. Синергетический эффект позволяет оптимизировать процессы навигации, мониторинга технического состояния и обеспечения безопасности. Однако для достижения максимальной эффективности необходимо учитывать технические сложности и человеческий фактор, обеспечивая постоянное обучение операторов и обновление систем.

Эргатическая система представляет собой совокупность человека и машины, работающих в едином комплексе для достижения общей цели. В контексте интеграции искусственного интеллекта в систему управления судном эргатическая система включает взаимодействие между экипажем и интеллектуальными системами. Основные компоненты эргатической системы в таком случае:

1. Человеческий фактор (экипаж): капитан и вахтенные, технический персонал, операторы систем управления.

2. Машинный фактор (ИИ и автоматизированные системы): системы навигации и управления маршрутом, мониторинга технического состояния, аварийного реагирования, принятия решений на основе данных.

Интеграция искусственного интеллекта в систему управления судном в рамках эргатической системы позволяет создать комплексное решение, объединяющее возможности человека и машины. Это обеспечивает повышение безопасности, эффективности и надежности управления судном за счет оптимизации взаимодействия экипажа и интеллектуальных систем [5].

Описание математической модели

Для создания математической модели взаимодействия между экипажем судна и интеллектуальными системами рассмотрим основные компоненты процесса и параметры: $H(t)$ — состояние экипажа (степень усталости, уровень знаний, текущая нагрузка и др.); $M(t)$ — состояние интеллектуальной системы (уровень доверия к решениям ИИ, точность прогнозов, состояние датчиков и др.); $u_H(t)$ — управляющее воздействие со стороны экипажа; $u_M(t)$ — управляющее воздействие со стороны интеллектуальной системы; t — время.

Взаимодействие между ними можно описать с помощью дифференциальных уравнений:

- Динамика состояния экипажа. Зависит от текущего состояния, воздействия со стороны ИИ и внешних факторов:

$$dH(t)/dt = f_H(H(t), M(t), u_H(t), u_M(t), t).$$

- Динамика состояния интеллектуальной системы. Зависит от текущего состояния, воздействия со стороны экипажа и внешних факторов:

$$dM(t)/dt = f_M(H(t), M(t), u_H(t), u_M(t), t).$$

Для оптимизации взаимодействия между экипажем и ИИ вводим функцию затрат J , которая учитывает различные аспекты безопасности, эффективности и комфорта:

$$J = \int_{t_0}^{t_f} L(H(t), M(t), u_H(t), u_M(t), t) dt.$$

Цель состоит в минимизации этой функции затрат:

$$\min_{u_H(t), u_M(t)} J.$$

Функция затрат может включать следующие компоненты:

$C_{\text{безопасность}}(H(t), M(t))$: затраты на обеспечение безопасности;

$C_{\text{эффективность}}(H(t), M(t))$: затраты на обеспечение эффективности;

$C_{\text{комфорт}}(H(t), M(t))$: затраты на обеспечение комфорта.

Тогда функция затрат может быть записана как:

$$L(H(t), M(t), u_H(t), u_M(t), t) = \\ = C_{\text{безопасность}}(H(t), M(t)) + \\ + C_{\text{эффективность}}(H(t), M(t)) + \\ + C_{\text{комфорт}}(H(t), M(t)).$$

Для принятия решений в эргатической системе можно использовать методы теории игр, где экипаж и ИИ рассматриваются как игроки:

$$\max_{u_H} \min_{u_M} U(H(t), M(t), u_H, u_M),$$

где U — функция выигрыша, зависящая от состояния системы и управляющих воздействий [6].

Взаимодействие человека и машины описываем следующим образом. Пусть $H(t)$ — состояние человека (экипажа), а $M(t)$ — состояние машины (ИИ):

$$H(t) = f_H(H(t), M(t), t) \\ = f_M(H(t), M(t), t),$$

где f_H и f_M — функции, описывающие динамику взаимодействия человека и машины.

Для решения задачи оптимизации используем методы вариационного исчисления, или численные методы, как метод градиентного спуска, или метод Ньютона.

Исследуем упрощенный расчет численного решения задачи оптимизации:

$$f_H(H, M, u_H, u_M, t) = -aH + bM + c_{1u_H} + d_{1u_M}; \\ f_M(H, M, u_H, u_M, t) = -eM + fH + c_{2u_H} + d_{2u_M},$$

где $a, b, c_1, d_1, e, f, c_2, d_2$ — константы.

