

УДК 004.588

В.О. Анзин, А.В. Головкин, Ядзид Джамал Исмаил Альшайх
ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ
ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Введение. Несмотря на значительные успехи в автоматизации процессов управления, в различных областях деятельности людей широкое применение находят полуавтоматические системы, в функционировании которых существенная роль отводится человеку-оператору.

Как ни странно, по мере совершенствования техники из-за усложнения деятельности человека-оператора, повышения цены его ошибочных действий и ряда других причин роль человеческого фактора в обеспечении эффективности и безопасности работы человеко-машинных систем не падает, а, наоборот, возрастает. Нередко возникают ситуации, когда для поддержания нормального процесса функционирования системы от человека требуется едва ли не предельная мобилизация всех его возможностей, когда малейшее изменение в сторону усложнения деятельности или возникновение внештатной ситуации может привести к срыву. При этом первостепенным фактором, определяющим эффективность и качество системы, становится степень согласованности взаимодействия человека и машины.

Человек-оператор в силу присущих ему психофизиологических ограничений предъявляет к системе ряд требований, которые необходимо учитывать при проектировании. В противном случае функциональные возможности оператора могут оказаться недостаточными для обеспечения эффективности работы всей системы.

Это вызывает необходимость всестороннего и полного учета человеческого фактора на всех стадиях проектирования системы с целью согласования свойств технических устройств с характеристиками психических процессов, функций и состояний оператора [1].

В виду того, что такие системы находят свое применение в крупных технологических комплексах, для работы с которыми требуются специально обученные, квалифицированные операторы, задача их обучения и переподготовки становится все более актуальной.

Опыт применения тренажеров показывает, что эффект обучения достигается не просто идентичностью воспроизводимой на тренажере реальной деятельности оператора, а воспроизводимой на тренажере формы его деятельности, соответствующей решению практических задач в действительности. Традиционные тренажеры служили копией панели управления, на которые выводилась информация, аналогичная реальной. Их эксплуатация показала, что при высокой стоимости эффективность применения для успешной подготовки операторов является недостаточной. Исходя из характера обучения, основной задачей является развитие интеллектуальных навыков, что достигается разработкой и внедрением компьютерных тренажеров [2].

Основной материал. При проектировании компьютерных тренажеров для обучения операторов человеко-машинных систем управления можно выделить следующие задачи, которые необходимо решить:

1. Согласование характеристик машинной части полуавтоматической системы управления с психофизиологическими возможностями человека-оператора на уровне их динамического взаимодействия.
2. Наблюдение и анализ данных.
3. Построение оптимального плана наблюдений за состоянием человеко-машинной системы.
4. Разработка алгоритма генерации технологических ситуаций, требующих принятия решений от оператора.
5. Выбор оптимального решения самой системой.
6. Оценка и сравнение с оптимальными решениями, принятыми оператором [3].

Обобщенная блок-схема функционирования компьютерных тренажеров для обучения операторов человеко-машинных систем управления приведена на рис. 1.

Для решения задачи согласования характеристик машинной части полуавтоматической системы управления с психофизиологическими возможностями человека-оператора необходимой является разработка человеко-машинного интерфейса, которая включает в себя следующие аспекты:

- область задач: условия и цели, ориентированные на пользователя;
- область машины: среда, с которой взаимодействует компьютер;
- области интерфейса: непересекающиеся области, касающиеся процессов человека и компьютера, не относящиеся к сфере взаимодействия;
- входящий поток: поток информации, который начинается в области задач, когда пользователь имеет несколько задач, которые требуют использования компьютера;
- выходной поток: поток информации, который возникает в машине;

- обратная связь: узлы взаимодействия, проходящие через интерфейс, оцениваются и подтверждаются.

В ходе решения задачи наблюдения и анализа данных ключевым моментом является разработка алгоритмического процесса, направленного на получение указанного плана из исходного плана (программы) проведения наблюдений. В работе [4] было предложено следующее решение данной задачи. Для характеристики состояния человеко-машинной системы описан конечномерный вектор основных контролируемых параметров $y = \{y_j(t)\}_{j=1}^m$.

