

МЕТОД ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОРАБЕЛЬНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

Е.А. Макаров, Е.А. Бубнов (Санкт-Петербург)

Введение

Современные объекты морской техники (ОМТ) представляют собой сложные эргатические системы, которые состоят из множества объектов управления (ОУ), управляющих систем (УС) и экипажа, функционирующие в агрессивной и непостоянной среде.

Корабельные СУ ТС относятся к классу человеко-машинных (ЧМ) систем и включают в себя три основных компонента: объект управления (ОУ), управляющую систему (УС), человека-оператора (рис. 1). Оператор при этом является *обязательным и неотъемлемым компонентом* системы управления ТС, так как он реализует весь комплекс управленческих мероприятий, включая приготовление, ввод в действие, задание, контроль режимов функционирования, вывод из действия ОУ.



Рис. 1. Обобщённая структура человеко-машинной системы управления

Эксплуатация корабельных ТС сопровождается жёсткими ресурсными и временными ограничениями. Качественные и количественные характеристики задач, решаемых оператором, приближаются к своим критическим значениям.

Эволюции систем управления (СУ) ТС ОМТ 1 – 4 поколений способствовали такие факторы, как внедрение цифровой вычислительной техники и сетевых технологий, закономерный рост уровня автоматизации, объединение отдельных ТС в функциональные комплексы ТС, а также внедрение компьютерных УС предусматривающих диалоговый режим человеко-машинного взаимодействия.

Приведенные факторы обусловили экспоненциальный рост сложности ОУ и УС, степени автоматизации УС, увеличение объемов обрабатываемой операторами СУ ТС информации. В результате такого развития возникает общее *противоречие* между *экспоненциальным ростом сложности СУ ТС* и *фиксированными ограничениями возможностей человека-оператора*, так как темп эволюции человека значительно ниже

темпа развития технических средств. Без решения проблемы совершенствования подходов к созданию надежных ЧМ СУ дальнейшее повышение боевой эффективности кораблей будет заблокировано «узким местом» человеко-машинного взаимодействия, что делает данное направление научно-технического развития особо значимым для эффективности обороны страны.

Анализ проектных документов ОМТ показал кардинальное изменение облика СУ ТС [1]:

1. Общая площадь панелей управления сократилась в шесть раз, при этом совокупное количество визуальных средств отображения информации и органов управления увеличилось в шесть раз.

2. Количество контролируемых параметров увеличивается в среднем в 1,5 раза от поколения к поколению, при этом плотность информации на панелях увеличивается в два раза за одно поколение.

3. Типовой комплексной информационной единицей стал видеокадр, причем в некоторых системах их количество превышает 200 единиц.

4. Относительная простота в реализации различных форм отображения информации на экране СОИ приводят к тому, что разработчики системы часто произвольно насыщают видеокадр избыточной информацией, среди которой необходимо произвести поиск приоритетных сигналов.

5. Вызов для просмотра видеокадра требует первичного восприятия, осмысления и анализа правильности функционирования ОУ. Это требует от оператора способности к глубокому анализу разнородной информации и формированию обобщенной концептуальной модели ОУ по фрагментарным данным отдельных видеокадров.

6. Внедрение компьютерных СУ изменило характер представления информации и потребовало наличия у операторов дополнительных навыков оперативного принятия решений на основе анализа разнородной информации о состоянии нескольких ОУ, запоминания, распознавания и комплексного анализа режимов функционирования ОУ.

7. Тенденция уменьшения численности экипажей с одновременным усложнением техники приводит к увеличению количества ОУ и технологических процессов на одного оператора.

8. Увеличился объем обрабатываемой информации, уменьшилось количество моторных управляющих операций одновременно с увеличением доли интеллектуальных операций, внедрение вычислительной техники привело к исключению из числа инструментов оператора ограниченного набора ОУ и индикаторов, а также статичной «рисованной» мнемосхемы.

9. Основным инструментом деятельности стал человеко-машинный интерфейс (ЧМИ), а оператор вынужден формировать обобщенную концептуальную модель ОУ.

Процесс создания систем управления начиная с первых поколений ОМТ не претерпел существенных изменений и не учитывает указанные объективные особенности, такие как противоречие между сложностью и возможностями человека. Как и раньше, он включает в себя в виде отдельных самостоятельных процессов: проектирование ОУ, разработку УС с учётом (по возможности) свойств и возможностей человека-оператора. В настоящее время данная задача решается в рамках эргономического обеспечения¹, основное содержание которого заключается в формальном, в соответствии с руководящими документами, обосновании эргономических требований к УС и последующем контроле их реализации. При этом во многих организациях эргономическое обеспечение часто выполняется практически автономно и не интегрировано в общий процесс проектирования СУ ТС.

