

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПО ЭРГНОМИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ САМООРГАНИЗАЦИИ С- ПРОСТРАНСТВА

*Киевский государственный технический университет
строительства и архитектуры*

Описывается разработанный автором аппарат геометрического моделирования эргатических систем (ЭС), включающий аксиоматическую волновую модель, теорию самоорганизации, инварианты, преобразования, модели компонентов и процессов. Предсказания теории кладутся в основу формализации цели и критериев оптимальности. Приводятся примеры оптимизации ЭС и расчета эргономических параметров.

Актуальность темы. Распространенность и серийность ЭС, тенденция к возрастанию сложности и масштабности их применения, увеличение тяжести последствий аварий определяют проблемы обеспечения надежности, безопасности и качества систем как приоритетные. О понимании их важности в специфических условиях Украины свидетельствуют три Постановления Кабинета Министров по вопросам эргономики, принятые за последние полтора года.

Постановка задачи. Успешность разрешения указанных проблем определяется достижением биомеханической, информационной, технико-эстетической и т.д. совместимости системы. Существующие методики проектирования [1,2] не обеспечивают этого; рост уровня автоматизации порождает новые проблемы [3]. Как показано в [4,с.3-8], причина заключается в трудностях формализации цели и критериев оптимизации в условиях действия многочисленных разнородных факторов. Технически это связано с несоответствием аксиоматических основ при-

меняемого математического аппарата свойствам системы, таким, как *открытость, неаддитивность, самоорганизация* и т.д. Отсюда вытекает необходимость построения общей модели, в аксиоматику которой они были бы заложены, и разработки теории самоорганизации. Далее определяются средства графического представления ее предсказаний; моделируются компоненты и процессы ЭС; создаются методики многокритериальной оптимизации; определяются эргономические рекомендации для проектирования оборудования, отбора и обучения операторов.

Методы работы объединены общей идеологией *системного подхода*. Каждому этапу исследования соответствует специфический метод (группа методов): построению общей модели – аксиоматический; определению самоорганизации – интуитивного конструирования; далее – методы теории графов, функторные преобразования и т.д. Средства верификации: интуиционистские правила вывода; сравнение с организацией систем естественного происхождения и нормативными данными для теории самоорганизации.

Общая аксиоматическая модель [4,с.42-66, 5] включает 17 аксиом, разделенных на 4 группы. *Аксиомы существования (1.1-1.5)* устанавливают соотношения модальностей существования (**A**, **П**) С-пространства (Сп), множеств и элементов, правила их взаимного перехода, в зависимости от воздействия внешних субъекта (С) и объекта (О). Элементами являются волны и солитоны – абстракции соответствующих физических объектов. Аксиомы 1.1-1.5 обладают наивысшим приоритетом. *Аксиома состояния (2.1)* определяет связь С-пространства, множеств и элементов на макро- и микроуровнях как зависимость модальности состояния элементов ((\uparrow, \downarrow)) от хода эволюции Сп и наоборот, зависимость направленности эволюции пространства от модальности состояния элементов. Приоритет ниже, чем у аксиом первой группы. *Ак-*

сиомы взаимодействия (3.1-3.9) характеризуют условия взаимодействия структур Сп и существование или отсутствие обратных операций; они применяются только совместно с аксиомами 1.1-2.1. Операции являются абстракциями различных видов взаимодействий физических волн (суперпозиции С, коинциденции К, интерференции И, дифракции Д); они элементарны и неразложимы на более простые. Аксиомы измерения (4.1-4.2) устанавливают процедуры взаимодействия с координатной системой (Кс) для волн и солитонов. Измерения характеризуются: несоизмеримостью характеристик разных уровней организации; изменением состояния Кс и измеряемого элемента; разными результатами повторных измерений в одной Кс; разными результатами измерения элемента в разных Кс. Модель, удовлетворяющая аксиомам 1.1-4.2, называется волновой моделью (Вм) С- пространства.

Теория самоорганизации [4,с.67-97] ограничивает способы образования С- множеств (*расслоения*), исходя из *симметрии С и О относительно Сп* и *целостности универсума*. Это приводит к *кососимметричности Сп* и необходимости *гармонического отношения однородных характеристик текущей стадии расслоения к характеристикам предыдущей стадии* с коэффициентом «золотого сечения». Приведем некоторые предсказания теории для сценария (1С, 1О).