Тогда система дифференциальных уравнений принимает вид:

$$dH/dt = -aH + bM + c_{1u_H} + d_{1u_M}; \\ dM/dt = -eM + fH + c_{2u_H} + d_{2u_M}.$$

Для минимизации функции затрат J используем метод градиентного спуска. Задаем начальные значения $H(0)=H_0$ и $M(0)=M_0$. Вычисляем градиенты функции затрат по управляющим воздействиям u_H и u_M . Обновляем значения управляющих воздействий и повторяем до достижения сходимости [7]:

$$u_H^{new} = u_H - \eta \partial J / \partial u_H; \\ u_M^{new} = u_M - \eta \partial J / \partial u_M.$$

Модель описывает взаимодействие между экипажем судна и интеллектуальными системами в эргатической системе с использованием дифференциальных уравнений и методов оптимизации. Она позволяет учитывать различные аспекты взаимодействия и принимать опти-

мальные решения человеческого фактора и искусственного интеллекта для повышения безопасности и эффективности управления судном.

С целью определения оптимального маршрута искусственный интеллект обеспечивает обработку большого объема информации и прогнозирует возможные изменения для минимизирования времени в пути, затрат на топливо и другие ресурсы. Такая система способствует повышению эффективности транспортных операций и улучшению общей логистики.

Основные компоненты модели:

1. Координаты:

$$\text{позиция судна: } P(t) = (x(t), y(t)); \\ \text{конечная цель: } P_{\text{target}} = (x_{\text{target}}, y_{\text{target}}).$$

2. Параметры судна: скорость $v(t)$; направление $\theta(t)$.

3. Внешние условия: ветер $W(t)=(W_{x(t)}, W_{y(t)})$; течения $C(t)=(C_{x(t)}, C_{y(t)})$; волны и другие погодные условия.

4. Ограничения: по глубине $D(x, y) \geq D_{\text{min}}$; запретные зоны (если точка запрещена для прохода).

Целевая функция может включать минимизацию времени пути, расхода топлива или комбинацию этих факторов: $J = \int_{t_0}^t (\alpha_1 v(t) + \alpha_2 F(v(t), \theta(t)) + \alpha_3 Z(x(t), y(t))) dt$, где $F(v, \theta)$ — функция расхода топлива; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ — весовые коэффициенты.

Уравнения движения судна могут быть представлены как система дифференциальных уравнений:

$$dx/dt = v(t) \cos(\theta(t)) + W_x(t) + C_x(t); \\ dy/dt = v(t) \sin(\theta(t)) + W_y(t) + C_y(t).$$

Задача оптимизации заключается в нахождении таких функций $v(t)$ и $\theta(t)$ которые минимизируют целевую функцию J . Для решения данной задачи можно использовать методы машинного обучения и оптимизационные алгоритмы.

1. Генетические алгоритмы: для поиска глобального минимума целевой функции. Инициализация популяции: создаем начальную популяцию возможных маршрутов. Каждый маршрут представляет собой последовательность точек пути:

$$((x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)).$$

Оценка приспособленности: вычисляем значение целевой функции J для каждого маршрута. Это может включать время пути, расход топлива и избегание запретных зон.

Селекция: выбираем лучшие маршруты на основе их приспособленности для создания нового. Методы селекции могут

включать турнирную селекцию, рулетку и ранговую селекцию.

2. Глубокое обучение: для прогнозирования погодных условий и морских течений. Создание модели глубокого обучения:

```
def create_model(input_shape):
    model = Sequential()
    model.add(LSTM(64, input_shape =
    input_shape, return_sequences = True))
    model.add(LSTM(64))
    model.add(Dense(2))
    # Два выхода: широта и долгота
    model.compile(optimizer =
    Adam(), loss = 'mse')
    return model
```

Обучение модели:

```
X_train, y_train = generate_data(1000)
model = create_model
((X_train.shape[1], X_train.shape[2])).
model.fit(X_train, y_train,
    epochs = 50, batch_size = 32)
```

Использование модели для предсказания маршрута:

```
X_test = np.random.rand(1, 10)
predicted_route = model.predict(X_test)
print("Predicted route:", predicted_route)
...
```

Этот код представляет собой упрощенный пример использования LSTM для предсказания координат маршрута на основе входных данных. В реальной системе потребуется более сложная архитектура и обработка данных.

3. Реинфорсмент-лёрнинг (RL – reinforcement learning): для адаптивного управления маршрутом в реальном времени, как метод обучения агента через взаимодействие со средой, где агент принимает действия, получает вознаграждения и обновляет свою стратегию на основе полученных данных. В контексте адаптивного управления маршрутом судна в реальном времени математическая модель RL может быть описана следующим образом.

1. Функция вознаграждения R_t может быть определена как:

$$R_t = R(s_t, a_t),$$

где s_t — текущее состояние;
 a_t — текущее действие.

