

Системный анализ и моделирование слабо структурированных и плохо формализуемых процессов в социотехнических системах

О.М.Проталинский, И.М.Ажмухамедов
ФБГОУ АГТУ, г.Астрахань

Введение.

Современный мир представляет собой сложную, тесно взаимосвязанную систему. Поэтому важно иметь надежный инструмент, позволяющий действовать осмысленно и не наделать ошибок, цена которых часто бывает слишком высока [1].

Таким инструментом является методология системного анализа или, как принято говорить, системного подхода, сфера действия которого в настоящее время весьма разнообразна и постоянно расширяется: от постановки научных исследований и теоретических обобщений до проектирования технических объектов и управления общественными институтами.

На сегодняшний день можно говорить о наступлении этапа научного, системно-междисциплинарного подхода к проблемам науки, образования, техники и технологии. Данный этап, концентрирует внимание не только на вещественно-энергетических, но и на информационно-логических, системно-междисциплинарных аспектах построения и исследования системно-информационной картины мира [2].

При исследовании синергетических процессов и систем на стыке различных наук часто возникают плохо формализуемые и плохо структурируемые проблемы.

Поскольку в системном анализе тесно переплетены элементы науки и практики, поэтому далеко не всегда обоснование решений таких проблем с помощью системного анализа связано с использованием строгих формализованных методов и процедур. Допускаются и суждения, основанные на личном опыте и интуиции, необходимо лишь, чтобы это обстоятельство было ясно осознано [3].

При этом центральной процедурой системного анализа является построение обобщенной модели, отображающей все существенные факторы и взаимосвязи реальной ситуации. Полученная модель исследуется с целью выяснения близости результата применения того или иного из альтернативных вариантов действий к желаемому, сравнительных затрат ресурсов по каждому из вариантов, степени чувствительности модели к различным нежелательным внешним воздействиям и т.д.

Принято различать естественные, искусственные и социотехнические типы моделей [4].

В системах первого типа связи образованы и действуют природным образом. Примерами таких систем могут служить экологические, физические, химические, биологические и т.п. системы.

В системах второго типа элементы и связи образованы в результате человеческой деятельности, т.е. являются выходом сознательно выполняемых человеком процессов. Искусственный или технический тип модели описывает существующие или проектируемые машины, приборы, аппараты и устройства как технические системы и привязывает всякую человеческую деятельность к определенному системному окружению, внешнему по отношению к рассматриваемой системе. В таком понимании техническая система является искусственным предметом, который конструируется и производится с помощью инженерных средств.

Техническая система представляет собой взаимосвязь предметов, и граница системы проводится, так сказать, по «стенкам корпуса машины» [5].

Функция технической системы описывается как преобразование, которое она выполняет. Человеческое участие, например, управление и обслуживание, рассматривается лишь в форме дополнительных входных величин. Структура системы описывается в данном типе модели через приборно-технические связи и соединения между частями системы, а ее

характерные величины в соответствии с классификацией, предложенной Н. Виннером, обычно подразделяются на три класса, которые ориентированы на вещество, энергию и информацию. Эти три атрибутивных класса могут подвергаться трем отличным друг от друга типам преобразования, а именно: изменению (количественному или качественному), переносу и накоплению.

Несмотря на то, что данная модель технических систем стала в свое время большим прогрессом в формировании и развитии научно-технической теории, она ограничена, т.к. ее построение исходит от узкого понимания, согласно которому к технике причисляются лишь искусственно созданные предметы. Технический тип модели не учитывает ни условий возникновения, ни условий применения технических предметов, и пренебрегает человеком, который имеет с ними дело. Как следствие, такая модель недостаточно отражает человеко-машинные отношения, которые имеют большое значение. Например, в случае рассмотрения эргономических аспектов, оптимальное с чисто инженерной точки зрения оформление системы, тем не менее, не может быть признано удовлетворительным.

Ограниченность моделей технического типа преодолевается с помощью расширения их рамок и перехода к социотехническому типу моделей, основными элементами которых являются человек (его знания, умения, настрой, ценностные установки, отношение к выполняемым функциям и т.д.), техническая система (устройства, инструменты и технологии преобразующие вход в выход) и действующее окружение. Исходным пунктом построения таких моделей является не искусственный предмет, соответствующий определенной цели, а процесс преобразования, который оформляется человеком, чтобы изменить существующее состояние мира для удовлетворения своих потребностей.

