

В. О. Тырва, канд. техн. наук, проф., v.tyrva@mail.ru,
А. В. Саушев, д-р техн. наук, зав. каф., saushev@bk.ru,
ФГБОУ ВО "ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова", г. Санкт-Петербург

О реализации совмещаемых управляющих воздействий на объект в системах "человек—машина"

Рассматриваются задачи реализации управляющих воздействий на объект в эргатической системе "человек—машина", совмещаемых через орган управления аппарата человеко-машинного интерфейса, в целях эффективного распределения функций управления между человеком-оператором и управляющим автоматом системы. Выявлены особенности технической реализации управляющих воздействий на объект эргатической системы с помощью аппаратов совместного управления нового типа, через орган управления которых осуществляется информационное взаимодействие между человеком-оператором и автоматом системы. Принцип построения аппаратов совместного управления показан с помощью изобразительных моделей аппаратов дискретного и непрерывного действия, имеющих в своем составе электромеханическое приводное устройство, реагирующее на сигналы от управляющего автомата вследствие перемещения органа управления. В аппаратах предусматривается возможность перемещения органа управления и мускульным усилием человека-оператора.

Для вербальной модели действий и ответных реакций человека-оператора и машины, принятой в инженерной психологии, разработаны математические модели совместного управления объектом эргатической системы, описывающие перемещения органа управления. Математическая модель ответной реакции управляемого объекта системы представлена нормальной системой обыкновенных дифференциальных уравнений. В результате композиции моделей действий и ответных реакций для системы "человек—машина" получено конечное множество неполных представлений элементарных движений изображающей точки в пространстве состояний, на котором конструируется управляемое движение объекта в виде последовательности элементарных движений. Определены виртуальные дискретные сигналы управления, соответствующие конкретным позициям органов управления аппаратов совместного управления человеко-машинного интерфейса системы, по которым осуществляются последовательные переходы от одного элементарного движения к другому.

Приведены результаты апробации совместного управления движением судна с использованием математической модели действий и ответных реакций в натурных экспериментах при повышенных требованиях к безопасности и точности движения. Сформулированы выводы об эффективности применения совместного управления в транспортных эргатических системах "человек—машина". Показано, что в этом случае в наибольшей степени используются и комбинируются достоинства партнеров по управлению.

Ключевые слова: система "человек—машина", человек-оператор, совместное управление, орган управления, автомат

Введение

Для понимания сути решаемых задач рассмотрим пример управления автомобилем при обучении вождению, которое осуществляется совместно обучаемым и инструктором. Учебный автомобиль оснащен дополнительными техническими средствами, позволяющими совмещать управление приложением мускульных усилий к педали тормоза, к рулевому колесу и т. д. Можно привести достаточно много аналогичных примеров применения технических средств и совмещения с их помощью управляющих воздействий на технический объект двух (или более) лиц и в других областях. Вместе с тем современный уровень развития науки и техники позволяет в некоторых случаях вместо одного из операторов, совмещающих управление, использовать автоматическое устройство — автомат. Каждый из двух действующих

частей такой эргатической системы "человек—машина" (СЧМ) имеет свои достоинства и недостатки, влияющие на качество исполнения процесса управления. Поэтому распределение функций управления и взаимодействие человека-оператора (ЧО) и управляющего автомата (УА) в СЧМ должно быть организовано таким образом, чтобы наиболее полно использовать преимущества биологической и технической частей СЧМ в их взаимодействии [1, 2]. Технические устройства взаимодействия должны быть предусмотрены в человеко-машинном интерфейсе (ЧМИ) системы [3, 4]. В качестве таких устройств, как будет показано ниже, могут использоваться органы управления аппаратов, которые воспринимают и реагируют на мускульные усилия ЧО. К ним относятся рычаги управления, джойстики, клавиши, педали или другие воспринимающие внешние воздействия элементы аппаратов: выключатели,

переключатели, различные командоаппараты, используемые в настоящее время для ручного управления.

Исследования в области организации управляемой деятельности СЧМ с помощью аппаратов совместного управления человеком-оператором и управляющим автоматом находятся на начальной стадии развития. Аппараты для совместного управления в указанном смысле не разрабатывались. В связи с этим в настоящей статье: предложены способы технической реализации аппаратов совместного управления для ЧМИ; получено математическое представление разработанной в инженерной психологии модели "действий и ответных реакций" для описания динамики СЧМ в многомерном пространстве состояний при совместном управлении объектом; приведены результаты апробации алгоритмов совместного управления движением судна.