2. Функция ценности $V(s)$ обновляется по формуле Беллмана:

$$V(s) = C[R_{t+1} + \gamma V(s_{t+1}) | s_t = s],$$

где γ — коэффициент дисконтирования (обычно), который определяет важность будущих вознаграждений.



3. Функция ценности действия $Q(s, a)$ обновляется по формуле

$$Q(s_t, a_t) = Q(s_t, a_t) + \alpha [R_t + 1 + \gamma \max_{a'} Q(s_{t+1}, a') - Q(s_t, a_t)],$$

где α — коэффициент обучения (learning rate), определяющий скорость обновления.

Политика $\pi(a | s)$ определяет вероятность выбора действия a в состоянии s :

$$\pi(a | s) = P(a_t = a | s_t = s).$$

Для выбора действий используем метод ϵ -жадной стратегии (ϵ -greedy):

$$a_t = \text{random action} \& \text{ с вероятностью } (\tau) \\ \max_a Q(s_t, a) \& \text{ с вероятностью } (1 - \tau).$$

Алгоритм Q-learning для адаптивного управления маршрутом судна: инициализируем $Q(s, a)$ произвольными значениями для всех пар (s, a) . Задаем параметры α, γ, τ . Для каждого эпизода инициализируем состояние s_0 .

Пока состояние не является терминальным, выбираем действие a_t , используя ϵ -жадную стратегию; выполняем действие a_t , получаем новое состояние s_{t+1} и вознаграждение R_{t+1} .

Обновляем значение функции ценности действия:

$$Q(s_t, a_t) = Q(s_t, a_t) + \alpha [R_t + 1 + \gamma \max_{a'} Q(s_{t+1}, a') - Q(s_t, a_t)].$$

Переходим в новое состояние s_{t+1} . Определяем оптимальную политику на

основе обученной функции $Q(s, a)$:

$$\pi^*(s) = \max_a Q(s, a).$$

В случае управления маршрутом судна: состояние S_t , т. е. координаты судна, скорость, направление, погодные условия и пр. Действие A : изменение курса и/или скорости. Вознаграждение R : может включать компоненты безопасности (избегание опасных зон), экономии топлива и времени пути.

Таким образом, используя описанную математическую модель и алгоритмы RL, можно создать адаптивную систему управления маршрутом судна в реальном времени.

Использование методов машинного обучения и оптимизационных алгоритмов позволяет создать более точную и адаптивную модель для определения оптимального маршрута судна в рамках эргатической системы НУИК АПК АРМ и искусственного интеллекта.

Преимущества эргатической системы НУИК АПК АРМ в сравнении с экспертом-человеком

Эргатическая система НУИК АПК АРМ позволяет автоматизировать множество производственных процессов, что ведет к сокращению издержек, ускорению производства и повышению качества продукции. Ее основные преимущества:

- значительное повышение эффективности и скорости выполнения задач в научно-исследовательской и технологической сферах;

- улучшение качества принимаемых решений, благодаря чему можно анализировать данные с использованием современных методов, что повышает точность и достоверность результатов;

- создание автоматизированных систем обработки данных и управления производственными процессами, что снижает затраты на трудовые ресурсы и уменьшает риски ошибок;

- ускорение принятия решений на основе реальных данных и аналитических выводов.

Преимущества экспертных систем по сравнению с использованием опытных специалистов:

- достигнутая компетентность не утрачивается, может документироваться, передаваться, воспроизводиться и наращиваться;

- обеспечиваются более устойчивые результаты, исключаются эмоциональные и другие факторы человеческой неадекватности;

- происходит оптимизация использования таких ресурсов, как сырье, энергия, транспортные средства и т. д., что способствует сокращению затрат;

- растет производительность труда, сокращается время на прием за-

казов, изготовление продукции и выполнение других производственных задач;

- снижается риск ошибок и потерь в производстве;
- растет конкурентоспособность компании на рынке;
- анализ большого количества новых факторов и оценка их при разработке стратегий добавляет возможности прогнозирования.

В то же время искусственная компетентность экспертных систем не может полностью заменить человека. Эксперт-человек способен реорганизовывать информацию и знания, а также использовать их для создания новых знаний.

В сфере творческой деятельности люди обладают большими способностями и возможностями по сравнению с самыми умными системами. Эксперты справляются с неожиданными ситуациями и, применяя новые подходы, могут проводить аналогии из других областей знаний. Они адаптируются к изменяющимся условиям и приспособляют свои стратегии к новым обстоятельствам в более широком диапазоне проблем и задач.