¹ ГОСТ РВ 0029-00.002-2018 – ССЭТЭО. Основные положения.

Такой подход несостоятелен по следующим причинам:

1. Длительность этапов разработки УС приводит к большим временным интервалам между точками контроля выполнения эргономических требований, что определяет большое количество доработок по их результатам.

2. Большой объем эргономических требований, которые необходимо реализовать при разработке технических решений, трудоёмкость реализации замечаний к эксплуатационным и эргономическим характеристикам на стадии готового проекта СУ.

3. Большое число групп разработчиков или организаций-соисполнителей подсистем СУ ТС и одновременное отсутствие единого подхода к разработке функционального программного обеспечения (ПО), алгоритмического и информационного обеспечений.

4. Система разработки и постановки на производство изделий военной техники не учитывает в полной мере процесс разработки ПО, что приводит к неопределённости в организации и планировании работ по созданию УС, разработка ПО часто проходит на этапе изготовления образца и сопровождается многочисленными итерационными доработками.

Основным отрицательным результатом указанных обстоятельств является снижение качества деятельности оператора, что определяет снижение качества эксплуатации ОУ и надежности ЧМ СУ в целом.

Таким образом, указанные противоречия обусловили актуальность решения данных проблем и определили научную задачу проведенного исследования – разработку метода объектно-ориентированного проектирования ЧМИ СУ корабельными ТС (далее – МООП ЧМИ).

Назначение и особенности МООП ЧМИ СУ ТС

Цель МООП ЧМИ заключается в системном формировании алгоритмов работы оператора по решению типовых управленческих задач (ТУЗ) на основе принципов функционирования ОУ с последующим определением состава, вида, формы человеко-машинного интерфейса (ЧМИ).

При применении МООП ЧМИ последовательно решаются следующие задачи:

1. Определение перечня задач оператора.
2. Разработка детализированных алгоритмов деятельности.
3. Разработка информационной модели ОУ.
4. Разработка проекта ЧМИ.

Объектно-ориентированный характер метода определяется представлением человеко-машинного взаимодействия в виде совокупности комплексных информационных объектов-сущностей:

- частных типовых управленческих задач, имеющих определенные информационные атрибуты, наследуемые классом ТУЗ;
- интеллектуальные (ментальные) информационные модели ОУ и его ТС, являющихся моделью реальных ОУ;
- типовые комплексные единицы информации (видеокадры).

Концепция объектно-ориентированного подхода заимствована из парадигмы объектно-ориентированного анализа и программирования [2], где используется подход, ориентированный на разработку комплексных информационных объектов, обладающих определенными свойствами и атрибутами. Инфологические модели объектов проектирования обеспечивают логичную формализацию результатов разработки и агрегирование разнотипной информации об ОУ, ТУЗ, отображаемых на видеокадре ЧМИ.

Преимущество данного подхода обусловлено:

- объектно-ориентированным анализом для отождествления важных объектов-сущностей с последующей формализацией результатов разработки;
- необходимостью агрегирования нужной разнородной информации относительно ключевых объектов-сущностей;

- системным подходом к формированию человеко-машинного взаимодействия за счет представления ключевых объектов проектирования в виде инфологических моделей;
- наследованием информационных атрибутов в контуре «ОУ → информационная модель ОУ → концептуальная модель ОУ → алгоритм решения ТУЗ → ОУ», что позволяет создавать пертинентные информационные модели (ИМ) ОУ, т. е. соответствующие информационным потребностям оператора.

Основные понятия и исходные данные

1. Деятельность оператора СУ ТС. Содержательная составляющая деятельности оператора – решение типовых задач управления (ТУЗ). ТУЗ – периодически повторяющаяся проблемная эксплуатационная ситуация с явно определенной целью, связанной с функционированием корабельного ОУ [3]. Возникновение и потребность решения управленческой задачи определяется несоответствием текущего режима функционирования ОУ целевому (требуемому). Понятия ТУЗ включает в себя содержание ТУЗ и её характеристики. Содержание определяет характер, цель и способ воздействия на ОУ, характеристики раскрывают внутренние свойства и параметры ТУЗ. При наличии или задании характеристик ТУЗ становится конкретной управленческой задачей. Деятельность оператора при этом рассматривается как интеллектуально-технологический процесс решения им типовых управленческих задач (ТУЗ), т. е. задач поддержания установленного режима функционирования ОУ (ТУЗ 1 класса), перевода его в новый заданный режим R_{гзад} (ТУЗ 2 класса), распознавания особых состояний и перевода объекта управления в безопасное состояние R_{гбзп} (ТУЗ 3 класса) [3].