В общем случае, на основании априорной информации на определенном интервале эксплуатации T вектор y изменяется как неопределенный процесс $y(t), t \in T, y \in Y$ при начальном состоянии, заданном начальным условием $y(t_0) = y_0$. Область работоспособности человеко-машинной системы – D при $y(t) \in D, \forall t \in T$ представлена в виде:

$$D = \{y(t) : a_j \leq y(t) \leq b_j, \forall t \in T\}, \tag{1}$$

где $a_j, b_j, j = \overline{1, m}$ - заданные ограничения на компоненты y .

Предполагается, что в данной задаче оптимального планирования наблюдения параметров состояния человеко-машинной системы в качестве математической модели эволюции системы рассматривается стохастическое дифференциальное уравнение:

$$y(t) = A \cdot F(t) + \eta(t), t \in T_p \subseteq T, \tag{2}$$

где $A = \|a_{ij}\|_{i=1, j=1}^{n,m}$ - матрица коэффициентов модели $y(t)$; $F(t) = \{F_j(t)\}_{j=1}^m$ - заданный набор непрерывных детерминированных функций времени; $\eta(t)$ - погрешности принятой модели.

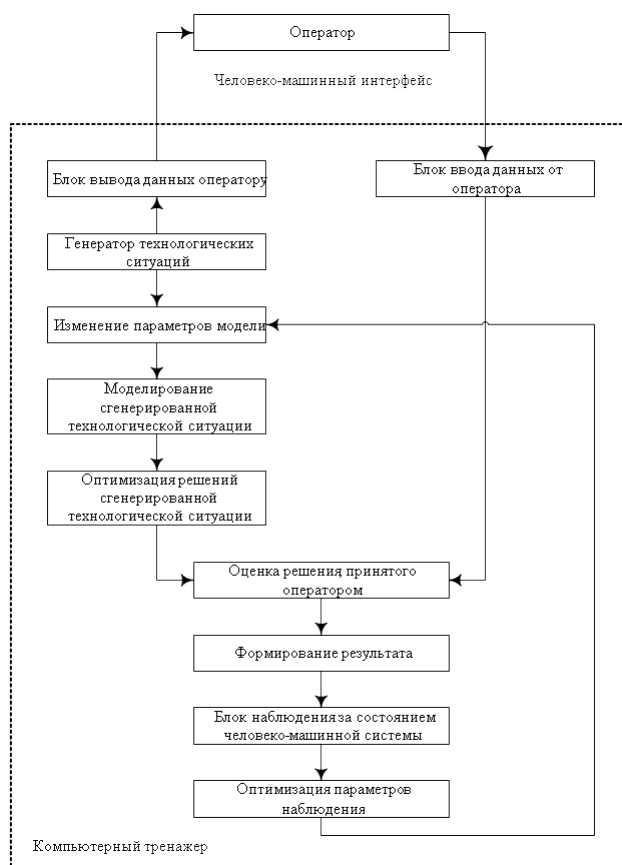


Рис. 1. Блок-схема функционирования компьютерных тренажеров для обучения операторов человеко-машинных систем управления.

Модель (2) можно рассматривать как разложение системы векторов $y(t)$ по некоторому детерминированному базису векторного пространства. Как вариант, движение компонентов $y = \{y_j(t)\}_{j=1}^m$ к границам области D (1) вследствие износа и естественного старения элементов системы, уменьшения

запаса ее работоспособности, можно рассматривать как равноускоренное прямолинейное движение [5].

Для результатов некоторого контроля $z = \{z_k(t)\}_{k=1}^p$ предложена следующая модель:

$$z(t_k) = y(t) + \varepsilon(t_k), t_k \in T_p \subseteq T, k = \overline{1, p}, \tag{3}$$

где $\varepsilon(t_k)$ - погрешность, обладающая стохастическими характеристиками.