Данное преобразование является функцией системы, а входные и выходные переменные систематизируются в соответствии с основными категориями материи: веществом, энергией и информацией или их комбинацией.

Постановка задачи.

Изучению социотехнических систем (СТС) посвящен ряд работ отечественных и зарубежных ученых, например [4; 6-9, 16-18].

В них термин «социотехнические системы» относится к изучению взаимодействия инфраструктурных элементов общества, предметных реализаций социума, различных технологий с одной стороны, и человеческого поведения с другой стороны. Общество, социальные институты и их подструктуры также рассматриваются как сложные социотехнические системы.

Концепция социотехнических систем в противоположность теориям технологического детерминизма, утверждавшим одностороннее воздействие технологии на человека в процессе выполнения им трудовых операций, основывается на идее взаимодействия человека и машины. При этом предполагается, что проектирование технических и социальных условий должно осуществляться таким образом, чтобы технологическая эффективность и гуманитарные аспекты не противоречили друг другу [8].

В качестве важнейшего элемента социотехнических систем выступает человек. Наличие антропогенного фактора приводит к тому, что многие характеристики таких систем перестают быть строго определенными: связи между подсистемами описываются нечетко, остается открытым вопрос о количестве и составе входных данных, поскольку неизвестно, что может повлиять на поведение человека как элемента системы и т.д. Значения большинства входных и выходных факторов в социотехнических системах численно не измеримы. Уровень (сила) управляющих воздействий также определяется нечетко. Труднопредсказуем эффект влияния управляющих воздействий на антропогенные элементы системы. Кроме того, поскольку цель системы при целеполагании часто формулируется лицом принимающим решение (ЛПР) качественно (нечетко), это приводит к ее «размытости», появлению «диапазона допустимости» при достижении цели (рис.1).

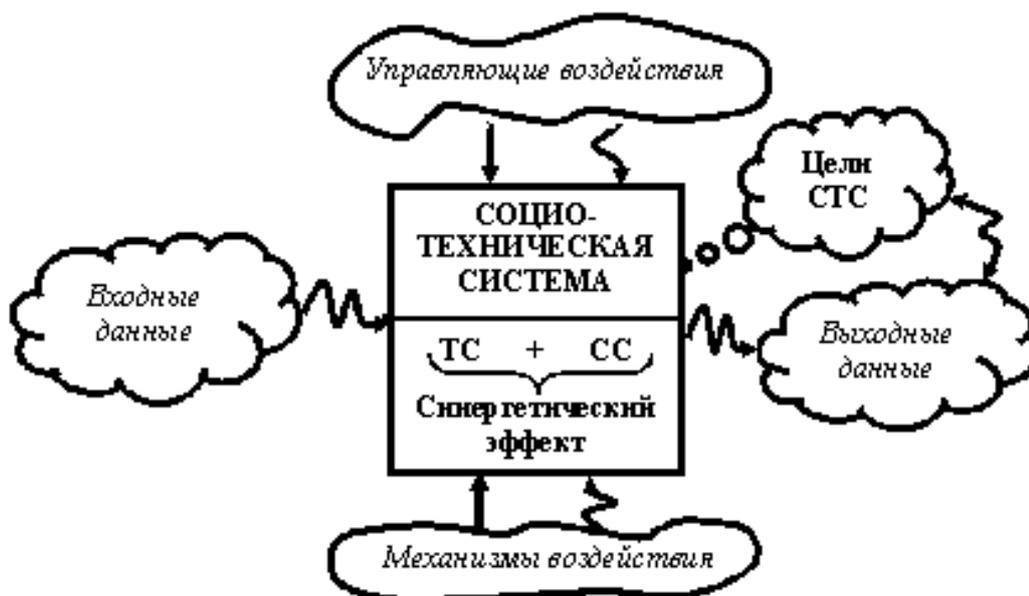


Рис.1. Структура неопределенностей в работе СТС
(ТС – техническая подсистема СТС; СС – социальная подсистема СТС).

Если для раскрытия неопределенностей при исследовании технической подсистемы СТС применимы классические методы математической статистики, то для антропогенной составляющей они не пригодны, поскольку неопределенность в данном случае носит субъективный характер.