Взаимодействие человека и автомата в совместном управлении

Изучение взаимодействия человека и автомата в совместном управлении объектом базируется на результатах, полученных в области "проектирования взаимодействия" как научно-го направления благодаря работам А. Купера [5] и других зарубежных и отечественных ученых [6—9].

Одним из основных результатов исследований является "набор поведенческих шаблонов — характерных поведенческих моделей, помогающих классифицировать варианты использования будущего или существующего продукта". В настоящей работе "шаблоны" представляются в форме математических моделей действий ЧО, выраженных через перемещения органов управления ЧМИ. Каждое действие и соответствующее перемещение органа управления побуждается определенной целью. Поэтому проявлением искусственного интеллекта управляющего автомата является перемещение им органов управления ЧМИ в совместном управлении с ЧО. В работе [4] для стадий исследования и моделирования взаимодействия технической и биологической частей СЧМ выделены три уровня управления объектом системы: целеуказание, планирование и исполнение. Конечная (стратегическая) цель такой системы — эргамата — задается ЧО. Эргамат можно представить

как систему кооперативной деятельности ЧО и ассистента — УА, т. е. устройства, самостоятельно выполняющего целенаправленные действия [5]. При такой форме взаимодействия эргамат приобретает свойство "естественности" (с точки зрения человека) — способность обеспечить "антропоморфизм технической части системы на когнитивном уровне".

Анализ исследований и практических реализаций совмещаемых управляющих воздействий на объект показывает, что основное внимание уделяется проблеме "совмещения" воздействий на несколько исполнительных устройств СЧМ от одного органа управления. Например, успешно реализовано и хорошо зарекомендовало себя совмещенное управление истребителем СУ-35 по принципу HOTAS (Hands On Throttle-And-Stick) — руки на секторе газа и ручке управления [6]: "летчик Су-35 на самом деле не управляет самолетом, а с помощью органов управления в кабине информирует о своих намерениях систему управления, которая уже сама решает, как оптимальным по заданному критерию образом реализовать приказ пилота с помощью перемещения аэродинамических управляющих поверхностей и поворотных сопел двигателей". Задача, которая ставится в настоящей статье, заключается в расширении функций ЧМИ таким образом, чтобы о своих намерениях УС информировала ЧО через орган управления. Организацию через орган управления ЧМИ управляющих воздействий как намерений ЧО и УА будем называть *совместным управлением*.

Особенности технической реализации совместного управления

Основной особенностью совместного управления в СЧМ является применение в составе ЧМИ аппаратов управления нового типа — аппаратов совместного управления. Это, в свою очередь, влечет за собой применение для описания функционирования СЧМ математических моделей, которые учитывают действия ЧО, выражающиеся в перемещениях органа управления такого аппарата. Любое занятое органом управления положение должно рассматриваться как необходимая информация о состоянии СЧМ, так как положение органа управления непосредственно и часто очевидным образом связано с целью управления объектом как на

уровне планирования, так и на уровне исполнения [10–13]. Информация о положении органа управления аппарата совместного управления должна по обратным связям передаваться и к ЧО, и к УА. В СЧМ должны быть предусмотрены также каналы передачи намерений ЧО и УА, о которых говорилось выше. На основе этих соображений представим СЧМ структурной схемой (рис. 1), выделив в системе аппарат совместного управления (АпСУ) и его связи с другими компонентами системы.

Управление объектом (рис. 1) осуществляется с помощью АпСУ в режиме, когда ЧО и АпСУ взаимодействуют через орган управления АпСУ. Каналами взаимодействия (вербальными, визуальными и другими) ЧМИ, по которым передается информация V и Y , ЧО связан с УА. С внешней средой СЧМ имеет физические и информационные связи D , S , L . Совместное (результатирующее) управление объектом является результатом преобразования (оператором G) управляющего воздействия u_c , создаваемого ЧО, и управляющего воздействия u_a , вырабатываемого УА и воспринимаемого ЧО как намерение по изменению состояния СЧМ:

$$u = G(u_c, u_a).$$

Принцип построения аппаратов совместного управления представлен изобразительными моделями аппаратов на рис. 2 [14, 15].

При совмещении во времени управляющих воздействий на объект орган управления 1 АпСУ (рис. 2) способен перемещаться как под действием мускульного усилия ЧО, так и под действием команды, вырабатываемой УА СЧМ [14]. В аппарате совместного управления предусматриваются приводное и преобразовательное устройства. Первое из них приводит в движение орган управления по команде от УА при сохранении возможности перемещения органа управления мускульным усилием ЧО, а второе формирует сигнал управления в виде функциональной зависимости от совмещаемых управляющих воздействий — сигнал, на который реагирует объект, изменяя свое состояние.