Если задать следующий план наблюдений:

$$\Theta = \{\gamma_k, H_k\}_{k=1}^p, \tag{4}$$

где $\gamma_k \in \Gamma_k = \{0; 1\}$ - программа измерений (1 – измерение проводится, 0 – измерение не проводится); $H_k \in \Xi_k$ - последовательность матриц, указывающая на состав измеряемых параметров из потенциального множества Ξ_k , то модель (3) принимает следующий вид:

$$z(t_k) = \gamma_k H_k x(t) + \varepsilon(t_k), t_k \in T_p \subseteq T, k = \overline{1, p}. \tag{5}$$

Формирование оптимального плана можно осуществить на основе метода последовательного планирования [6]. Смысл данного метода состоит в последовательном приближении к Θ^{opt} при рассмотрении результатов минимаксной обработки каждого очередного измерения для построения нового Θ . Метод последовательного планирования дает возможность получить Θ^{opt} и сокращает на данной основе количество наблюдений за $y(t)$ без ухудшения точности оценок состояния человеко-машинной системы. Алгоритм реализации рассматриваемого метода может быть описан следующим образом.

1. Используя априорную информацию об ошибках модели и наблюдаемых параметрах, а также первоначальные значения H_0 и начальные ограничения, определяют первое приближение к оптимальному плану $\Theta_1^{opt} : \Theta_1^{opt} = \arg K^*$, где K - критерий оптимальности по принципу минимакса.

2. Производя, согласно Θ_1^{opt} , очередное наблюдение, уточняют значения оцениваемых параметров H_1 .

3. Уточненные параметры H_1 служат новой информационной базой для построения следующего приближения к оптимальному плану Θ_2^{opt} .

4. Старый план Θ_1^{opt} заменяется на новый Θ_2^{opt} , а старые оценки – на новые.

5. Переход к п. 2, пока выполняется условие: $P_\Sigma = \sum_{k=1}^p \gamma_k$, где P_Σ - сумма затрат на каждое проведенное

измерение в определенном интервале наблюдения $\tilde{T} \subseteq T_p$.

6. Построен оптимальный, в смысле критерия K , план $\Theta^{opt} = \Theta_{P_\Sigma}^{opt}$.

Гарантированная точность оценки позволяет установить достоверный предел точности при заданной модели эксперимента. Полученный оптимальный план включает только те наблюдения, которые могут пополнять исходную совокупность сведений новыми данными.

Достижение результата в выборе оптимального решения сгенерированных технологических ситуаций связано со сложными комбинаторными задачами, для которых современные средства вычислительной техники оказываются порой бессильными. Одним из эффективных выходов в данном случае является создание эвристических методов, не гарантирующих получение точного решения оптимизационной задачи, но дающих результат, достаточно близкий к оптимальному, за приемлемое время.

Одним из направлений в этой области является использование эволюционных принципов логического проектирования. Метод эволюционного логического проектирования (Evolvable Hard-ware, ЭЛП) — это метод синтеза и оптимизации решений, представленных в виде хромосом, с помощью эволюционных алгоритмов.

Простейший эволюционный алгоритм (называемый часто генетическим алгоритмом) выглядит следующим образом. Для генетической кодировки численных значений оптимизируемых параметров, наличия либо отсутствия некоторых специфических свойств сложной системы, исполняемых частей компьютерных программ, и т. д. используются двоичные числа. Каждый оптимизируемый параметр представляется последовательностью двоичных битов (генов). Полный набор генов (закодированных параметров) называют хромосомой. Каждая особь содержит полный набор хромосом (геном). Приспособленность (селективное качество) особи определяется тем, насколько хорошо данный набор параметров удовлетворяет условиям решаемой задачи. Фиксированное число особей образуют популяцию.