2. Типовые состояния ОУ

В процессе эксплуатации (использования по прямому назначению) различают нормальные состояния корабельных ОУ и их особые (ненормальные) состояния [3]: нормальные состояния – режимы функционирования, особые состояния – аномальное состояние, предаварийное, аварийное, авария. Нормальному состоянию ОУ соответствует его нахождение в одном из m установленных режимов функционирования $\{R_{g1}, R_{g2}, \dots, R_{gm}\}$. Перечень режимов функционирования определяет разработчик ОУ в соответствии с его назначением, выполняемыми функциями и решаемыми задачами.

3. Исходные данные для проектирования ЧМИ СУ ТС состоят из четырёх групп.

Группа 1. Исходные данные, необходимые для определения общей структуры алгоритма деятельности оператора СУ ТС.

1. Множество m режимов функционирования ОУ R_g

$$R_g = \{R_{g1}, R_{g2}, \dots, R_{gj}\} \mid j = 1 \dots m, m \in \mathbb{N}, \quad (1)$$

где m – количество режимов функционирования.

2. Векторы функциональных состояний технологических систем, технических средств и арматуры, определяющих каждый режим функционирования R_{gj}

$$R_{gj} = LF_j \wedge A_j \wedge tm, \quad (2)$$

где LF_j – логическая функция состояния технологических систем, ТС и арматуры, определяющих j -й режим функционирования; A_j – логическая функция диапазонов значений технологических параметров в режиме j ; tm – логическая функция состояний ТС и арматуры, которые не зависят от режима функционирования и не изменяются в период использования ОУ по назначению (например, состояния ручной арматуры).

3. Значения – уставки A_{OCj} , определяющие переход объектов управления в особые состояния: предаварийное (ПС) или аварийное (АС) в случае использования допускового контроля [3]:

$$A_{OCj} = \{A_{ПСj}, A_{АСj}\}. \quad (3)$$

Группа 2. Исходные данные – алгоритмы решения типовых управленческих задач, определяемые физическими принципами функционирования ОУ.

1. Вектор управляющих воздействий Z на объект управления для перевода его из текущего режима функционирования Rg в новый заданный $Rg_{\text{зад}}$

$$Z: [Rg \rightarrow Rg_{\text{зад}}]. \quad (4)$$

Группа 3. Качественные и количественные нормативные значения и требования к антропометрическим (антр), психическим (пс), психофизиологическим (пф) и квалификационным (кв) факторам:

$$H = \{H_{\text{антр}}, H_{\text{пс}}, H_{\text{пф}}, H_{\text{кв}}\}. \quad (5)$$

Группа 4. Множество типовых действий оператора P :

$$P = \{P_{\text{прц}}, P_{\text{кгн}}, P_{\text{лог}}, P_{\text{диал}}, P_{\text{ком}}\}, \quad (6)$$

состоящее из следующих элементарных операций: перцептивных $P_{\text{прц}}$, когнитивных $P_{\text{кгн}}$, логических $P_{\text{лог}}$, диалоговых $P_{\text{диал}}$, коммуникативных $P_{\text{ком}}$.

4. Информационная модель ОУ – система упорядоченных по определённым правилам сигналов, генерируемых средствами отображения информации и несущих информацию об объекте управления, внешней среде и системе управления:

$$\text{InfMod}_{Z_i} = \{\text{Act}, \text{Ind}, \text{Sup}\}, \quad (7)$$

где Act – множество отображаемых органов управления для выполнения ТУЗ Z_i , Ind – множество средств отображения контролируемых параметров и состояния ТС, Sup – множество актов информационной поддержки.