В отличие от объективной вероятности, которая отражает относительную частоту появления какого-либо события в общем объеме наблюдений, под субъективной вероятностью понимается мера уверенности некоторого человека или группы людей (экспертов) в том, что данное событие в действительности будет иметь место. Как мера уверенности человека в возможности наступления какого-либо события субъективная вероятность может быть формально представлена различными способами. Наиболее часто она представляется как вероятностная мера на множестве событий, полученная экспертным путем [3].

Субъективная вероятность в современных работах в области системного анализа не просто представляет меру уверенности на множестве событий, а увязывается с системой предпочтений ЛПР, и в конечном итоге с функцией полезности, отражающей его предпочтения на множестве альтернатив.

При взаимодействии технической и социальной подсистем СТС возникает, так называемый, синергетический эффект, заключающийся в том, что взаимодействие придает системе новые свойства, отсутствовавшие у отдельно взятых элементов.

Таким образом, моделирование процессов, происходящих в СТС, представляет собой ярко выраженную СС и ПФ проблему. Кроме того, большая часть процессов в СТС подвержена сильному влиянию случайных факторов, большинство параметров не могут быть измерены количественно, значительная часть реальных СТС являются сильно распределенными системами, не имеющими четких границ.

Поскольку методы классической теории систем оказываются практически непригодными для использования в качестве научно-методологического базиса исследования СТС, возникает необходимость расширения арсенала классической теории систем за счет использования нечетких множеств, применения лингвистических переменных, нечеткого когнитивного моделирования и неформального оценивания с целью разработки унифицированного подхода к моделированию социотехнических систем.

Решение задачи.

Для решения широкого круга задач, связанных с моделированием слабоструктурированных и плохо формализованных процессов, их прогнозированием и поддержкой принятия решений часто используются нечеткие когнитивные модели (НКМ). Как известно, неоспоримыми их достоинствами по сравнению с другими методами, являются возможность формализации численно неизмеримых факторов, использования неполной, нечеткой и даже противоречивой информации [10].

При построении нечеткой когнитивной модели (НКМ) объект исследования обычно представляют в виде знакового ориентированного графа.

В качестве математической модели СТС можно принять следующий кортеж:

$$STS = \langle G, QL, S, R, \Omega \rangle, \quad (1)$$

где G – ориентированный граф, имеющий одну корневую вершину и не содержащий горизонтальных ребер в пределах одного уровня иерархии; QL – набор качественных оценок уровней каждого фактора в иерархии (лингвистическая переменная); S – множество весов ребер графа G , отражающих степень влияния концептов на заданный элемент следующего уровня иерархии; R – набор правил для вычисления значений концептов на каждом из уровней иерархии G ; Ω – индекс схожести, позволяющий распознавать лингвистические значения концептов.

В свою очередь G также представляет собой кортеж:

$$G = \langle \{GF_i\}; \{GD_{ij}\} \rangle, \quad (2)$$

где $\{GF_i\}$ – множество вершин графа (факторов или концептов в терминологии НКМ); $\{GD_{ij}\}$ – множество дуг, соединяющих i -ую и j -ую вершины (множество причинно-следственных связей между концептами); $GF_0 = K$ – корневая вершина, соответствующая уровню комплексного показателя качества работы СТС в целом (интегральному критерию – целевому концепту).

Для нахождения начальных значений указанных выше концептов при необходимости можно также построить НКМ более низкого уровня. Такой иерархический подход позволяет упростить построение НКМ для систем высокой степени сложности.

Значения концептов, участвующих в иерархии, в большинстве СТС представляют собой численно не измеримые величины. Для их оценки необходимо ввести лингвистическую переменную «Уровень фактора» QL и определить терм-множество ее значений, например:

$$QL = \{\text{Низкий (Н)}, \text{Ниже среднего (НС)}, \text{Средний (С)}, \text{Выше среднего (ВС)}, \text{Высокий (В)}\} \quad (3).$$