Для ЧО сигнал v_a (электрическое напряжение), подаваемый от УА на обмотки 4, 5 поляризованного электромагнитного привода с постоянным магнитом 6 в составе магнитопровода (рис. 2, а), является намерением УА установить орган управления 1 в определенное положение Q или P (в зависимости от полярности сигнала v_a).

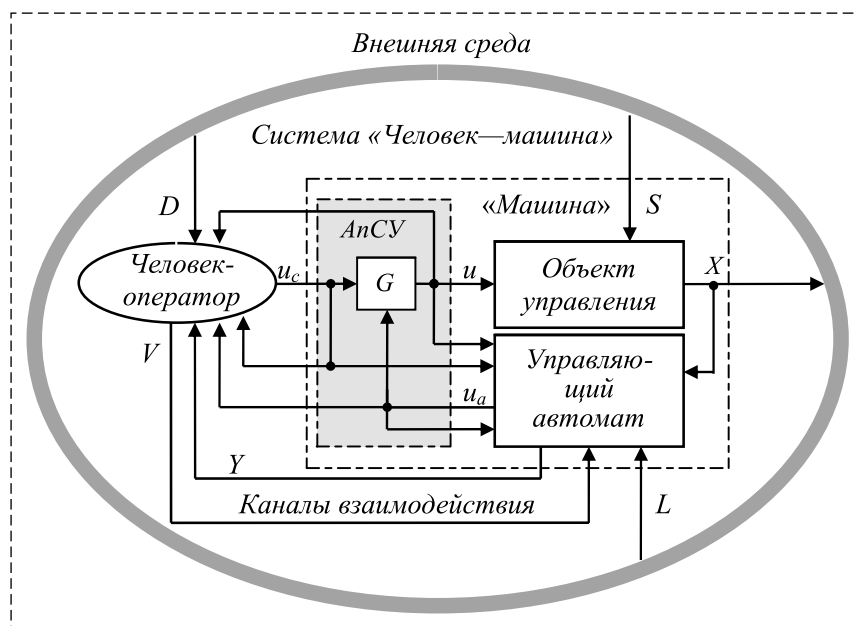


Рис. 1. Функциональная структура системы "человек—машина" с аппаратом совместного управления АпСУ

Fig. 1. Functional structure of the human—machine system with joint control apparatus АпСУ

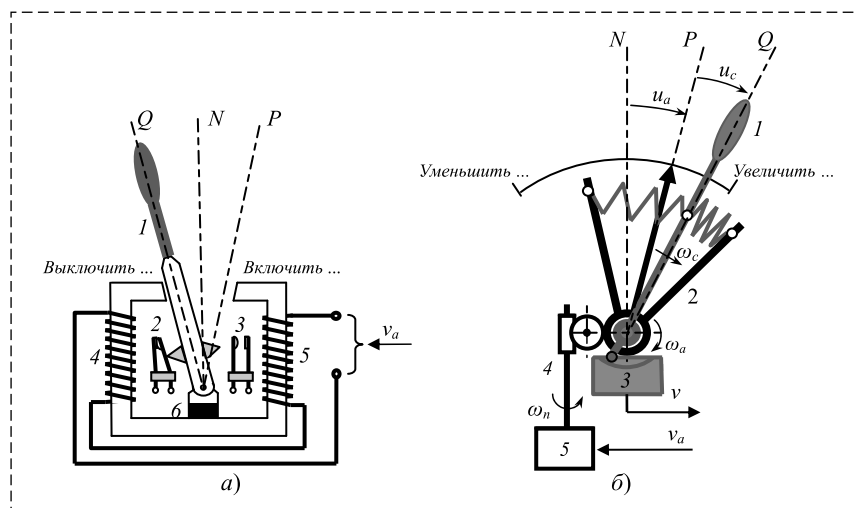


Рис. 2. Изобразительные модели аппаратов совместного управления:

а — дискретного действия; б — непрерывного действия

Fig. 2. Graphic models of collaborative control devices:

а — discrete action; б — continuous operation

Если это происходит, то тем самым формируется сигнал $u = u_a$ управления объектом (см. рис. 1), который с помощью замыкающегося контакта, например контакта 3 (рис. 2, а), передается на исполнение к управляемому объекту. Если ЧО, придерживая рукоятку 1 аппарата, препятствует ее перемещению, несмотря на наличие сигнала v_a , то в результате будет сформирован сигнал $u = u_c$ от ЧО. При этом действие УА остается только "намерением", так как не исполняется аппаратом совместного управления (АпСУ на рис. 1).