5. Информационная маска ТУЗ – логическая функция, определяющая состав представляемой информации, необходимой оператору для успешного разрешения ТУЗ.

$$M_{Z_i} = \{\text{Inf}(Rg_i), \text{Inf}(Rg_{\text{зад}}), \text{Inf}(\text{Sup})\}, \quad (8)$$

где $\text{Inf}(Rg_i)$, $\text{Inf}(Rg_{\text{зад}})$ – функции, возвращающие перечень состояний технологических систем, ТС и аппаратуры, определяющих i -й текущий/заданный режим функционирования ОУ, перечень диапазонов значений технологических параметров в i -м заданном режиме функционирования, перечень и состояния ТС и аппаратуры, которые не зависят от режима функционирования; $\text{Inf}(\text{Sup})$ – функция, возвращающая перечень и состав актов ИП на основе класса решаемой ТУЗ, а также номенклатуру имеющихся ресурсов ЧМ СУ – информационных, технических, временных. Структурная схема информационной маски ТУЗ (рис. 2) содержит информационные атрибуты, необходимые оператору для выполнения технологической задачи с учетом класса ТУЗ.

6. Пертигентность ИМ – соответствие между информационной потребностью оператора и отображаемой информацией о функционировании ОУ:

$$\text{Pert}_{Z_i} = \left(\sum_{j=1}^N S_{W_j} \mid (W_j \in \text{InfMod}_{Z_i}) \right) \left(1 - \frac{n_{\text{шум}}}{n_{\text{общ}}} \right), \quad (9)$$

где S_{W_j} – нормированный весовой коэффициент значимости j -го элемента информационной маски, определенный экспертным методом;

N – размерность информационной маски ТУЗ Z_i ;

W_j – элемент информационной маски ТУЗ Z_i ;

$n_{\text{шум}}$ – количество нерелевантных элементов ИМ ОУ;

$n_{\text{общ}}$ – общее количество элементов ИМ ОУ InfMod_{Z_i} .

Структура метода

Метод имеет последовательную модульную структуру:

- 1) модуль организации деятельности оператора;
- 2) модуль разработки алгоритма деятельности оператора;
- 3) модуль разработки информационной модели ОУ;
- 4) модуль разработки проекта ЧМИ и прототипа ЧМИ.



Рис. 2. Структура информационной маски ТУЗ

Каждый этап проектирования ЧМИ в общей структуре представлен в виде практической методики разработки проектных документов. Комплекс проектных работ распределяется между проектантами корабля и разработчиками СУ.

Модуль 1. Организация деятельности оператора.

Задачей модуля является определение: множества возможных изменений режимов работы ОУ; объема функций, возлагаемых на оператора; распределения операций между оператором и программными средствами управляющей системы.

Этап 1.1. Разработка матрицы режимов функционирования.

На данном этапе разрабатывается модель (матрица) возможных переходов между режимами функционирования ОУ (рис. 3). Матрица переходов формируется на основе множества возможных состояний ОУ, включающего в себя *условные* режимы, соответствующие нахождению ОУ в особых состояниях:

$$Rg_{OU} = \{Rg_1, Rg_2, \dots, Rg_m, Rg_{АнС}, Rg_{ПС}, Rg_{АС}\} \quad (10)$$

При этом из матрицы исключаются невозможные переходы, отсутствие которых обусловлено физическими принципами функционирования ОУ.

Этап 1.2. Определение номенклатуры возможных задач по управлению ОУ.

Номенклатура задач определяется способом установления возможных переходов между текущим режимом функционирования ОУ Rg и заданным $Rg_{зад}$ режимом (см. рис. 3). Класс ТУЗ при этом присваивается следующим образом:

1. на диагонали в рамках матрицы в пределах зоны нормальных состояний обозначаются ТУЗ 1 класса;
2. в пределах зоны нормальных состояний располагаются ТУЗ 2 класса;
3. в пределах зоны особых состояний располагаются ТУЗ 3 класса.

Этап 1.3. Определение номенклатуры алгоритмов деятельности оператора.

На данном этапе производится анализ множества задач, решаемых оператором, присвоение им уникального наименования, определение способов решения ТУЗ.