В качестве семейства функций принадлежности для терм-множества (3) можно использовать стандартный пятиуровневый 01-классификатор [11]:

$$\text{Н: } \mu_1(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 0.15 \\ 10(0.25 - x), & 0.15 \leq x < 0.25 \\ 0, & 0.25 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (4.1)$$

$$\text{НС: } \mu_2(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 0.15 \\ 10(x - 0.15), & 0.15 \leq x < 0.25 \\ 1, & 0.25 \leq x < 0.35 \\ 10(0.45 - x), & 0.35 \leq x < 0.45 \\ 0, & 0.45 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (4.2)$$

$$C: \mu_3(x) = \begin{cases} 0, 0 \leq x < 0.35 \\ 10(x - 0.35), 0.35 \leq x < 0.45 \\ 1, 0.45 \leq x < 0.55 \\ 10(0.65 - x), 0.55 \leq x < 0.65 \\ 0, 0.65 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (4.3)$$

$$BC: \mu_4(x) = \begin{cases} 0, 0 \leq x < 0.55 \\ 10(x - 0.55), 0.55 \leq x < 0.65 \\ 1, 0.65 \leq x < 0.75 \\ 10(0.85 - x), 0.75 \leq x < 0.85 \\ 0, 0.85 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (4.4)$$

$$B: \mu_5(x) = \begin{cases} 0, 0 \leq x < 0.75 \\ 10(x - 0.75), 0.75 \leq x < 0.85 \\ 1, 0.85 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (4.5)$$

где $\mu_i(x)$ соответствующие функции принадлежности нечетких чисел, заданных на отрезке $[0,1]$ вещественной оси.

Суть данного нечеткого классификатора в том, что если о факторе неизвестно ничего, кроме того, что он может принимать любые значения в пределах 01-носителя (принцип равнопредпочтительности), а надо провести ассоциацию между качественной и количественной оценками фактора, то предложенный классификатор делает это с максимальной достоверностью. При этом сумма всех функций принадлежности для любого x равна единице, что указывает на непротиворечивость данного классификатора.

Таким образом, стандартный классификатор осуществляет проекцию нечеткого лингвистического описания на 01-носитель, при этом делает это непротиворечивым способом, симметрично располагая узлы классификации.

В этих узлах значение соответствующей функции принадлежности равно единице, а всех остальных функций – нулю. Неуверенность эксперта в классификации убывает (возрастает) линейно с удалением от узла (с приближением к узлу, соответственно). При этом сумма функций принадлежности во всех точках носителя равна единице.

Построенный классификатор есть разновидность так называемой «серой» шкалы Поспелова [12], представляющей собой полярную (оппозиционную) шкалу, в которой переход от свойства A^+ к свойству A^- происходит плавно, постепенно. Подобные шкалы удовлетворяют условиям: а) взаимной компенсации между свойствами A^+ и A^- (чем в большей степени проявляется A^+ , тем в меньшей степени проявляется A^- , и наоборот); б) наличия нейтральной точки A^0 , интерпретируемой как точка наибольшего противоречия, в которой оба свойства присутствуют в равной степени. В случае пятиуровневого нечеткого классификатора абсциссы нейтральных точек: (0.2; 0.4; 0.6; 0.8).

Таким образом, мы переходим от качественного описания уровня параметра к стандартному количественному виду соответствующей функции принадлежности из множества нечетких трапециевидных чисел:

$$\{N(0; 0; 0,15; 0,25); NC(0,15; 0,25; 0,35; 0,45); C(0,35; 0,45; 0,55; 0,65); BC(0,55; 0,65; 0,75; 0,85); B(0,75; 0,85; 1; 1)\},$$

где в нечетком числе $X(a_1, a_2, a_3, a_4)$ a_1 и a_4 - абсциссы нижнего основания, а a_2 и a_3 - абсциссы верхнего основания трапеции

Значения весов S_i из множества S весов ребер графа G могут быть получены экспертным путем. Однако для эксперта в большинстве случаев затруднительно дать непосредственные численные оценки этим коэффициентам. Поэтому предпочтительнее

могут оказаться различные ранговые методы, при реализации которых требуется лишь упорядочить критерии.

Может быть использован, например, метод нестрогого ранжирования. В соответствии с этим методом экспертом производится нумерация всех критериев по возрастанию степени их значимости. Причем допускается, что эксперту не удастся различить между собой некоторые критерии. В этом случае при ранжировании он помещает их рядом в произвольном порядке. Затем проранжированные критерии последовательно нумеруются. Оценка (ранг) критерия определяется его номером.

Если на одном месте находятся несколько неразличимых между собой критериев, то, обычно, оценка каждого из них принимается равной среднему арифметическому их новых номеров. Однако, представляется целесообразным модифицировать такой метод оценки, приняв за ранг каждого из неразличимых критериев номер всей группы как целого объекта в упорядочении [13].