Аппарат совместного управления с многопозиционным органом управления 1 на рис. 2, б снабжен аналоговым датчиком углового перемещения 3, который формирует на выходе сигнал v , пропорциональный величине $u = u_a + u_c$ по положению Q органа управления. Перемещение u_a вилки 2 от нейтрального положения N до изменяемого положения P создается электромеханическим преобразователем 5 с червячной передачей 4 по сигналу v_a от УА. Отклонение u_c органа управления является по существу корректирующим управлением, которое реализуется мускульным усилием ЧО, преодолевающим противодействие со стороны пружины относительно вилки 2. Благодаря червячной передаче 4 (рис. 2, б) связь между электромеханическим преобразователем 5 и вилкой 2 однонаправленная — от преобразователя к вилке. Поэтому управляющие действия ЧО при перемещении им органа управления 1 не влияют на работу УА СЧМ и не изменяют сигнал u_a , реализованный в аппарате в виде определенного положения органа управления.

Когда ЧО держит рукой орган управления, то через перемещение рукоятки и возникших усилий из-за упругости пружин он получает информацию о намерениях управляющего автомата изменить текущее состояние объекта. При этом ЧО за счет перемещения органа управления (в положение Q на рис. 2, б) корректирует управляющие действия автомата (положение P на рис. 2, б), если он "не соглашается" с автоматом. Если ЧО не создает корректирующие воздействия на орган управления ($u_c = 0$), то управление объектом осуществляется только автоматом ($u = u_a$).

При отключении или отказе автоматики управление объектом эргатической системы не прерывается, так как его продолжает ЧО, воздействуя на орган управления аппарата совместного управления.

Моделирование действий и ответных реакций системы "человек—машина"

ЧО, реализуя управляющие действия в СЧМ через перемещения органа управления аппарата, может проявлять себя как источник силы и как источник скорости моделируемого движения органа управления. Разнообразие действий применительно к некоторым аппаратам совместного управления [14—16] может быть отражено моделями 2П, 3П и МП, представленными ниже.

Модель 2П. Модель, реализуемая аппаратом дискретного действия с двумя позициями органа управления, например выключателем на рис. 2, а:

$$\left. \begin{aligned} u &= 1 - \text{"Включить ..."} \\ u &= 0 - \text{"Выключить ..."} \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

Модель 3П. Модель, реализуемая аппаратом дискретного действия с тремя позициями органа управления, например переключателем на рис. 2, а:

$$\left. \begin{aligned} u &= 1 - \text{"Увеличить ..."} \\ u &= 0 - \text{"Не изменять ..."} \\ u &= -1 - \text{"Уменьшить ..."} \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Работа аппарата (рис. 2, а) может быть описана моделью 3П (2), если его привод дополнить возвратной пружиной, переводящей орган управления 1 в нейтральное положение N , когда сигнал $v_a = 0$, и использовать оба контакта 2 и 3 для формирования реверсивного воздействия на управляемый объект по положению u органа управления. Конструктивные параметры аппарата выбираются из условия, чтобы ЧО при необходимости мог препятствовать перемещению органа управления по сигналу от управляющего автомата.

Модель МП. Модель, реализуемая аппаратом непрерывного действия с многопозиционным органом управления, например с задатчиком интенсивности 3 на рис. 2, б:

$$\dot{u} = \omega, \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \omega &= 1 - \text{"Увеличить ..."} \\ \omega &= 0 - \text{"Не изменять ..."} \\ \omega &= -1 - \text{"Уменьшить ..."} \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Модель МПС. Модель, реализуемая аппаратом непрерывного действия с регулируемой

скоростью перемещения органа управления, например с реостатным датчиком угла поворота 3 на рис. 2, б:

$$\left. \begin{aligned} \dot{u} &= \omega \\ \dot{\omega} &= \varepsilon \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon &= 1 - \text{"Увеличить ..."} \\ \varepsilon &= 0 - \text{"Не изменять ..."} \\ \varepsilon &= -1 - \text{"Уменьшить ..."} \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Управление u и переменные ω и ε в приведенных выражениях представлены в относительных единицах. Точкой над буквой здесь и далее обозначена операция дифференцирования по времени t .

Модели (1)–(6) не исчерпывают множество моделей действий различных по устройству электрических и электронных аппаратов совместного управления при разнообразии используемых схем подключения аппаратов к электрическим цепям управления. Рассмотренные аппараты и модели действий характерны для СЧМ, в которых для преобразования электрической энергии в механическую энергию движения частей "машины" применяются электроприводы.