Результатом выполнения первого модуля МООП ЧМИ является множество ТУЗ ZCY, включающее ТУЗ трех классов, которые подлежат дальнейшей декомпозиции на элементарные действия, выполняемые оператором и управляющей системой:

$$Z_{CY} = \{Z_1, Z_2, Z_3\} . \quad (11)$$

	Нормальные состояния (целевые)					
		Rg ₁	Rg ₂	Rg ₃	Rg _i	Rg _m
Нормальные состояния (исходные)	Rg ₁	ТУ31 ₁₁	ТУ32 ₁₂		ТУ32 _{1i}	ТУ32 _{1m}
	Rg ₂	ТУ32 ₂₁	ТУ31 ₂₂	ТУ32 ₂₃	ТУ32 _{2i}	ТУ32 _{2m}
	Rg ₃	ТУ32 ₃₁	ТУ32 ₃₂	ТУ31 ₃₃		ТУ32 _{3m}
	Rg _i	ТУ32 _{i1}	ТУ32 _{i2}	ТУ32 _{i3}	ТУ31 _{ij}	ТУ32 _{im}
	Rg _m	ТУ32 _{m1}		ТУ32 _{m3}	ТУ32 _{mi}	ТУ32 _{mm}
Аномальные состояния	Rg _{АНС}	ТУ33 ₁	ТУ33 ₂	ТУ33 ₃	ТУ33 _i	ТУ33 _m
Предаварийные состояния	Rg _{ПС}	ТУ33 ₁	ТУ33 ₂	ТУ33 ₃	ТУ33 _i	ТУ33 _m
Аварийные состояния	Rg _{АС}	ТУ33 ₁	ТУ33 ₂	ТУ33 ₃	ТУ33 _i	ТУ33 _m

Рис. 3. Модель возможных изменений режимов функционирования ОУ

Модуль 2. Разработка алгоритма решения ТУЗ

Задачи методики включают формирование алгоритма решения ТУЗ на операторском и технологическом уровнях, а также оценку качества распределения функций.

Исходными данными является вектор управляющих воздействий на ОУ (4). Вектор управляющих воздействий является совокупностью операций ТР_i по изменению параметров работы ОУ и его ТС, обеспечивающих необходимый технологический процесс ТР.

Этап 2.1. Разработка алгоритма решения ТУЗ на технологическом уровне.

На основе вектора управляющих воздействий и физических принципов функционирования ОУ разрабатывается алгоритм решения оператором *i*-й ТУЗ *Z_i*. Алгоритм *Z_i* представляется в виде табличной формы либо в графосимвольном виде.

Этап 2.2. Распределение операций между оператором и УС.

В рамках данного этапа определяются технологические операции, в которых оператор не принимает участия, кроме контроля их выполнения.

Как правило, в ТЗ на разработку СУ ТС указывается номенклатура функций, которые должны выполняться автоматически (без участия человека), т. е. *априорно автоматизируемой операцией*. Оставшиеся операции распределяются между технологическим и операторским уровнями на основе качественных методов отнесения операции к технологическому уровню или операторскому уровню [4].

Этап 2.3. Формирование алгоритма решения ТУЗ на технологическом и операторском уровнях.

На основе вектора управляющих воздействий производится разработка алгоритма решения i -й ТУЗ, включающего в себя: операции TP_i , выполняемые УС на технологическом уровне, операции P_i , выполняемые оператором на операторском уровне согласно (6).

Временные показатели типовых действий оператора определяются на основе модифицированного метода GOMS [5, с. 58–75] с учетом временных значений, определенных Б. Ф. Ломовым [6].

В результате отнесения операций к технологическому и операторскому уровням (рис. 4, колонки 1 и 2) и установления логической последовательности данных операций формируется алгоритм решения i -й ТУЗ в виде блок-схем.

Этап 2.4. Оценка качества распределения операций.

На данном этапе осуществляется оценка соответствия разработанного алгоритма единичным показателям качества распределения операций: стереотипности, логической ложности или темповой напряженности.

В случае несоответствия значениям производится корректировка распределения операций и повторная оценка.

Результатом модуля 2 является алгоритм решения ТУЗ на технологическом и операторском уровнях, соответствующий нормативным значениям показателей качества деятельности оператора.