Найденные предложенным способом оценки представляют собой обобщение системы весов Фишберна для случая смешанного распределения предпочтений, когда наряду с предпочтениями в систему входят и отношения безразличия.

Веса Фишберна отражают тот факт, что системе убывающего предпочтения N альтернатив наилучшим образом отвечает система снижающихся по правилу арифметической прогрессии весов [14-15.]. Поэтому эти веса представляют собой рациональные дроби, в знаменателе которых стоит сумма N первых членов натурального ряда (арифметической прогрессии с шагом 1), а в числителе – убывающие на единицу элементы натурального ряда, от N до 1 (например, $3/6, 2/6, 1/6$).

Таким образом, предпочтение по Фишберну выражается в убывании на единицу числителя рациональной дроби весового коэффициента более слабой альтернативы.

При использовании метода нестрогого ранжирования на граф G необходимо наложить систему отношений предпочтения:

$$E = \{GF_i(e)GF_j \mid e \in (>; \approx)\} \quad (4),$$

где GF_i и GF_j – факторы одного уровня иерархии G ; $>$ – отношение предпочтения; \approx – отношение безразличия.

Такая система позволяет определить обобщенные на случай предпочтения/безразличия факторы по отношению друг к другу веса Фишберна для каждой дуги GD_{ij} (веса связей).

Для вычисления значений на следующем уровне иерархии при известных значениях концептов более низкого уровня, определенных в терминах лингвистической переменной QL , и заданном множестве весов дуг S , требуется агрегировать влияния нижестоящих концептов по правилам R_i из множества R . В качестве элементов множества R могут выступать мультипликативная, аддитивная, минимаксная и другие виды сверток, определяемые спецификой влияния концептов друг на друга.

При этом под суммой или произведением двух факторов в случае лингвистических переменных понимается сумма или произведение соответствующих им нечетких чисел. В этом случае результат также является нечетким числом, которое затем необходимо лингвистически распознать.

Следует заметить, что при нахождении сверток значения некоторых показателей необходимо предварительно инвертировать, т.к. влияние данных концептов на факторы более высокого уровня может быть отрицательно. В общем случае для нахождения инверсии фактора F используется формула:

$$Inv(F) = 1 - \mu(F) \quad (5)$$

Алгоритм нахождения начальных значений концептов зависит от того, к какому типу процессов они относятся. В случае объективных процессов, вызванных техногенными или стихийными (природными) источниками, для этого, как было сказано выше, могут быть применены методы статистического анализа и/или шкалирование, в процессе применения

которого каждому значению фактора может быть поставлено в соответствие некоторое значение из терм-множества соответствующей лингвистической переменной.

В случае же отнесения процесса к субъективной категории (когда процесс связан с антропогенными источниками) для определения значения концепта строится НКМ более низкого уровня иерархии, которая отражает «модель субъекта».

При этом учитываются: уровень прав доступа субъекта к системе; уровень мотивированности действий субъекта, который, в свою очередь, зависит от степени лояльности к системе, от его психологического портрета, преследуемых им целей и т.д.; психофизические возможности субъекта; его компетентность (уровень знаний и навыков); техническая оснащенность (используемые методы и средства). Опираясь на изложенную выше общую методику построения НКМ, модель определения значения антропогенных факторов, можно представить в виде графа, представленного на рис. 2.