Комплексирование моделей действий и ответных реакций выполним на примере моделей (1) – (6) для объекта управления с сосредоточенными параметрами, динамика которого описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями. Воспользуемся методом пространства состояний, по которому состояние СЧМ представляется изображающей точкой на траектории движения в системе фазовых координат и текущего времени. Программирование управляемого движения объекта на стадии планирования управления выполняется с привлечением гипотезы полной определенности [17], распространяемой на описание действий и ответных реакций ЧО и "машины" в СЧМ [14].

Модель реакций объекта управления, обычно получаемую на основе законов физики, представим в форме нормальной системы обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_p); \\ \dot{x}_2 &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_p); \\ &\vdots \\ \dot{x}_n &= f_n(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_p), \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где $x_1, x_2, \dots, x_n$ — фазовые координаты, характеризующие текущее состояние объекта управления СЧМ; $u_1, u_2, \dots, u_p$ — переменные управления, значения каждой из которых определяется положением органа управления соответствующего аппарата совместного управления.

Предположим, для обобщения, что в ЧМИ СЧМ применяется P_a аппаратов модели 2П (1), P_b аппаратов модели 3П (2); P_c аппаратов модели МП (3), (4) и P_d аппаратов модели МПС (5), (6). Введем дополнительно P_c фазовых координат $x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+P_c}$ вместо $u_{P_a+P_b+1}, u_{P_a+P_b+2}, \dots, u_{P_a+P_b+P_c}$ в соответствии с (3); P_d переменных состояния $x_{n+P_c+1}, x_{n+P_c+3}, \dots, x_{n+P_c+2P_d-1}$ вместо $u_{P_a+P_b+P_c+1}, u_{P_a+P_b+P_c+2}, \dots, u_p$ и P_d переменных состояния $x_{n+P_c+2}, x_{n+P_c+4}, \dots, x_{n+P_c+2P_d}$ в соответствии с (5). Обозначим через $N = n + P_c + 2P_d$ общее число фазовых координат СЧМ $x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots, x_N$ и объединим все фазовые координаты в матрицу-столбец X . Далее, используя для каждого управления $u_1, u_2, \dots, u_p$ его модель в соответствии с (1)–(6), получим из системы уравнений (7) множество Z неполных представлений элементарных движений СЧМ

$$Z = \{\dot{X} = F^r(X), r = 1, 2, \dots, s\} \quad (8)$$

в пространстве состояний $R^{1+N} = \{t \times x_1 \times x_2 \times \dots \times x_N\}$ $(1 + N)$ измерений. Здесь $F^r(X)$ — вектор-функция от X , отображающая правую часть системы (7) и модели (1)–(6); r — порядковый номер вектор-функции $F^r(X)$ в множестве Z .

Множество (8) является моделью действий и ответных реакций СЧМ. Число элементов этого множества $s = 2^{P_a} \cdot 3^{P_b+P_c+P_d}$.

Апробация элементов совместного управления в эргатической системе "судоводитель—судно"

Алгоритмы совместного управления для эргатической системы "судоводитель—судно" выработывались и проверялись на основе построения математических моделей действий, ответных реакций и натурных экспериментов ввода судов в камеру шлюза от причальной стенки вне шлюза [14, 16]. Для описания действий по связи между положением органа управления (главным двигателем) и упором винта использовалась модель МП (3), (4). Динамика системы "судоводитель—судно" представлена системой

дифференциальных уравнений в четырехмерном пространстве состояний. Число элементов множества (8) $R = 3^1 = 3$.

При конструировании программного движения судна по множеству (8) использовался критерий максимального быстродействия (в целях повышения пропускной способности шлюза), учитывались условия повышенной опасности и требования по точности позиционирования судна в камере шлюза.

Алгоритмы управления движением одновинтового судна построены в виде последовательности дискретных сигналов управления, по которым осуществляется переход от одного элементарного движения к другому. Они реализованы с помощью аппарата, функционально подобного аппарату с многопозиционным органом управления, изображенному на рис. 2, б.

Ограничимся при рассмотрении алгоритмов управления только последовательностями неполных представлений элементарных движений из множества (8), которые были экспериментально апробированы, причем в роли экспертов выступали судоводители.

Движение судна начинается от причальной стенки вне шлюза (координата положения судна $x_1 = -a$, $a > 0$) из состояния покоя судна (скорость движения $x_2 = 0$, координата органа управления $x_3 = u = 0$) и заканчивается в требуемом месте в камере шлюза ($x_1 = 0$) состоянием покоя судна (без движения: $x_2 = 0$, $x_3 = 0$). Этим состояниям покоя соответствуют первый и последний элементы последовательности элементарных движений. Сами последовательности для различных алгоритмов управления продольным движением судна представим с помощью временных диаграмм изменения скорости ω перемещения органа управления (рис. 3) по модели МП (3), (4).