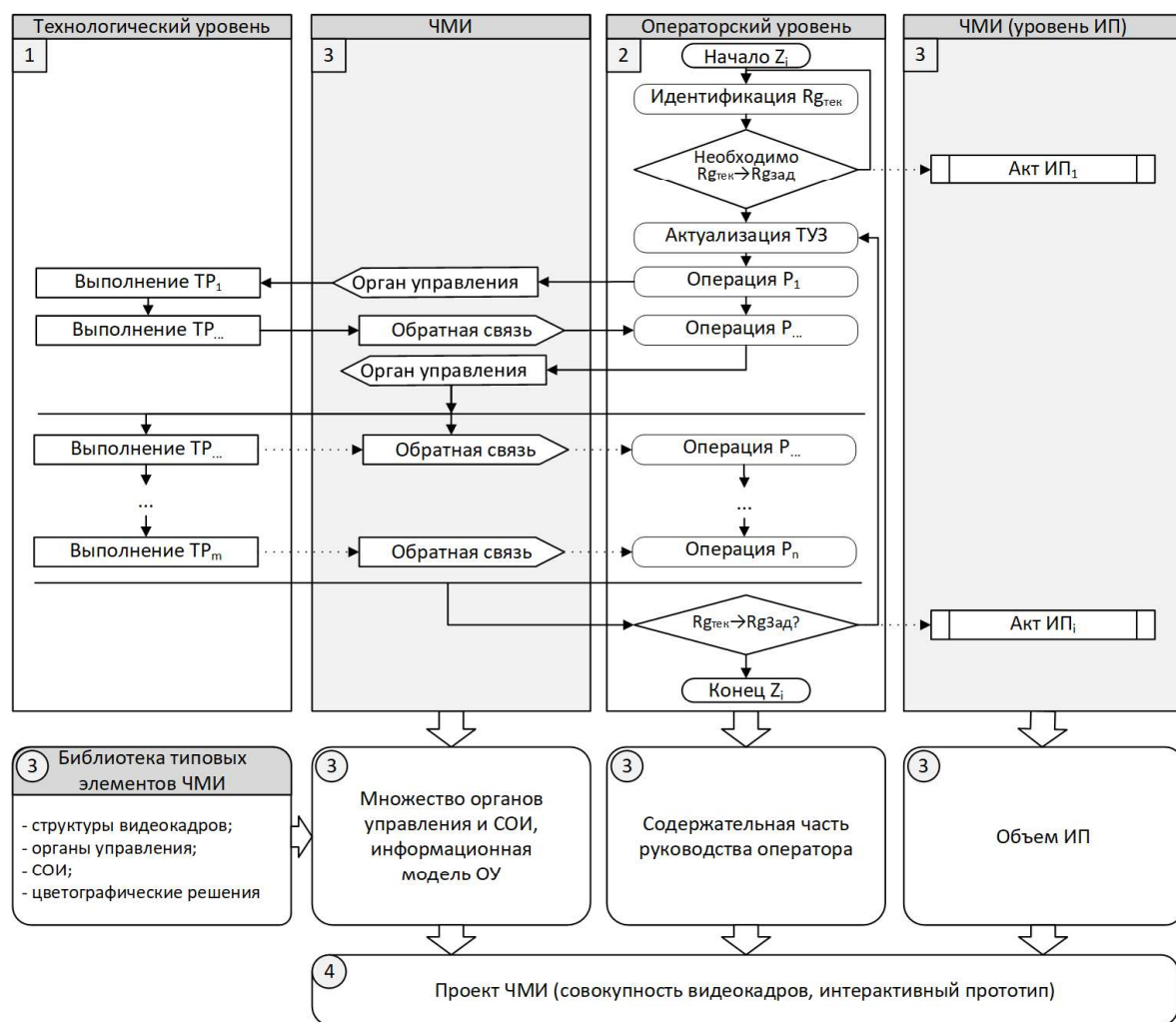


Рис. 4. Обобщенная схема разработки ЧМИ

Модуль 3. Разработка информационной модели ОУ

Методика предназначена для определения средств человеко-машинного взаимодействия, актов ИП, формирования ИМ ОУ.

Этап 3.1. Разработка библиотеки типовых элементов.

Этап включает разработку библиотеки типовых элементов (БТЭ) ЧМИ, включающей структурные элементы видеокладов, мнемознаки, элементы ЧМИ и присущие им атрибуты: функциональные состояния, цветовые решения и др. характеристики. Разработка библиотеки осуществляется с учетом эргономических требований (5).

Результаты разработки БТЭ фиксируются в документе или электронной базе данных, содержащих номенклатуру элементов ЧМИ и описание присущих им атрибутов.

При проектировании ЧМИ необходимо решение задачи формирования исходных данных для последующей передачи разработчикам функционального программного обеспечения (ФПО). В большинстве случаев разработчики ТЗ на СУ ТС не обладают знаниями и навыками в области программирования. Однако необходимость выдачи однозначно трактуемых исходных данных обусловлена стоимостью разработки функционального программного обеспечения для СУ ТС, а также эффективностью человеко-машинного взаимодействия. Задача формализации результатов проектирования решается путем использования конечных автоматов на основе методов автоматного программирования [7].