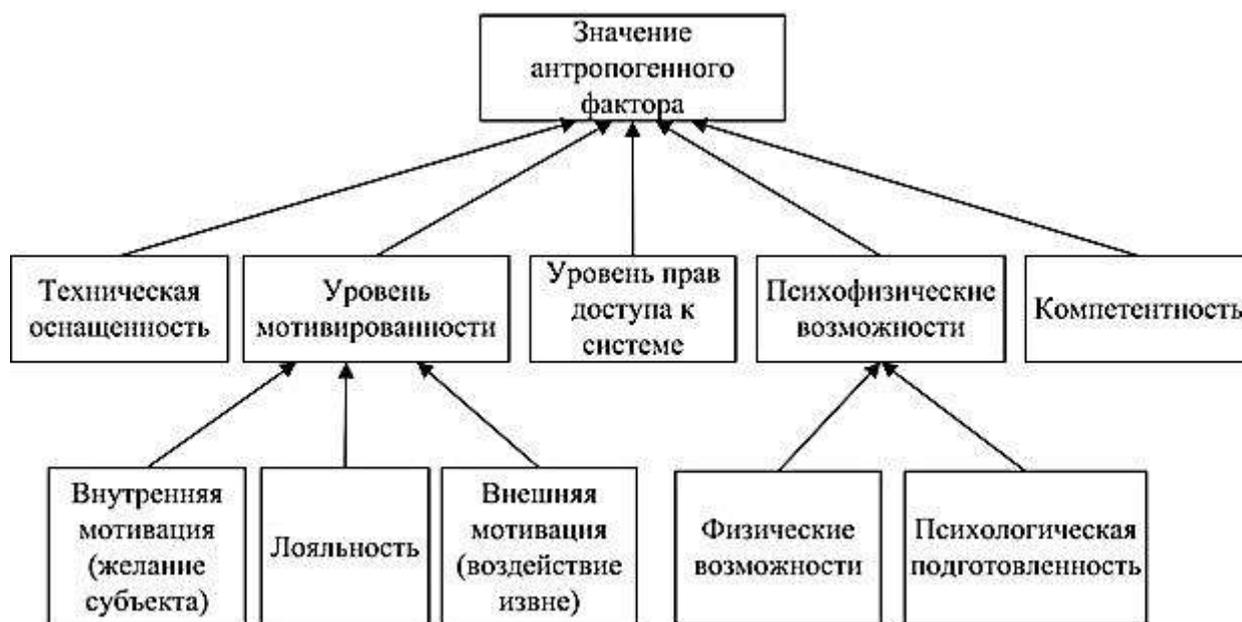


Рис.2. НКМ для определения уровня антропогенных факторов

Значения концептов, получаемые в иерархии G , представляют собой нечеткие числа, которые необходимо лингвистически распознать, чтобы выработать суждение о качественном уровне показателей. Для этого необходимо вычислить индекс схожести (ИС) Ω , характеризующий степень соответствия значения фактора той или иной качественной оценке из терм-множества лингвистической переменной QL .

Индекс схожести может быть найден следующим образом:

$$\Omega = \frac{(1 + \tilde{\rho})}{2} \quad (6); \quad \tilde{\rho} = \frac{\rho_{in} - \rho_{out}}{\rho_{in} + \rho_{out}}, \quad (7)$$

где ρ_{out} представляет собой площадь нечеткого трапециевидного числа, характеризующего результат, лежащую вне эталонного числа, а ρ_{in} - площадь, лежащую внутри этого же эталонного числа.

Определенный таким образом индекс схожести, изменяясь в диапазоне от 0 до 1, будет характеризовать близость найденной свертки к тому или иному нечеткому числу, которое, в свою очередь, соответствует элементу эталонного терм-множества. При этом обеспечивается семантическое соответствие: чем больше индекс схожести, тем выше степень соответствия вычисленного значения одному из элементов терм-множества QL .

Необходимо отметить, что все упомянутые выше параметры НКМ в общем случае могут являться функциями времени t , и при проведении динамических расчетов необходимо задать их начальные значения при $t = 0$ и выбрать шаг по времени .

Таким образом, построенная динамическая нечеткая когнитивная модель дает возможность, последовательно пройдя все уровни ее иерархии, моделировать поведение СТС во времени, оценивать состояние ее активов и выработать рекомендации по их улучшению. При этом степень обоснованности суждений может быть оценена с помощью индекса схожести Ω .

Если кроме качественных значений показателей имеются и количественные данные, то простейшим способом для их совместного учета при комплексной оценке является закругление полученных количественных оценок до качественного их описания, и последующий переход к изложенной выше модели оценки.

Найденные таким образом через определенные промежутки времени частные критерии состояния системы K_i позволяют проследить тенденцию их изменения (направление Dr (возрастает или убывает) и скорость V (низкая, средняя, высокая)). Все эти параметры могут быть объединены в единую матрицу состояния СТС SS (The State of the system):

$$SS = \begin{pmatrix} K_1 & Dr_1 & V_1 \\ K_2 & Dr_2 & V_2 \\ K_3 & Dr_3 & V_3 \\ K_4 & Dr_4 & V_4 \\ - & - & - \\ K_n & Dr_n & V_n \end{pmatrix} .$$

Первый и четвертый столбцы SS представляют собой вектор частных критериев состояния системы и весов, отражающих их вклад в интегральный показатель. Эти данные характеризуют текущее состояние СТС, позволяя оценить сложившуюся на текущий момент времени ситуацию. Остальные столбцы матрицы отражают динамику развития процесса.