Реализация решения классической задачи максимального быстродействия по алгоритму "полный вперед — полный назад" на последовательности из семи элементарных движений показана на рис. 3, а (вариант 1). Начало движения — в момент t_1 , окончание движения — в момент t_6 . Экспертные оценки такого управления отрицательные: недостаточно обеспечены безопасность и точность позиционирования судна.

Управление судном, которое является оптимальным по быстродействию при ограничении скорости движения судна при вводе его в камеру шлюза показано на рис. 3, б (вариант 2).

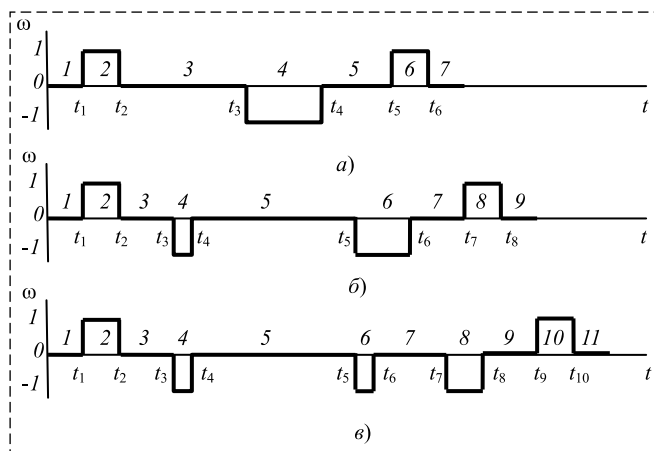


Рис. 3. Временные диаграммы управления гребным винтом судна:

а — вариант 1; б — вариант 2; в — вариант 3

Fig. 3. Propeller Program Timing Diagrams:

а — option 1; б — option 2; в — option 3

Число элементарных движений — 9. Начало движения — в момент t_1 , окончание движения — в момент t_8 . Продолжительность ввода судна в камеру шлюза увеличилось. Недостаток управления — не гарантирована необходимая точность остановки судна в камере шлюза.

На рис. 3, в (вариант 3) показано управление, у которого к предыдущему алгоритму управления добавлено снижение скорости движения судна перед элементарным движением на заключительном участке траектории активного торможения судна. Число элементарных движений — 11. Начало движения — в момент t_1 , окончание движения — в момент t_{10} . По сравнению с оптимальным по быстродействию движением продолжительность ввода судна в камеру шлюза увеличилась на той же длине пути на 40 %. Повышена точность позиционирования судна в камере шлюза и безопасность управляемого движения. Экспертная оценка алгоритма управления положительная.

Эксперименты показали, что планируя движение судна, т. е. переходы от одного элементарного движения к другому элементарному движению, например увеличивая или уменьшая скорость движения, судоводитель представляет, из какого положения и в какое положение необходимо перевести орган управления, т. е. по существу решает достаточно простую терминальную задачу, связывая желаемое движение судна с требуемым движением путем перемещения органа управления в определенное им положение. Точность такого управления и безопасность плавания при наличии адекватной ма-

тематической модели управляемого движения судна могут быть повышены управляющим автоматом на основе необходимых математических вычислений по модели действий и ответных реакций с помощью управляющей ЭВМ.

Заключение

Предложенный способ распределения функций управления между ЧО и УА в эргатической СЧМ с помощью аппаратов совместного управления способствует повышению эффективности (безопасности, надежности, точности) управления динамикой состояния СЧМ. Принцип построения таких аппаратов показан с помощью изобразительных моделей аппаратов дискретного и непрерывного действия с электромеханическими приводными устройствами, управляемыми от УА.

Математическое описание вербальной модели действий и ответных реакций СЧМ, разработанной в инженерной психологии, выражено множеством неполных представлений элементарных движений в едином для них пространстве состояний СЧМ. Системы обыкновенных дифференциальных уравнений этого множества являются исходным базисом для конструирования управляемых движений объекта СЧМ на стадиях планирования и исполнения совместного управления.

В совместном управлении реализуются преимущества автоматики по точности и быстродействию действий по сравнению с возможностями ЧО. При этом сохраняются возможности реализации функций управления квалифицированным ЧО в сложных и непредвиденных ситуациях.