Экспертные системы менее приспособлены к обучению на уровне новых концепций и правил, и поэтому оказываются менее эффективными в случаях, когда необходимо учитывать всю сложность реальных задач. Эксперты могут непосредственно воспринимать весь комплекс входной информации: символьной, визуальной, графической, текстовой, звуковой, осязательной и обонятельной. У экспертной системы есть только символы, с помощью которых представлены базы знаний, воплощающие те или иные концепции. Преобразование сенсорной информации в символьную сопровождается потерей части информации. Но главное — огромный объем профессиональных и общих знаний, которым обладают эксперты-специалисты, пока не удастся встроить в интеллектуальную систему, особенно специализированную.

Тем не менее для сравнения работы экспертной системы и человека можно рассмотреть несколько ключевых аспектов:

1. Точность. Человеческий эксперт: ошибка E_h . Ошибки, связанные с человеческим фактором, могут быть выражены как случайная величина с определенным средним значением и стандартным отклонением.

Пусть $T_h \sim N(\mu_h, \sigma_h^2)$,

где μ_h — средняя ошибка;
 σ_h — стандартное отклонение.

Экспертная система: ошибка E_{es} . Ошибки экспертной системы также могут быть выражены как случайная величина, но с меньшим средним значением и стандартным отклонением из-за высокой точности алгоритмов.

Пусть $E_{es} \sim N(\mu_{es}, \sigma_{es}^2)$,

где $\mu_{es} < \mu_h$ и $\sigma_{es} < \sigma_h$.

2. Скорость принятия решений. Человек: время принятия решения T_h может быть выражено как случайная величина с определенным средним значением и стандартным отклонением:

$T_h \sim N(\mu_{T_h}, \sigma_{T_h}^2)$. Экспертная система: время принятия решения T_{es} обычно значительно меньше:

$\mu_{T_{es}} < \mu_{T_h}$ и $\sigma_{T_{es}} < \sigma_{T_h}$.

3. Надежность. Человек: надежность $R_h(t)$ может уменьшаться со временем из-за усталости или других факторов.

Пусть $R_h(t) = e^{-\lambda_h t}$, где λ_h — коэффициент надежности.

Экспертная система: надежность $R_{es}(t)$ может быть выше и стабильнее благодаря автоматизации и отсутствию человеческого фактора.

4. Масштабируемость. Человек: количество задач N_h . Эксперт ограничен в количестве задач, которые он может выполнять одновременно — $N_h \max$.

Экспертная система: количество задач N_{es} . Система обрабатывает большое количество задач параллельно благодаря многозадачности и распределенным вычислениям. Максимальное количество задач, которое выполняет система, равно $N_{es} \max > N_h \max$. Эти преимущества делают экспертную систему более эффективной в сравнении с экспертом-человеком в условиях сложных и динамичных задач управления судном [8].

Заключение

Эргатическая система НУИК АПК АРМ играет ключевую роль в интеграции искусственного интеллекта в систему управления судном. Она способствует оптимизации работы судового персонала и повышению эффективности управления, что обеспечивает безопасное и эффективное движение судна. Использование эргатической системы совместно с искусственным интеллект-

том позволяет получать более точные данные и управлять судном на более высоком уровне.

Навигационно-управляющий информационный комплекс аппаратно-программной конфигурации автоматизированного рабочего места является лишь одной из возможных систем для интеграции искусственного интеллекта в систему управления судном. При этом необходимо не только разработать и внедрить соответствующую систему, но и провести обучение и подготовку персонала. Только в этом случае можно добиться наилучших результатов и воспользоваться всеми преимуществами, которые предоставляет интеграция искусственного интеллекта в систему управления судном. ■

Источники

1. Тырва В. О. Моделирование действий и ответных реакций эргатической системы с электромеханическим объектом управления // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2020. Т. 12. № 1. С. 189–201.
2. Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. М.: Наука, 2006. 333 с.
3. Попов А. Н., Овчаренко И. М., Диденко О. В. Отдельные вопросы применения элементов искусственного интеллекта в создании АПК АРМ оператора НУИК судовой вахты в малоэкипажном судовождении в концепции е-Навигации // Транспортное дело России. 2018. № 6 (139). С. 249–251.
4. Попов А. Н. Гаращенко М. А., Боран-Кешишьян А. Л., Попов В. В. Человеческий фактор в работе морских управляющих систем // Транспортное дело России. 2017. № 5 (132). С. 186–196.
5. Ющенко А. С. Человек и робот — совместимость и взаимодействие // Робототехника и техническая кибернетика. 2014. № 1 (2).
6. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н. Системы автоматического управления движением судна. О.: Феникс; М.: ТрансЛит, 2007. 376 с.
7. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы 2-е изд. М.: Горячая линия-Телеком, 2008. 452 с.
8. Зуров Е. В. Принципы автоматизированного программного комплекса построения экспертных систем // Компьютерные и информационные науки. 2007. № 1.