В общем случае критерии в матрице SS можно сгруппировать по соответствующим направлениям оценки состояния СТС. Таким образом, каждый кортеж $\{K_i, Dr_i, V_i, i\}$ будет характеризовать состояние системы по i -му критерию, и вычисленное на основе предложенной модели значение K_i в произвольный момент времени t может быть найдено по формуле:

$$K_i(t) = K_i(t = 0) + Dr_i \cdot t \quad (8)$$

Выводы.

Таким образом, предложенный в работе подход к исследованию СТС позволяет учесть все их основные особенности: нечеткая когнитивная модель отражает нечеткость структуры социотехнической системы в целом; нечеткие связи эффективно оцениваются с помощью весов Фишберна; «размытость» значений элементов системы и целей ее функционирования преодолевается путем введения лингвистических переменных и соответствующих их терм-множеству нечетких классификаторов.

Литература:

1. Гайдес М.А. Общая теория систем (системы и системный анализ) // Винница: Глобус-пресс, 2005. - 201 с.
2. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. - М.: Синтег, 2000. - 528 с.
3. Проталинский О.М. Применение методов искусственного интеллекта при автоматизации технологических процессов. - Астрахань: Изд-во АГТУ, 2004.-184с.

4. Trist E.L. The evolution of socio-technical systems: A conceptual framework and an action research program. Ontario Quality of Working Life Center, Occasional Paper no. 2. Article Source: <http://EzineArticles.com/239366>
5. Рополь Г. Моделирование технических систем. [Электронный ресурс] <http://gtmarket.ru/laboratory/expertize/3132/3138#contents>
6. Department of computer and systems sciences Stockholm University/KTH Ph.D. theses: No 06-016 Chaula J. A. A Socio-Technical Analysis of Information Systems Security Assurance A Case Study for Effective Assurance [Электронный ресурс] www.dsv.su.se/eng/publikationer/index.html
7. Frey W. Socio-Technical Systems in Professional Decision Making. [Электронный ресурс] <http://cnx.org/content/m14025/latest/>
8. Green D. Socio-technical Systems in Global Markets. [Электронный ресурс] <http://nuleadership.wordpress.com/2010/08/23/socio-technical-systems-in-global-markets/>
9. Остапенко Г. А., Мешкова Е. А. Информационные операции и атаки в социотехнических системах: / Остапенко Г.А. Под редакцией Борисова В.И.- М: Горячая линия-Телеком, 2006. - 184 с.
10. Максимов В.И., Корноушенко Е.К. Аналитические основы применения когнитивного подхода при решении слабоструктурированных задач // Труды ИПУ РАН. - М., 1999. – Т. 2. – С.95-109.
11. Недосекин А.О. Нечеткий финансовый менеджмент. – М., Аудит и финансовый анализ, 2003.
12. Поспелов Д.С. «Серые» и/или «черно-белые» [шкалы]// Прикладная эргономика. Специальный выпуск «Рефлективные процессы». – 1994. - №1.
13. Ажмухамедов И.М. Моделирование на основе экспертных суждений процесса оценки информационной безопасности // Вестник АГТУ. Серия: "Управление, вычислительная техника и информатика", 2/2009г., стр.101-109.
14. Рыжов А.П. Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости. М.: Диалог-МГУ, 1998.
15. Kaufmann A., Gupta M. Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications. - Van Nostrand Reinhold, 1991.
16. Субботина И.Ю. Социально-трудовые отношения гудвилльной системы «человек-производство» // «Инженерный вестник Дона»: электронный научно-инновационный журнал, №2, 2012 // <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/743/>
17. Цапенко И.В., Миронова Д.Д. Человеческий капитал и инновационные факторы его развития // «Инженерный вестник Дона»: электронный научно-инновационный журнал, №2, 2012 // <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/766/>
18. Попова Н.В. Использование потенциала человеческого капитала для инициирования инновационных процессов в экономике// «Инженерный вестник Дона»: электронный научно-инновационный журнал, №4, 2011 // <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/568/>