Данный подход позволяет:

- однозначно формализовывать логику работы ЧМИ, не обладая высокой квалификацией в области разработки ФПО, что является актуальным во взаимодействии «проектант ОМТ ↔ разработчик СУ ТС»;

- устранить логические ошибки проектирования на стадии проектирования.

Обобщенная схема автомата «Элемент управления ЧМИ» приведена на рис. 5.

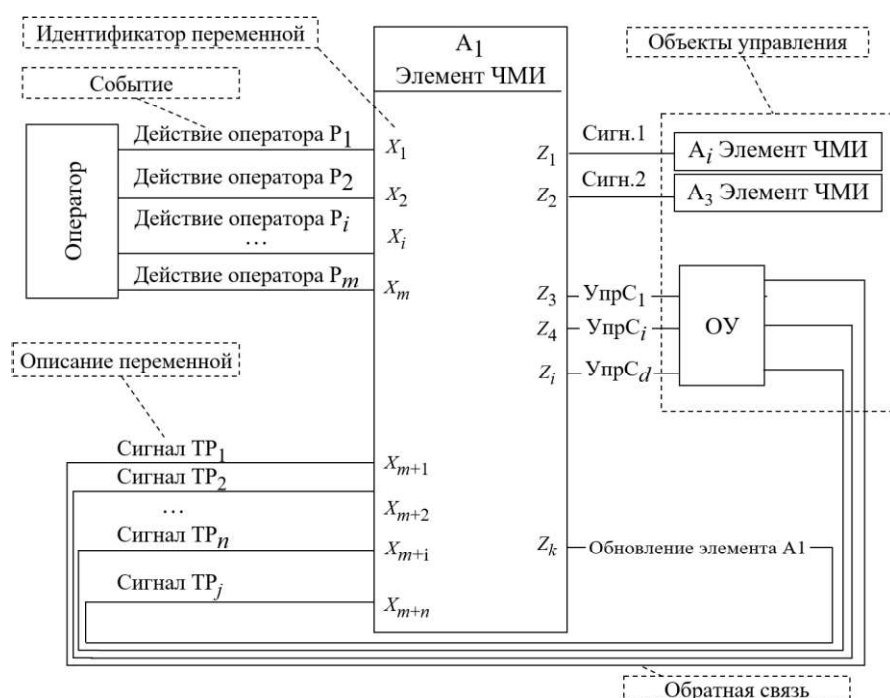


Рис. 5. Обобщенная схема автомата «Элемент ЧМИ»

Источниками информации для автомата «атомарного» элемента ЧМИ являются события:

- элементарные управляющие действия оператора P_i ;
- сигналы TP_i от УС, содержащие данные о состоянии ОУ, его ТС, значениях параметров технологических процессов.

Целевыми объектами действия автомата могут являться:

- условные автоматы ОУ;
- другие автоматы элементов ЧМИ, состояние которых взаимосвязано с состоянием разрабатываемого элемента ЧМИ.

При формализации поведения элемента ЧМИ автомат «ОУ» является условным по следующим причинам:

- процедуры предварительной обработки и генерации управляющего воздействия системным программным обеспечением при проектировании ЧМИ не рассматриваются;
- при решении оператором ТУЗ процесс обработки сигналов и выдачи управляющих воздействий является скрытым. В рамках концептуальной модели ОУ сигнал управления условно направлен от органа управления к ОУ.

На основе автоматов элементов ЧМИ строятся диаграммы состояний автоматов элементов ЧМИ [7, с. 45-50] и разрабатываются графические представления каждого элемента в предусмотренных функциональных состояниях.

Этап 3.2. Разработка информационной модели ОУ.

Для формирования *ИМ ОУ* на основе *БТЭ* производится установление отношения (см. рис. 4, колонка 3):

- между контролируемыми технологическими параметрами и возможными состояниями ТС и типовыми СОИ;
- между управляющими действиями оператора и средствами взаимодействия (органами управления);
- между логическими операциями оператора (принятием решения) и средствами представления информационной поддержки.

Полученная формализованная совокупность элементов ЧМИ с привязкой к управляющему или контролирующему действию оператора является *ИМ ОУ*.

Этап 3.3. Оценка пертинентности ИМ ОУ.

На данном этапе происходит верификация *ИМ ОУ* по критерию соответствия информационным потребностям оператора, согласно (9). Оценка пертинентности осуществляется путем верификации *ИМ ОУ* с использованием информационной маски ТУЗ.