1. Количество элементов n , в зависимости от стадии расслоения m :

$$n \approx \frac{1}{\sqrt{5}}((\Phi + 1)^m - (-\Phi - 1)^{-m}), \quad (1)$$

т.е. выражается числами Фибоначчи (1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21,...).

2. При расслоении С- множества с *потенциалом π* (интуитивная характеристика способности к взаимодействиям, «захваченная» часть универсума; выражается в условных единицах относительно Сп) каждому элементу передается потенциал π_n :

$$\pi_n = \frac{\pi\Phi}{n}, \quad (2)$$

где n - индекс текущего слоя.

Поскольку потенциал S_n (S - множеств) не равен сумме потенциалов составляющих элементов, *связанные с π характеристики любого слоя разнообъемны характеристикам последующих и предыдущих слоев.* Поэтому *шенноновская оценка количества информации должна проводиться для каждого слоя отдельно.*

4. Длина l_k волны текущего слоя по отношению к длине волны предыдущего слоя определяется по формуле

$$l_k = \frac{l_{k-1}}{2n}, \quad (3)$$

где k - номер текущего слоя.

5. Связь π волны с длиной l и амплитудой A выражает

$$\pi=f(l/2,A), \quad (4)$$

где f - функция пропорциональности.

Оценкой потенциала волны является величина потенциала ее половины; не производится суммирования потенциалов половин.

6. В качестве единицы измерения времени t принят ее период. Каждый слой имеет свою t_k , т.е. время для S_n характеризуется «стрелой времени» и расслоением.. Возможны сценарии расслоения и *свертки* (процесс, обратный расслоению), для которых время существования каждого слоя, выраженное в относительных единицах, одинаково.

7. Расслоение-свертка происходят по сценариям, определяемым внешними условиями (количество S и O , степень компенсации потерь потенциала) с образованием параллельных, перпендикулярных, либо и тех, и других элементов. Количество групп и порядки симметрии каждого слоя определяют предложения 3.5-3.7 [4]. Связь законов сохранения и групп симметрии аналогична устанавливаемой теоремой Нетер.

8. Условия, необходимые для реализации каждой из операций, а также их частные случаи, описаны в [4,с.81-85]; список измеряемых характеристик и процедура выбора K_c – в [4,с.87-90].

9. Система аксиом V_m полна и непротиворечива в том смысле, что проведенные исследования не требуют введения дополнительных положений и не выявляют противоречий между аксиомами разных групп.

Переход к графическим объектным моделям [4,с.98-124, 5,с.11-12]. Даже реалистические изображения волновых процессов условны [6]; для разных этапов проектирования необходимы не все, а только некоторые характеристики V_m . Поэтому целесообразно рассматривать закономерности самоорганизации S_p как набор инвариантов, и, приближенно выражая специфические S - преобразования последовательностями топологических и проективных отображений, переходить от V_m к гомоморфным графическим *объектным моделям* в виде *S- графов и РС- диаграмм*. Построена теория инвариантов; соответственно классифицированы отображения и модели. Определены конструктивные схемы и условия применимости отображений. Разработаны способы привязки условных значений π к физическим единицам измерения (*калибровка*) и их графическое выражение – *метризация* графов и диаграмм.

Моделирование организации ЭС в целом [5,с.12-30] основано на интерпретации человеческого и машинного компонентов как косо-симметричных половин S_p и воздействий внешней среды как действий S и O . В этом случае различные сценарии расслоения-свертки и прогнозируемые распределения потенциалов и других характеристик являются формальными выражениями условий целостности, определяющими совместимость компонентов ЭС. Калибровка производится по нормативным данным. Рассматриваются две формы совместимости: интеграция и целостность; последняя выражается схемой:



где o_i, o_u, h_i, h_u - наборы характеристик операторского восприятия и управления, информационной и управляющей подсистем, определяемые для каждого слоя и элемента, исходя из сценариев расслоения-свертки Сп; \rightarrow - обозначают принадлежность человеческому и машинному компонентам o_s и h_s ; \leftrightarrow - отношения функциональной симметрии.