Практическое применение совместного управления целесообразно в эргатических системах "человек—машина", которые являются сложными многоцелевыми и многорежимными системами, работающими в условиях изменяющейся обстановки, особенно в априори не предсказуемом разнообразии, что характерно, например, для подвижных объектов в различных средах. Положительные результаты получила апробация совместного управления в системе "судоводитель—судно" при решении задач оптимального по быстродействию и безопасного по исполнению ввода судна в камеру шлюза.

Список литературы

1. **Сергеев С. Ф.** Нейроадаптивные биоморфные интерфейсы в эргатических системах: проблемы и решения // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. Т. 17, № 9. С. 599—605.
2. **Лохин В. М., Манько С. В., Александрова Р. И., Романов М. П., Диане С. А. К.** Принципы построения и программно-алгоритмическое обеспечение человеко-машинного интерфейса для автономных роботов и мультиагентных робототехнических систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. Т. 17, № 9. С. 606—614.
3. **Fiset J. Y.** Human-machine interface design for process control applications. ISA, 2009. 171 p.
4. **Larichev O. I., Methlie L. B., Sprague R. H.** Problem of Man Machine Interaction in Decision Support Systems // Knowledge Representation for Decision Support Systems. Amsterdam: North — Holland Publ. Co, 1985. P. 27—39.
5. **Cooper A., Reimann R., Cronin D.** About Face 3. The Essentials of Interaction Design. Wiley Publishing, Inc., 2007. P. 1—6.
6. **Raskin J.** The humane interface: new directions in the design of computer systems. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. New York, NY, United States. 233 p.
7. **Сергеев С. Ф.** Методологические проблемы человеко-машинного интерфейса // XII Всероссийское совещание по проблеме управления ВСПУ-2014. Москва 16—19 июня 2014 г. Сб. трудов ВСПУ-2014. С. 6414—6421.
8. **Alciatore D.** Introduction to mechatronics and measurement system. New York, USA: McGraw-Hill, 2011. 472 p.
9. **Кальченко В. А.** Общие эргономические требования к проектированию и анализу деятельности человека-оператора системы "человек—машина" // Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики. 2005. № 32. С. 42—43.
10. **Ющенко А. С.** Человек и робот — совместимость и взаимодействие // Робототехника и техническая кибернетика. 2014. № 1(2). С. 4—9.
11. **Ющенко А. С.** Ситуационное управление и робототехника // Материалы III Пospelовских чтений "Искусственный интеллект сегодня. Проблемы и перспективы". 2007. URL: <http://www.posp.raai.org/?arch> (дата обращения 28.10.2009).
12. **Почему Су-35 самый опасный истребитель в мире?** URL: <http://www.kramola.info/vesti/novosti/pochemu-su-35-samyy-opasnyy-istrebitel-v-mire> (дата обращения 23.08.2017).
13. **Рирков К. А., Ustyuzhanin A. D.** Intelligent Systems // Proceedings of the International Scientific Conferences Intelligent Systems and Intelligent CAD's. 2005. Vol. 3. P. 90—95.
14. **Тырва В. О.** Совместное управление объектом в эргатической системе: модели и реализации // Вестник ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. 2018. Т. 10, № 2. С. 439—443.
15. **Saushev A., Tyrva V., Kovtun L.** Joint control actions on electromechanical devices in ergatic systems // E3S Web Conf. Volume 135, Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE—2019), Section Environmental Engineering. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913501006>.
16. **Tyrva V., Saushev A., Shergina O.** Automation elements of mental activity and actions of human operator in ergatic system 'man-machine' // International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON 2018.
17. **Моисеев Н. Н.** Элементы теории оптимальных систем. М.: Наука, 1975. 526 с.

About Realizations of Compatible Control Impacts on the Object in the Man—Machine Systems

V. O. Tyrva, v.tyrva@mail.ru, A. V. Saushev, saushev@bk.ru,

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg 198035, Russian Federation

Corresponding author: Tyrva Vladimir O., Professor, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg 198035, Russian Federation, e-mail: v.tyrva@mail.ru