Результатом данного модуля является верифицированная пертинентная *ИМ ОУ*. Формализация осуществляется путем разработки графических изображений и разработки текстовой спецификации на предусмотренные группы элементов *ИМ*.

Модуль 4. Разработка проекта ЧМИ

В рамках данного модуля решаются задачи разработки:

- типовых единиц информации ЧМИ (видеокадров);
- прототипа ЧМИ для верификации и последующей передачи проекта ЧМИ разработчикам ФПО.

Этап 4.1. Разработка типовых комплексных единиц информации (видеокадров).

Исходными данными являются *ИМ ОУ*, разработанные в рамках модуля 3.

На данном этапе формируются структурные элементы ЧМИ, обеспечивающие разделение групп информации и навигацию по разделам меню: зона навигации, размещения *ИМ ОУ*, сообщений; определяются координаты положения элементов ЧМИ на видеокадре. При разработке видеокадров учитываются качественные и количественные эргономические требования согласно (5).

Этап 4.2. Разработка интерактивных прототипов ЧМИ.

На этапе производится разработка прототипа ЧМИ, включающего в себя совокупность информации, представляемой оператору, полностью имитирующего работу УС при решении выполнения оператором *Zi*. Исходными данными для реализации этапа является *ИМ ОУ* (модуль 3), в том числе модели автоматов элементов ЧМИ.

На основе алгоритма решения i -й ТУЗ Z_i устанавливается последовательность предъявления оператору разработанных видеок кадров, проверяется наличие необходимых ОУ для выполнения управляющих воздействий оператором. Средствами выбранного инструмента разработки прототипа настраивается логика поведения отдельных элементов ЧМИ, согласно их описанию в библиотеке типовых элементов ЧМИ (этап 3.1).

Этап 4.3. Верификация ЧМИ.

На данном этапе проверяются эргономические характеристики ЧМИ согласно (5), повторно осуществляется оценка пертинентности ИМ ОУ согласно (9).

Результатом модуля 4 является прототип ЧМИ, используемый в дальнейшем для тестирования ФПО, проверки гипотез при проведении эргономических оценок.

Выводы

В результате проведённого исследования получены два научных результата.

Первый научный результат – метод объектно-ориентированного проектирования ЧМИ СУ корабельными ТС.

Второй научный результат – методический аппарат реализации МООП ЧМИ СУ ТС, позволяющий системно разрабатывать алгоритмы деятельности оператора при решении ТУЗ различных классов с последующим формированием средств взаимодействия оператора и УС.

Разработанный МООП ЧМИ СУ корабельных ТС является средством системного и гармоничного включения оператора в ЧМ СУ. Отличительной особенностью данного метода является ориентированность на построение УС, как инструмента оператора по решению типовых управленческих задач. Методики имеют прикладной характер для последовательного формирования ЧМИ, начиная от организации деятельности оператора по решению технологических задач, заканчивая разработкой прототипа ЧМИ, являющегося исходными данными для разработчиков ФПО УС. Положительные эффекты от внедрения метода включают:

- 1) формализацию процедур, систематизацию работ;
- 2) возможность комплексной оценки качества ЧМИ на этапе проектирования;
- 3) унификацию ЧМИ в рамках нескольких СУ ТС;
- 4) уменьшение трудоёмкости разработки ПО.

Литература

1. **Бубнов Е.А., Макаров Е.А.** Технология проектирования деятельности оператора корабельных систем управления техническими средствами // Системы управления и обработки информации: научн.-техн. сб. АО «Концерн «НПО «Аврора» СПб., 2024. Вып. 4 (67). С. 75–83.
2. **Буч Г.** Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. 3-е изд.: Пер. с англ. – М.: Д. Вильямс, 2008. 720 с.
3. **Бубнов Е.А.** Основы теории информационной поддержки корабельных операторов технических средств: научное издание. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2021. 160 с.
4. **Губинский А.И., Евграфов В.Г.** Эргономическое проектирование судовых систем управления. Л.: Судостроение, 1977. 224 с.
5. **Раскин Д.** Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем / пер. с англ. СПб.: Символ-Плюс, 2010. 161 с.
6. Справочник по инженерной психологии / Под. Ред. Б.Ф. Ломова. М.: Машиностроение, 1982. 367 с.
7. **Поликарпова Н.И., Шалыто А.А.** Автоматное программирование. СПб.: Изд-во ИТМО, 2008. 167 с.