Эволюционный процесс начинается с начальной популяции, составленной из особей, геномы которых заполнены случайными генами (численные значения оптимизируемых параметров выбраны случайно в требуемых диапазонах). Целевая функция вычисляется индивидуально для каждой особи, после чего последняя приобретает селективное качество (приспособленность). Из популяции выбираются

две родительские особи, которые производят две особи-потомки (репликация родителей). Один из рецептов выбора родителей таков: чем выше приспособленность особи, тем выше для нее вероятность быть выбранной в качестве родителя. Генетические изменения в процессе репликации достигаются благодаря двум ключевым операторам алгоритма: мутации и кроссоверу. При мутации один или несколько битов гена потомка случайно инвертируются (относительно соответствующего гена родителя). При кроссовере гены потомков обмениваются комплементарными связными порциями битов.

После репликации для каждого потомка вычисляется целевая функция и им присваивается приспособленность. Далее из популяции выбираются две особи, на места которых помещаются особи-потомки. Один из рецептов отбора особей из популяции следующий: если данный потомок более приспособлен, чем наименее приспособленная особь в популяции, то последняя заменяется данным потомком. Важно, что численность популяции при этом сохраняется. Затем выбирается новая пара родителей и процесс повторяется.

Эволюционный процесс разумно остановить, когда, например, все особи в популяции оказываются одинаково приспособленными, так что нельзя ожидать дальнейшего улучшения, либо все соответствующие друг другу гены совпадают по битам [7].

Выводы. Среди задач, которые необходимо решить при проектировании компьютерных тренажеров человеко-машинных систем управления, несмотря на большой интерес к ним, все еще остаются актуальные проблемы, требующие глубоких исследований. В первую очередь к ним можно отнести вопросы, связанные с оптимизацией и моделированием. В частности, применение эволюционных алгоритмов при проектировании таких систем может значительно увеличить их быстродействие и эффективность. Кроме того, при моделировании динамических режимов работы человеко-машинных систем целесообразно применить статические модели, а изменение параметров во времени осуществлять добавочными операторами в виде динамических звеньев.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Trentesaux D., Moray N., Tahon C. Integration of the human operator into responsive discrete production management systems // *European Journal of Operational Research*, Vol. 109/ - 1998. - pp. 342-361.
2. Oborski P., Buczacki A. Process oriented organisation and human factors in computer integrated manufacturing // *Proceedings of the International Conference: Computer Integrated Manufacturing 2001 - CIM'01, Zakopane 7. - 2001. - pp. 234-238.*
3. Куник Е. Г., Коваленко А. Н., Ляшенко С. А. Архитектура компьютерного тренажера для обучения операторов АСУ ТП // *Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. - 2009. - № 1. - С. 128-131.*
4. Розенбаум А. Н., Никитин А. И. Планирование наблюдений в человеко-машинной системе // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. - 2011. - № 2. - С. 117-122.*
5. Розенбаум А. Н., Никитин А. И. Определение остаточного эксплуатационного ресурса судовых человеко-машинных систем // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Морская техника и технология. - 2009. - № 2. - С. 39-44.*
6. Малышев В. В., Красильщиков М. Н., Карлов В. И. Оптимизация наблюдения и управления летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1989. - 312 с.
7. Неклюдов И. М., Клепиков В. Ф., Корда В. Ю. Эволюционные компьютерные технологии: наукометрическое исследование // *Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение. - 2005. - №2. - С. 121-128.*

АНЗИН Виталий Олегович – к.т.н., доцент, кафедра Теоретической электротехники и электронных систем Национального университета кораблестроения им. адм. С. О. Макарова.

Научные интересы: телекоммуникационные системы и сети, имитационное моделирование, анализ видео, распознавание образов, информационные технологии.

ГОЛОВКО Алексей Владимирович – к.т.н., кафедра Теоретической электротехники и электронных систем Национального университета кораблестроения им. адм. С. О. Макарова.

Научные интересы: человеко-машинные системы, биометрия, анализ видео, распознавание образов, информационные технологии.

ЯДЗИД Джамал Измаил Альшайх – аспирант, кафедра Теоретической электротехники и электронных систем Национального университета кораблестроения им. адм. С. О. Макарова.

Научные интересы: человеко-машинные системы, управление технологическим процессом, информационные технологии.