Accepted on January 23, 2020

Abstract

We consider the problems of implementing control actions on the object in the ergatic system "man—machine", combined through the control body of the human-machine interface apparatus, in order to effectively distribute the control functions between the human operator and the system's control automat. Peculiarities of technical realization of operating influences on object ergatic system using the apparatus combines new type of control, through a management body of which is communication between a human operator and automatic system. The principle of construction of joint control devices is shown with the help of pictorial models of discrete and continuous operation devices that have an Electromechanical drive device that reacts to signals from the control machine due to the movement of the control body. The devices provide for the possibility of moving the control body and the muscular effort of the human operator. For the verbal model of actions and responses of the human operator and the machine, adopted in engineering psychology, mathematical models of joint control of the object of the ergatic system, describing the movements of the control body, are developed. The mathematical model of the response of the controlled object of the system is represented by a normal system of ordinary differential equations. As a result of composition of models of actions and reactions for the system "man—machine" obtained a finite set of incomplete representations of the elementary movements depicting point in the state space, which is constructed for controlled movement of an object in a sequence of elementary movements. Virtual discrete control signals corresponding to specific positions of the control bodies of the joint control devices of the human-machine interface of the system, which are used for sequential transitions from one elementary movement to another, are determined. The results of approbation of joint traffic control of vessels using a mathematical model of actions and responses in full-scale experiments with increased requirements for safety and accuracy of movement are presented. Conclusions are formulated about the effectiveness of the use of Sov-local management in transport ergatic systems "man—machine". It is shown that in this case, the advantages of management partners are most used and combined.

Keywords: human—machine system, human-operator, joint control, control body, automatic machine

For citation:

Tyrva V. O., Saushev A. V. About Realizations of Compatible Control Impacts on the Object in the Man—Machine Systems, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2020, vol. 21, no. 5, pp. 274—281.

DOI: 10.17587/mau.21.274-281

References

1. Sergeev S. F. Biomorphic Neuroadaptive Interfaces in the Ergatic Systems: Problems and Solutions, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 9, pp. 599—604 (in Russian).
2. Lokhin V. M., Manko S. V., Alexandrova R. I., Romanov M. P., Diane S. A. K. Man-Machine Interface for Autonomous Robots and Multi-Agent Robotic Systems, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 9, pp. 606—614 (in Russian).
3. Fiset J. Y. Human-machine interface design for process control applications, ISA, 2009, 171 p.
4. Larichev O. I., Methlie L. B., Sprague R. H. Problem of Man Machine Interaction in Decision Support Systems, *Knowledge Representation for Decision Support Systems*, Amsterdam, North — Holland Publ. Co., 1985, pp. 27—39.
5. Cooper A., Reimann R., Cronin D. About Face 3. The Essentials of Interaction Design, Wiley Publishing, Inc., 2007, pp. 1—6.
6. Raskin J. The humane interface: new directions in the design of computer systems, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., New York, NY, 233 p.
7. Sergeev S. F. Methodological problems of the human-machine interface, *Proc. XII Vserossiyskoye soveshchaniye po probleme upravleniya VSPU-2014*, Moscow 16—19 iyunya 2014 g., pp. 6414—6421 (in Russian).
8. Alciatore D. Introduction to mechatronics and measurement system, New York, USA, McGraw-Hill, 2011, 472 p.
9. Kalichenko V. A. General ergonomic requirements for the design and analysis of the activities of the human operator of the human-machine system, *Chelovecheskiy faktor: problemy psikhologii i ergonomiki*, 2005, no. 32, pp. 42—43 (in Russian).
10. Yushchenko A. S. Man and Robot — Compatibility and Interaction // *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika*, SPb, Publishing house of TSNIIRTK, 2014, no. 1(2), pp. 4—9 (in Russian).
11. Yushchenko A. S. Situational management and robotics, *Materialy III Pospelovskikh chteniy "Iskusstvennyy intellekt segodnya. Problemy i perspektivy"*, 2007, available at: <http://www.posp.raai.org/?arch> (data of access 28.10.2009) (in Russian).
12. Why is the Su-35 the most dangerous fighter in the world? available at: <http://www.kramola.info/vesti/novosti/pochemu-su-35-samyy-opasnyy-istrebitel-v-mire> (data of access 23.08.2017) (in Russian).
13. Pupkov K. A., Ustyuzhanin A. D. Intelligent Systems, *Proceedings of the International Scientific Conferences Intelligent Systems and Intelligent CAD's*, 2005, vol. 3, pp. 90—95.
14. Tyrva V. O. Joint control of an object in an ergatic system: models and implementations, *Vestnik GUMRF imeni admirala S. O. Makarova*, 2018, vol. 10, no. 2, pp. 439—443 (in Russian).
15. Saushev A., Tyrva V., Kovtun L. Joint control actions on electromechanical devices in ergatic systems, *E3S Web Conf. Volume 135, Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITESE—2019), Section Environmental Engineering*, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913501006>.
16. Tyrva V., Saushev A., Shergina O. Automation elements of mental activity and actions of human operator in ergatic system 'man-machine', *International Russian Automation Conference, Rus-AutoCon 2018*, DOI: 10.1109/RUSAUTOCON 2018.
17. Moiseev N. N. Elements of the theory of optimal systems, Moscow, Nauka, 1975, 526 p. (in Russian).