На основании условий интеграции и целостности получены рекомендации по эргономической оптимизации компоновки ЭС различных типов; приведены решения задач определения оптимального числа операторов и подсистем, компоновочных схем, пропорций и размеров зон размещения, приборов, органов; улучшения условий труда за счет введения дополнительных стабилизирующих факторов.

Моделирование операторской деятельности [5,с.31-72] производится на основе С- графов и РС- диаграмм. При этом определялись *системные характеристики* – последовательность, относительный вес, количественные параметры различных видов восприятия, распознавания, принятия решения, действий управления; их связь с процессами взаимодействия с внешней средой; влияние на психофизическое состояние; корреляция с процедурами отбора и подготовки операторов. Происходящие процессы формализовывались как отношения и сценарии самоорганизации Сп; например, цель действий управления – как восстановление целостности Сп и т.д. В результате получены рекомендации, позволяющие построить информационные системы, основанные на обладающих наибольшими весами интуитивных и эмоционально не нейтральных формах кодирования данных, и органы управления, использующие наиболее быстрые интуитивно обусловленные и рефлекторные

формы движений. Рассмотрены задачи учета естественных ритмов при планировании труда; влияния геометрии помещения на психоэмоциональное состояние; выбора кодов и колористических решений и т.д.

Совершенствование проектирования информационных систем и органов управления [5,с.73-110] производилось на основе данных ранее рекомендаций. Стратегия оптимизации состоит в следующем. Условия (5) рассматриваются как формальное выражение цели оптимизации; целевые функции (ЦФ) выражают отклонение рассматриваемых вариантов от сценария самоорганизации; весовые коэффициенты частных ЦФ определяются в соответствии с местом элементов и слоев в структуре Сп; обобщенная ЦФ определяется как их линейная комбинация; наилучшее решение соответствует ее минимуму. Проблема ограничений сводится к правильной калибровке. Размерность пространства параметров переменна и определяется выбранным уровнем детализации, т.е. количеством шагов самоорганизации. Приводятся вытекающие отсюда требования относительно структуризации данных, автоматизации проектирования, архитектуры базы данных, иллюстрируемые пакетом демонстрационных программ СОМР. Качество окончательного решения определяется методом экспертных оценок; приводится методика определения весов и обработки оценок, согласованная с моделями восприятия и распознавания. Преимущества изложенного подхода к решению многокритериальных оптимизационных задач (учет неоднородных факторов, сокращения числа рассматриваемых вариантов и т.д.) подтверждается примером комплексной компоновки пульта криогенной топливной системы (включая выбор кодов, подсказок, цветовых решений).

Совершенствование отбора, контроля и подготовки операторов [5,с.111-144] призвано повысить надежность предлагаемых решений за счет улучшения качества человеческого фактора. Анализируются не-

достатки существующих методов геометрического представления данных психологических исследований [7]; на основе аппарата Сп предлагается улучшенная *модель субъективного пространства*, коррелирующая с моделями восприятия, распознавания и процедурой оценки систем. Показано ее применение для подбора проективных психологических методов исследования личности. Процедура измерения в Сп используется для совершенствования контроля состояния оператора (сокращение числа измерений, определение весов и предельных значений показателей и т.д.). Обеспечение требований, следующих из определенных в предыдущих пунктах характеристик, положено в основу предлагаемой программы спецподготовки операторов.

[Контактный тел. (044) 543-58-94]

Литература

1. *Кербер Л.Л.* Компонировка оборудования на самолетах.-М.:Машиностроение,1972.-304 с.
2. Человеческий фактор, т.1-6.-М.:Мир,1991-92
3. Циркуляр ИКАО №234-AN\142. Человеческий фактор. Эксплуатационные последствия автоматизации в оборудованных передовой техникой кабинах экипажа.-Монреаль,1992.-Сб. № 5.-53 с.
4. *Ковалев Ю.Н.* Геометрическое моделирование эргатических систем: разработка аппарата.-К.:КМУГА,1996.-134 с.
5. *Ковалев Ю.Н.* Эргономическая оптимизация управления на основе моделей С- пространства.-К.:КМУГА,1997.-152 с.
6. *Douglas Peden.* Wave Space Art and Geometry //The 7-th Intern. Com. Graph and Deskr. Geom.-Krakov,1996.-Vol.1.-pp.52-56
7. *Крылов В.Ю.* Геометрическое представление данных в психологических исследованиях.-М.:Наука,1991.-118 с.